

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

**INFLUÊNCIA DO ALUMÍNIO NA QUALIDADE  
FISIOLÓGICA E SANITÁRIA DE SEMENTES DE  
DUAS ESPÉCIES DE CAFÉ**

**CÉLIA MARIA PEIXOTO DE MACEDO**

**ALEGRE  
ESPÍRITO SANTO – BRASIL  
FEVEREIRO - 2008**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

**INFLUÊNCIA DO ALUMÍNIO NA QUALIDADE  
FISIOLÓGICA E SANITÁRIA DE SEMENTES DE  
DUAS ESPÉCIES DE CAFÉ**

**CÉLIA MARIA PEIXOTO DE MACEDO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos Lopes

Co-orientador: Prof. Dr. José Augusto T. do Amaral

**ALEGRE  
ESPÍRITO SANTO – BRASIL  
FEVEREIRO – 2008**

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias da Universidade Federal  
do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

M141i Macedo, Célia Maria Peixoto de, 1980-  
Influência do alumínio na qualidade fisiológica e sanitária de  
sementes de duas espécies de café / Célia Maria Peixoto de Macedo. –  
2008.  
97 f. : il.

Orientador: José Carlos Lopes.  
Co-Orientador: José Augusto Teixeira do Amaral.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo,  
Centro de Ciências Agrárias.

1. Café - Pesquisa. 2. Fisiologia vegetal. 3. Plantas – Efeito do  
alumínio. 4. Solos – Teor de alumínio. 5. Sementes – Qualidade. I. Lopes,  
José Carlos. II. Amaral, José Augusto Teixeira do. III. Universidade  
Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. IV. Título.

CDU: 63

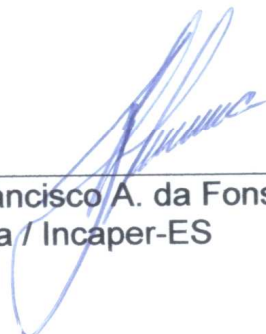
---

# INFLUÊNCIA DO ALUMÍNIO NA QUALIDADE FISIOLÓGICA E SANITÁRIA DE SEMENTES DE DUAS ESPÉCIES DE CAFÉ

**CÉLIA MARIA PEIXOTO DE MACEDO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

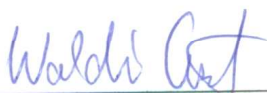
Aprovada: 20 de fevereiro de 2008.



Dr. Aymbiré Francisco A. da Fonseca  
Embrapa / Incaper-ES



Prof. Dr. José Francisco T. do Amaral  
Centro de Ciências Agrárias - UFES



Prof. Dr. Waldir C. de Jesus Junior  
Centro de Ciências Agrárias - UFES



Prof. Dr. José Augusto T. do Amaral  
Centro de Ciências Agrárias - UFES  
(Co-orientador)



Prof. Dr. José Carlos Lopes  
Centro de Ciências Agrárias - UFES  
(Orientador)

Aos meus pais, Carlos Alencar de Macedo (*in memoriam*) e Heloísa Lopes Peixoto de Macedo, pelas lições de vida e pelo amor incondicional. Sobretudo, à minha mãe, exemplo de força e coragem.

Dedico

Descobrir consiste em olhar para o que todo mundo está vendo e pensar uma coisa diferente. (Roger Von Oech)

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, presença constante em todos os dias de minha vida e fortalecedor da minha fé.

Ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA/UFES), pela oportunidade concedida para a realização deste curso de Mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), através da Fundação de Apoio à Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (FAPES/FUNCITEC), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Professor José Carlos Lopes pela orientação segura e amizade, que através da convivência no dia-a-dia influenciou no meu crescimento tanto profissional como pessoal.

À minha mãe, Heloisa, por toda dedicação e esforço dispensado a minha educação.

Aos meus irmãos, Gerson Antônio Peixoto de Macedo e Carlos José Peixoto de Macedo, pelo amor e amizade.

Ao meu namorado, Rodrigo Lourenço Massini, pelo companheirismo, pelo incentivo e, sobretudo pelo amor.

Ao Dr. Aymbiré Francisco Almeida da Fonseca pela cessão das sementes, pelas sugestões, contribuições e pelo apoio na condução desse trabalho.

Ao meu co-orientador, José Augusto Teixeira do Amaral, e aos meus conselheiros, Waldir Cintra de Jesus Junior e José Francisco Teixeira do Amaral, pelas contribuições valiosas neste trabalho e pela amizade.



À Engenheira Agrônoma, Marilda Torres Capucho, pelas sugestões, solidariedade e amizade.

Ao funcionário do Laboratório de Tecnologia e Análise de Sementes, José Maria Barbosa pelo apoio prestado.

Ao amigo Izaías Bregonci pelo apoio prestado na montagem do experimento de hidroponia e nas análises estatísticas.

Ao professor Dr. Frederico de Pina Matta pela atenção dispensada.

À coordenação e à secretária do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, representados, respectivamente, pelo Dr. Ricardo Antônio Polanczyk e Madalena Capucho de Oliveira;

Aos colegas do Laboratório de Tecnologia e Análises de Sementes (Miele Tallon Matheus e Nathale Bicalho Corrêa) e a todas aquelas pessoas que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

## BIOGRAFIA

Célia Maria Peixoto de Macedo, filha de Carlos Alencar de Macedo (*in memorian*) e Heloisa Lopes Peixoto de Macedo, nasceu em Nova Iguaçu – Rio de Janeiro, em 28 de janeiro de 1980.

Em março de 2000 ingressou no curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES), localizado em Alegre – ES, obtendo o grau de Engenheira Agrônoma em abril de 2005.

Em março do mesmo ano, como “aluna especial”, iniciou o curso de Mestrado junto ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do CCA-UFES, ingressando como “aluna regular” em março de 2006, desenvolvendo trabalhos na linha de pesquisa de Ecofisiologia da Germinação e Desenvolvimento e obtendo título de Mestre em Produção Vegetal em fevereiro 2008.

Ainda em 2008 foi selecionada para cursar Doutorado em Produção Vegetal na Universidade Estadual do Norte Fluminense “Darcy Ribeiro” (UENF), localizada em Campos dos Goytacazes – Rio de Janeiro.

## CONTEÚDO

RESUMO -----	viii
ABSTRACT -----	x
INTRODUÇÃO -----	1
REVISÃO DE LITERATURA -----	4
A importância da cafeicultura -----	4
Origem, botânica e propagação do cafeeiro -----	5
Hibridação, cultivares e linhagens de café -----	6
O processo germinativo -----	7
Qualidade fisiológica e viabilidade das sementes de café -----	9
Qualidade sanitária das sementes e plântulas de café -----	10
Acidificação do meio e a toxidez de alumínio -----	11
Efeito do alumínio na absorção de macronutrientes -----	15
Métodos de seleção para tolerância ao alumínio -----	18
REFERÊNCIAS -----	20
CAPÍTULO 1 – Germinação e vigor de sementes de café submetidas ao estresse com alumínio -----	27
CAPÍTULO 2 – Qualidade fisiológica de sementes de café arábica em presença de alumínio -----	37
CAPÍTULO 3 – Tolerância de cultivares de café ao alumínio em solução nutritiva -----	52
CAPÍTULO 4 – Incidência de fungos e controle químico em sementes de café -	71
CONCLUSÕES GERAIS -----	91
ANEXO – Análises de regressão dos dados discutidos no capítulo 1-----	93

## RESUMO

MACEDO, Célia Maria Peixoto de, M.Sc., Universidade Federal do Espírito Santo, fevereiro de 2008. **Influência do alumínio na qualidade fisiológica e sanitária de sementes de duas espécies de café.** Orientador: Prof. Dr. José Carlos Lopes. Co-orientador: Prof. Dr. José Augusto Teixeira do Amaral.

Objetivou-se neste trabalho avaliar a influência do alumínio na qualidade fisiológica e sanitária de sementes de duas espécies de café do Programa de Melhoramento Genético das espécies *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre ex. Froehner do Estado do Espírito Santo, coordenado pelo Incaper. Foram conduzidos quatro experimentos em delineamento inteiramente casualizado. No primeiro foram utilizadas sementes de Catuaí Amarelo IAC 86 e Apatã submetidas a diferentes concentrações de alumínio: 0; 15; 30; 45 e 60 mg L<sup>-1</sup>, em esquema fatorial (2 x 5), com quatro repetições. No segundo foram utilizadas sementes de Catuaí Amarelo IAC 62, Iapar 59, Obatã e Oeiras, na ausência e presença de alumínio na concentração de 45 mg L<sup>-1</sup>, em esquema fatorial (4 x 2), com quatro repetições. A semeadura foi feita em rolos de papel-toalha, mantidos em câmaras BOD a 30°C, na ausência de luz. Foram avaliados a germinação e o vigor (primeira contagem de germinação e comprimento de raiz). O terceiro experimento foi conduzido 42 dias após a semeadura do anterior, transferindo-se 10 plântulas de cada cultivar germinadas em ausência de Al<sup>3+</sup> para solução nutritiva na ausência de Al<sup>3+</sup>, e 10 para solução em presença de Al<sup>3+</sup>; 10 plântulas de cada cultivar germinadas em presença de Al<sup>3+</sup> para solução em ausência de Al<sup>3+</sup>, e 10 para solução em presença de Al<sup>3+</sup>, em esquema fatorial (4 x 4) com cinco repetições (cultivares x combinações de alumínio). Quarenta e quatro dias após a aplicação dos tratamentos foram avaliados: altura de plântula, comprimento de raiz, massa fresca e seca da parte aérea e raiz. No quarto experimento foram avaliadas a incidência e o controle de fungos nas sementes das cultivares de café arábica e robusta armazenadas por 12 meses sob temperatura de 4±3°C, utilizando-se o método do papel de filtro em placas de Petri. As sementes foram tratadas com captan, ridomil e a mistura thiabendazole + thiram e avaliadas semanalmente até 28 dias de incubação. O alumínio não influencia na germinação, mas estimula o crescimento da raiz primária; a cultivar Apatã é sensível ao alumínio; as cultivares Catuaí Amarelo IAC 62 e a

lapar 59 são tolerantes, a cultivar Oeiras apresenta tolerância intermediária, enquanto a cultivar Obatã se mostra sensível; os principais fungos incidentes são *Fusarium sp.* e *Aspergillus spp.*, sendo que o tratamento com a mistura thiabendazole + thiram foi o mais eficiente na redução da incidência pelos fungos nas sementes de *C. canephora*, enquanto para *C. arabica* o mais eficiente foi o captan.

**Palavras-chave:** *Coffea arabica*, *Coffea canephora*, desempenho germinativo, vigor, tolerância ao alumínio, sanidade.

## ABSTRACT

MACEDO, Célia Maria Peixoto de, M.Sc., Universidade Federal do Espírito Santo, February 2008. **Influence of the aluminum in the physiologic and sanitary quality of seeds of two coffee species.** Adviser: Prof. Dr. José Carlos Lopes. Committee member: Prof. Dr. José Augusto Teixeira do Amaral.

It was aimed in this work to evaluate the influence of the aluminum in the physiologic and sanitary quality of seeds of two coffee species of the Genetic Improvement Program of the species *Coffea arabica* L. and *Coffea canephora* Pierre. Froehner of Espírito Santo State, coordinated by Incaper. Four experiments the entirely randomized experimental design was used. In the first was used seeds of Catuaí Amarelo IAC 86 and Apatã submitted to different concentrations of aluminum: 0; 15; 30; 45 and 60 mg L<sup>-1</sup>, a factorial scheme (2 x 5), with four replicates. In the second was used seeds of Catuaí Amarelo IAC 62, Iapar 59, Obatã and Oeiras, in the absence and presence of aluminum in the concentration of 45 mg L<sup>-1</sup>, a factorial scheme (4 x 2), with four replicates. The sowing was made in paper-towel rolls, maintained in cameras BOD to 30°C, in the light absence. The germination and the energy (first germination counting and root length) were appraised. The third experiment was driven 42 days after the sowing of the previous, being transferred 10 seedlings of each to cultivate germinated in absence of Al<sup>3+</sup> for nutritious solution in the absence of Al<sup>3+</sup>, and 10 for solution in presence of Al<sup>3+</sup>; 10 seedlings of each to cultivate germinated in presence of Al<sup>3+</sup> for solution in absence of Al<sup>3+</sup>, and 10 for solution in presence of Al<sup>3+</sup>, a factorial scheme (4 x 4) with five replicates (cultivate x combinations of aluminum). Forty four days after the application of the treatments were appraised: seedlings height, root length, fresh and dry mass of the aerial part and root. In the fourth experiment they were appraised the incidence and the control of mushrooms in the seeds cultivate of arabic and robust coffee stored by 12 months under temperature of 4±3°C, being used the method of the filter paper in plates of Petri. The seeds were treated with captan, ridomil and the mixture thiabendazole + thiram and weekly evaluated up to 28 days of incubation. The aluminum doesn't influence in the germination, but it stimulates the growth of the primary root; to cultivate Apatã it is sensitive to the aluminum; the cultivate Catuaí Amarelo IAC 62 and Iapar 59 are tolerant, to cultivate Oeiras it presents intermediate tolerance, while

to cultivate Obatã it is shown sensitive; the main fungus incidents are *Fusarium sp.* and *Aspergillus spp.*, and the treatment with the mixture thiabendazole + thiram was the most efficient in the reduction of the incidence for the fungus in the seeds of *C. canephora*, while for *C. arabica* the most efficient was captan.

**Key words:** *Coffea arabica*, *Coffea canephora*, germination performance, vigor, aluminum tolerance, sanity.

## INTRODUÇÃO

O café é o segundo maior gerador mundial de riquezas, perdendo apenas para o petróleo. Constitui um mercado gigantesco, que movimenta anualmente 91 bilhões de dólares, embora apenas 9% desse montante fica com os países produtores (CBP&D/Café, 2004). O Brasil é o principal exportador e responde por mais de um quarto de toda a produção mundial (OIC, 2008).

No Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper), com vistas ao aumento da produtividade e à melhoria da qualidade do café, buscando redução de custo e aumento da competitividade do produto no cenário nacional e internacional, foi estabelecido o programa de melhoramento genético da espécie de *Coffea arabica* no Estado do Espírito Santo, no qual Ferrão et al. (2004a) indicaram as principais cultivares para o plantio no Estado: Mundo Novo (IAC 376-4), Icatu Precoce (IAC 3282), Catuaí Vermelho (IAC 44, IAC 81, IAC 99, IAC 144), Catuaí Amarelo (IAC 62, IAC 86), Catuaí Rubi (MG 1192), Topázio (MG 1189), Iapar 59, Katipó (245-3-7) e Oeiras (MG 6851). Dentre os materiais genéticos introduzidos e em testes, algumas cultivares de porte baixo a médio e com resistência à ferrugem, como 'Obatã', 'Tupi', 'Catucaí' e 'Paraíso', tem se destacado.

A espécie *C. arabica* L. é cultivada principalmente em Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Espírito Santo e Bahia. Já a espécie *C. canephora* Pierre ex. Froehner por ser mais adaptada às zonas quentes e úmidas é, portanto, plantada, principalmente, no norte do Espírito Santo, sul da Bahia e em Rondônia (CBP&D/Café, 2004). O Espírito Santo localiza-se em uma região com ambientes naturais bastante diversificados em relação ao clima (Dadalto & Barbosa, 1995). Esta diversidade climática proporciona condições para o cultivo das duas principais



espécies de café exploradas comercialmente no mundo: *Coffea canephora*, nas regiões de altitudes mais baixas e com temperaturas mais elevadas e *Coffea arabica* em regiões com altitudes superiores a 450-500 m, temperaturas mais amenas e menor déficit hídrico (Ferrão et al, 2004a).

Para o sucesso de qualquer cultura, um dos fatores preponderantes é o uso de sementes livres de microrganismos. A prevenção e redução da contaminação podem ser obtidas através da adoção de boas práticas de cultivo, que proporcionem a realização da colheita em um ponto ideal, evitando-se a elevada ocorrência de frutos que caem e sofrem contaminação por fungos toxicogênicos pelo contato com o solo (fonte de inóculo) e otimização das condições de secagem (Chalfoun & Corrêa, 2002). Tais cuidados são de fundamental importância para se obter um produto sadio.

Na propagação seminífera, o primeiro estágio de desenvolvimento das plantas é a germinação das sementes e, nesta fase, determinadas condições ambientais podem afetar o estabelecimento das mudas no campo. Algumas dessas condições estão relacionadas às propriedades do solo, como a acidez ativa e potencial.

O vigor é resultado da conjunção de todos aqueles atributos da semente que permitem a obtenção rápida e uniforme do estande no campo (Delouche & Caldwell, 1960). Entretanto, para que uma plântula possa continuar seu desenvolvimento até tornar-se uma planta normal deve apresentar estruturas essenciais que são sistema radicular e parte aérea (hipocótilo, cotilédones e epicótilo) (Brasil, 1992). Assim, a capacidade germinativa de um lote de sementes é determinada pela proporção das que produzirem plântulas normais, em condições favoráveis. Não sendo encontradas tais condições, observa-se normalmente, uma redução na porcentagem de germinação (Carvalho & Nakagawa, 2000). Dentre os fatores que interferem na produção de boas mudas de cafeeiro, além da germinação e do vigor, certamente a nutrição das mesmas é o mais importante (Guimarães, 1995).

Em lavouras cafeeiras implantadas em regiões com condições climáticas adequadas, a sua baixa produtividade pode estar associada ao uso de corretivos e fertilizantes em níveis inadequados (Prado & Nascimento, 2003). No Espírito Santo a maioria dos solos é composta de Latossolos Distróficos, tendo basicamente a camada superficial como fonte de nutrientes para as plantas, a qual geralmente está

comprometida devido à declividade em determinadas regiões e a facilidade de erosão nestes solos (Dadalto et al., 1995).

A acidez dos solos, com alumínio em níveis tóxicos e baixa disponibilidade de elementos essenciais, exige aplicações de calcário e fertilizantes para a sua adequada utilização agrícola (Menosso et al, 2000). No Brasil, a otimização do uso de calcário e gesso poderia aumentar a produção das lavouras em mais de 30%, além de melhorar a qualidade do grão (CBP&D/Café, 2004).

O uso de técnicas agronômicas mais avançadas, assim como o uso de cultivares tolerantes à toxidez do alumínio do solo, tornam possível utilizar comercialmente muitas áreas com aptidão marginal. Sendo a tolerância ao  $Al^{3+}$  uma característica rapidamente detectada em testes em casa de vegetação ou laboratório com solução nutritiva (Dornelles et al., 1997).

O presente trabalho teve por objetivo avaliar nove cultivares de cafeeiro do “Programa de melhoramento genético das espécies *Coffea arabica* e *Coffea canephora* recomendadas para cultivo no Estado do Espírito Santo” quanto à tolerância ao alumínio; visando avaliar o desempenho germinativo das sementes na presença e ausência desse cátion, entender os mecanismos de germinação das sementes das cultivares em estudo, avaliar o crescimento radicular das cultivares em solução nutritiva em presença e ausência de alumínio, pelo método de hidroponia, identificar as cultivares tolerantes a esse elemento e analisar eventual proliferação de microrganismos nas sementes e plântulas.

## REVISÃO DE LITERATURA

### **A importância da cafeicultura**

O Brasil é o maior produtor mundial de café, participando com cerca de 28,8% da produção mundial, seguido do Vietnã (13,6%), Colômbia (10,6%), Indonésia (5,9%), Etiópia (4,9%), Índia (4,1%), México (3,7%), Guatemala (3,4%), Honduras (2,9%), Peru (2,7%), Uganda (2,4%), Costa do Marfim (2%) e outros países (OIC, 2008).

A importância da cafeicultura brasileira pode ser visualizada pelo volume de produção, pelo consumo interno, pela sua participação na pauta de exportação e pela capacidade de geração de emprego e de renda na economia (Teixeira, 2002). As áreas cafeeiras estão concentradas no centro-sul do país, onde se destacam quatro estados produtores: Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo e Paraná e, em menor quantidade, nas regiões Nordeste e Norte (ABIC, 2006).

O Estado do Espírito Santo, tradicional produtor de café arábica e de robusta, encontra-se na segunda posição do ranking nacional na produção de café, principalmente pelo grande incremento na área cultivada com a espécie *C. canephora*. O Estado é responsável por cerca de 73% da produção nacional dessa espécie (CONAB, 2008). A totalidade dos municípios do Estado tem produção de café. Das 82.400 propriedades rurais, 56.169 têm no café a sua principal fonte de renda, sendo 40,4% com predominância do café arábica e 59,6% com café robusta (SEAG, 2007).

### Origem, botânica e propagação do cafeeiro

O café arábica é originário da Etiópia e foi introduzido no Brasil em 1727 (Matiello, 2002), encontrando no Sudeste brasileiro excelentes condições para se desenvolver. Desde meados do século XIX o Brasil é o maior produtor e exportador de café, participando com cerca de 28,8% da produção mundial, seguido do Vietnã e da Colômbia (OIC, 2008).

O cafeeiro pertence ao grupo das plantas *Fanerogamae*, classe *Angiospermae*, subclasse *Dicotyledoneae*, ordem *Rubiales*, família *Rubiaceae*, tribo *Coffea*, subtribo *Coffeinae* e gênero *Coffea* (Matiello, 2002). É uma planta de porte arbustivo ou arbóreo, de tronco cilíndrico, raiz principal muito ramificada, principalmente nas proximidades da superfície do solo (Rena & Maestri, 1986, 1987; Thomaziello et al., 1997). Os ramos são dimórficos, aqueles que crescem em sentido vertical são os ramos ortotrópicos, que formam as hastes ou troncos. Os ramos laterais, produtivos originados dessas hastes, crescem no sentido horizontal e são chamados ramos plagiotrópicos (Matiello, 2002; Rena & Maestri, 1986). A espécie *C. canephora* é um arbusto multicaule (Brasil, 1986) com desenvolvimento inicial rápido. O café arábica é uma espécie autógama, tetraplóide, com  $2n = 44$  cromossomos (Andrade Neto et al., 1995); porém comporta-se como um diplóide funcional com relação às características morfológicas estudadas (Sakiyama et al., 1999). Todas as demais espécies do gênero *Coffea* são diplóides ( $2n = 2x = 22$  cromossomos) como *Coffea canephora* (Ferrão et al., 2004a), que produz o café denominado de Robusta. Nas espécies diplóides a fecundação é cruzada, pois são auto-incompatíveis (Fazuoli et al., 2007a)

O fruto do cafeeiro é uma drupa elipsóide contendo dois *locus* e duas sementes, mas ocasionalmente pode conter uma, três ou mais. O endocarpo do fruto (“pergaminho”), quando maduro é coriáceo e envolve independentemente, cada semente. A semente é plano convexa, elíptica ou oval, sulcada longitudinalmente na face plana e é constituída por embrião, endosperma e um envoltório, representado por uma película prateada ou espermoderma (Dedecca, 1957, 1958; Huxley, 1965; Zamora & Soto, 1976; citados por Rena & Maestri, 1986). Externamente ao endocarpo, encontra-se o mesocarpo composto por substâncias mucilaginosas e ainda o exocarpo (Guimarães, 1995).

A produção de café no Brasil, como nos demais países produtores em todo mundo, foi sempre concentrada na espécie *Coffea arabica*. No fim do século XIX,

em função da epidemia de ferrugem (*Hemileia vastatrix*) nas regiões Leste e Sul da Ásia, a espécie *Coffea canephora*, que se mostrava resistente à doença, passou a despertar grande interesse, sendo este o marco dos primeiros trabalhos científicos visando à exploração genética e econômica da espécie (Charrier & Berthaud, 1988, citados por Fonseca et al., 2004).

### **Hibridação, cultivares e linhagens de café**

A hibridação entre 'Caturra' e 'Mundo Novo' deu origem as cultivares 'Catuaí Vermelho' e o 'Catuaí Amarelo', que reúnem as características de rusticidade e produção do 'Mundo Novo' e o porte baixo do 'Caturra' (Ferrão et al., 2004a). Além disso, a Catuaí, em relação ao Mundo Novo, é menos prejudicada por deficiência de cálcio, magnésio e zinco (Brasil, 1986). Existem várias linhagens de 'Catuaí', algumas ainda em estudo, mas daquelas que já foram indicadas e que reúnem maior número de características de interesse para o cultivo no Estado do Espírito Santo são as linhagens IAC 44, 81 e 144 de 'Catuaí Vermelho' e as linhagens IAC 62 e 86 de 'Catuaí Amarelo' que apresentam altura média de planta de 2,0 a 2,4 m. Essas cultivares apresentam ampla capacidade de adaptação na maioria das regiões de plantio de café arábica do Estado, contudo são suscetíveis à ferrugem. Seu porte baixo permite maior densidade de plantio, facilita a colheita e reduz os custos com tratamentos fitossanitários. Os espaçamentos indicados variam de 2,0 a 3,0 m entre linhas e de 0,5 a 1,0 m entre plantas, sempre com uma planta por cova. As produtividades médias dessas cultivares variam de 30,1 sc/ha ('Catuaí Vermelho IAC 81') a 39,1 sc/ha ('Catuaí Amarelo IAC 86'), apresenta bienalidade de produção e o valor da peneira média varia de 16,5 a 17,0 (Ferrão et al., 2004a).

A cultivar IAPAR 59 é resultante do cruzamento entre a cultivar de arábica Vila Sarchi (CIFC 971/10) e Híbrido de Timor (CIFC 832/2). Apresenta resistência à ferrugem com a vantagem de não necessitar de tratamentos químicos para o controle dessa doença, além do porte e diâmetro de copa serem inferiores dos da cultivar Catuaí Vermelho IAC 81, características desejáveis para cultivos adensados (Ferrão et al., 2004a).

A cultivar Oeiras é resultante do cruzamento entre 'Caturra Vermelho' e 'Híbrido de Timor' (CIFC 832/1) realizado no Centro Internacional de Ferrugens, em Oeiras, Portugal. Este material genético foi introduzido pela Epamig/UFV em Minas Gerais, e após várias gerações de seleção originou a cultivar Oeiras-MG 6851 de

porte baixo e alto vigor. A característica de destaque dessa cultivar é a resistência à ferrugem (Ferrão et al., 2004a).

A cultivar Obatã (IAC 1669-20), resultante do cruzamento entre ‘Híbrido de Timor’ e ‘Vila Sarchi’ com posterior cruzamento com ‘Catuaí Vermelho’, foi selecionada e recomendada pelo IAC em 2000 (Fazuoli et al., 2007b). É uma cultivar de café arábica, de porte baixo, com resistência à ferrugem, que apresenta alto potencial produtivo e características agronômicas superiores (Ferrão et al., 2004a). Os frutos são vermelhos e grandes, de maturação média a tardia, sendo a peneira média das sementes em torno de 17 e 18. Exigente em nutrição e mais sensível à seca do que as cultivares do grupo Catuaí. Possui boa qualidade de bebida e é indicada para espaçamentos adensados ou médios e para cultivo em média altitude. Adapta-se bem a cultivos em renque e responde bem a irrigação (Guerreiro Filho et al., 2003; Fazuoli et al., 2007b).

O Conilon é uma das variedades mais cultivadas de *Coffea canephora*, e é a mais plantada no Espírito Santo (Ferrão et al., 2004b). A ‘Emcaper 8151 – Robusta Tropical’ é uma cultivar melhorada de propagação sexuada, lançada em 2000. Esta cultivar foi obtida através da recombinação, em campo de polinização aberta, dos 53 clones-elites do programa de melhoramento do Incaper. Aliada à alta produtividade, apresenta algumas características desejáveis de grande importância, como ampla base genética, rusticidade, elevado vigor vegetativo, arquitetura adequada para o adensamento e adaptação a diferentes regiões do Estado. A maturação dos frutos ocorre, normalmente, entre maio e junho (Fonseca et al., 2002b; Ferrão et al., 2004b). A cultivar Apatã (IAC 2258) além de ser vigorosa, produtiva, rústica e de sementes graúdas, é uma seleção de robusta com alta resistência aos nematóides e à ferrugem, sendo muito utilizada para a técnica da enxertia por garfagem, onde participa como “cavalo” para a espécie de *C. arabica* em regiões com ocorrência de nematóides (Fazuoli, 1999; Fonseca et al., 2002a).

### **O processo germinativo**

A germinação é um processo que tem início com a absorção de água pela semente e termina com o início do alongamento do eixo embrionário (Ching, 1972, Bewley & Black, 1994). Neste ponto, a protrusão do embrião através do tegumento é o ponto crucial que identifica a germinação da semente (Brown, 1972; Bewley & Black, 1994), que equivale à emergência e desenvolvimento das estruturas

essenciais do embrião, demonstrando sua aptidão para originar uma planta normal sob condições favoráveis de campo (Brasil, 1992). Entretanto, para que ela ocorra é necessário, além dos substratos, que haja disponibilidade de água em níveis ideais, em função de cada espécie de semente; composição de gases e temperatura adequada, além de luz que é exigida para certas espécies; que a semente esteja viável, isto é, que o embrião seja capaz de germinar e que esteja no estado quiescente, de tal forma que, quando submetida às condições consideradas ideais, ela germine (Mayer & Poljakoff-Mayber, 1989).

O substrato corresponde ao meio onde a semente é colocada para germinar e possui a função de manter as condições adequadas para germinação e para o desenvolvimento das plântulas (Piña-Rodrigues & Vieira, 1988; Figliola et al., 1993). Além de manter a disponibilidade de água, é necessário que ele mantenha aeração em proporções adequadas (Popinigis, 1985), evitando a formação de uma película de água envolta da semente (Villagomez et al., 1979). Os fatores como a estrutura, a aeração, a capacidade de retenção de água e o grau de infestação de patógenos, podem variar de um substrato para outro, favorecendo ou prejudicando a germinação das sementes (Barbosa & Barbosa, 1985). A mesma pode ser afetada pelas condições químicas do meio: se o efeito é benéfico, resulta na ativação das reações metabólicas requeridas para a conclusão do processo germinativo, mas se o efeito é nocivo, inibe ou reduz a germinação (Koszo, 2006).

De acordo com Figliolia et al. (1993), a luz nem sempre é fator imprescindível e limitante para a germinação de sementes, ou seja, existem espécies que são indiferentes e germinam tanto na presença como na ausência de luz. Por outro lado, o oxigênio exerce um papel fundamental na germinação das sementes devido ao processo respiratório, havendo a necessidade de grandes quantidades deste elemento à disposição para que a mesma ocorra normalmente. A respiração é muito ativa nas sementes que estão germinando, tal como ela é ativa em todos os tecidos onde o crescimento e outras atividades celulares estão se processando (Toledo & Marcos Filho, 1977; Bewley & Black, 1994). De maneira análoga, a temperatura tem efeito na absorção de água pela semente e nas reações bioquímicas que regulam o metabolismo necessário para iniciar o processo germinativo (Carvalho & Nakagawa, 2000).

Durante o processo germinativo a água amolece os tegumentos e provoca o aumento do volume do embrião e dos tecidos de reserva, resultando na ruptura dos

tegumentos e na protrusão da raiz primária. Também favorece a penetração do oxigênio na semente; dilui o protoplasma; favorece as funções de digestão, respiração, assimilação e crescimento e torna possível a transferência dos nutrientes solúveis dos tecidos de reserva para os pontos de crescimento do embrião, onde são necessários para a formação de um novo protoplasma (Toledo & Marcos Filho, 1977; Bewley & Black, 1994).

### **Qualidade fisiológica e viabilidade das sementes de café**

As sementes viáveis, da maioria das espécies, quando submetidas à condições ideais durante o teste de germinação, germinam prontamente (Lopes et al., 1998).

Após a colheita, o período de viabilidade das sementes de café é aproximadamente de seis meses em condições normais de armazenamento. As sementes são colhidas quando os frutos se encontram em estágio de “cereja (Guimarães, 1995).

As condições de armazenamento são de fundamental importância para a preservação da qualidade das sementes. A condição fisiológica no momento da colheita exerce grande importância na propagação e manutenção da sua qualidade, pois a diferença de longevidade entre diferentes espécies são influenciadas pelas variações na composição química (Mayer & Poljakoff-Mayber, 1989; Bewley & Black, 1994; Carvalho & Nakagawa, 2000). Os fatores que influenciam no armazenamento das sementes da maioria das espécies são a umidade relativa do ar e a temperatura do ambiente de armazenamento, bem como o grau de umidade da semente e do tipo de embalagem utilizada para o armazenamento (Delouche, 1975; Lopes, 1990)

As sementes de café, embora incluídas inicialmente no grupo das sementes recalcitrantes (King & Roberts, 1979), devido à curta viabilidade, posteriormente foram incluídas em uma categoria intermediária por Ellis et al. (1990), ao verificarem que sementes de quatro cultivares de *Coffea arabica* não apresentaram redução significativa na germinação, quando tiveram os teores de água reduzidos a aproximadamente 10%, embora tenham sido prejudicadas pelo armazenamento sob temperaturas de zero e 20°C.

A presença do endocarpo (pergaminho) e baixas temperaturas atrasam a germinação. Com a remoção do pergaminho e sob temperatura de 32°C as sementes maduras de cafeeiro germinam em 15 dias (Rena & Maestri, 1986).



Carvalho et al. (1999) avaliando os efeitos de tratamentos aplicados nas sementes de cafeeiro com e sem pergaminho, na emergência e desenvolvimento das mudas, verificaram que a retirada manual do pergaminho contribui para acelerar o desenvolvimento das mudas de café, corroborando as informações de Rena & Maestri (1986). Outro fator que contribui para a lenta germinação das sementes de café é, possivelmente, a presença de cafeína no espermoderma (Pereira et al., 2002). Esta camada é formada por células remanescentes do tecido nucelar, que envolve todo o endosperma e persiste como células viáveis até a maturação do fruto e das sementes (Castro et al., 2001).

Dentre os fatores que interferem na produção de boas mudas de cafeeiro, além da germinação e do vigor, certamente a nutrição das mesmas é o mais importante. Além de afetar o crescimento e desenvolvimento das mudas em viveiro, a adubação correta do substrato poderá influenciar no estabelecimento e desenvolvimento das mudas no campo. Assim, uma nutrição adequada poderá reduzir o tempo de permanência das mudas em viveiros (Guimarães, 1995).

A redução da germinação pode ser resultado de estresse ambiental, o qual pode ser definido como qualquer fator que exerça influência desvantajosa sobre a planta (Mayer & Poljakoff-Mayber, 1989; Taiz & Zeiger, 2004).

### **Qualidade sanitária das sementes e plântulas de café**

Os alimentos apresentam uma microbiota natural capaz de se desenvolver em vários habitats, interagindo e modificando aspectos físico-químicos e do ambiente, por meio da exsudação de seus produtos metabólicos. Entre os vários substratos, os grãos de café, que são envolvidos pelo mesocarpo espesso de frutos quando atingem seu estágio de maturação completa, permitem o desenvolvimento de bactérias, leveduras e fungos filamentosos, por apresentarem celulose, hemicelulose, pectinas, açúcares redutores, amido, óleos, proteínas, ácidos e cafeína, suprindo-os de fontes de carbono e nitrogênio (Amorim, 1968 citado por Oliveira et al., 2001; Chalfoun & Corrêa, 2002). Portanto, a importância epidemiológica da associação patógeno-semente não se refere apenas ao fato de ser um ágil processo de disseminação, mas por constituir um meio de sobrevivência do patógeno numa relação direta com seu hospedeiro (Pinto, 2005). Os principais agentes causadores de doenças em cafezais são os fungos, as bactérias e os vírus,

no entanto, as doenças de maior importância são aquelas provocadas pelos fungos (Brasil, 1986).

Para o sucesso de qualquer cultura, um dos fatores preponderantes é o uso de sementes livres de microrganismos. Logo, os cuidados na colheita, secagem, beneficiamento e armazenamento são de fundamental importância para se obter um produto sadio. Um grande número de microrganismos são transportados e introduzidos em outras áreas através das sementes, sendo os fungos os que causam o maior número de enfermidades nas plantas e que ocorrem com maior frequência do que bactérias (Zapata, 1985).

As pesquisas com o café estão cada vez mais intensas e o cultivo hidropônico vem se destacando no âmbito da nutrição mineral por facilitar o controle local, a coleta de dados e a avaliação do experimento.

Uma das vantagens atribuídas ao cultivo hidropônico é a possibilidade de redução da interferência de patógenos do solo. No entanto, tem-se observado que tanto doenças fúngicas quanto bacterianas e viróticas podem ocorrer em plântulas em hidroponia. Aquelas mais comuns são as causadas pelos patógenos *Pythium*, *Fusarium*, *Colletotrichum*, *Phytophthora* e *Verticillium*. Entretanto, sob hidroponia pode se prevenir a infecção, mas, uma vez instalados os patógenos, as perdas podem ser totais (Martinez & Silva Filho, 2006).

### **Acidificação do meio e a toxidez do alumínio**

A acidificação do solo pode ocorrer de muitas formas, incluindo o empobrecimento de bases trocáveis devido à lixiviação, presença de ácidos orgânicos liberados pelas raízes das plantas e pelos microrganismos, percolação de ácidos húmicos e ácidos fúlvicos dos horizontes mais superficiais, bem como por dissociação do ácido carbônico acumulado como produto da respiração e da fermentação. Outra possibilidade é a entrada de ácidos via precipitação e pelos poluentes atmosféricos que formam ácidos, com o acúmulo de SO<sub>2</sub> (Larcher, 2000). Além da ocorrência natural da acidez, o próprio cultivo tende a acentuar o problema, principalmente devido à absorção de cátions pelas raízes das plantas, deixando em seus lugares quantidades equivalentes de íons de hidrogênio (Vitti & Casarin, 1992).

Os trabalhos pioneiros sobre a acidez do solo consideravam que o caráter ácido era devido apenas à matéria orgânica e que o H<sup>+</sup> era o único íon responsável pela acidez. Trabalhos posteriores demonstraram que o aumento da acidez afetava

à estrutura dos minerais de argila, que liberam  $\text{Al}^{3+}$  para o meio, tornando-o importante componente de solos ácidos. Paralelamente, os fisiologistas foram demonstrando as causas dos efeitos tóxicos do alumínio para as plantas (Quaggio, 2000).

O alumínio é o metal mais abundante na crosta terrestre. A dificuldade de elucidar os processos relacionados a esse elemento nas plantas pode ser atribuído ao complexo químico do alumínio (Delhaize & Ryan, 1995) e a inexistência de um radioisótopo adequado desse elemento (Foy et al., 1974). Esse hidrolisado em solução tal como o alumínio trivalente ( $\text{Al}^{3+}$ ) predomina em circunstâncias ácidas ( $\text{pH} < 5$ ), do mesmo modo que as formas  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$  e  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$  prevalecem em pH mais elevado. A fase sólida  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , ou gibbsita, ocorre próximo ao pH neutro, enquanto o  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ , ou aluminato, domina em condições alcalinas. Muitos destes cátions monovalentes, ligam-se à várias moléculas orgânicas e inorgânicas tais como  $\text{PO}_4^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{F}^-$ , ácidos orgânicos, proteínas, e lipídios (Delhaize & Ryan, 1995). No entanto, o principal fator que controla a concentração do alumínio na solução do solo é o pH (Fageria, 1998).

Problemas de acidificação do solo podem ser corrigidos por calagem, num processo que neutraliza os íons  $\text{H}^+$  e  $\text{Al}^{3+}$ . Entretanto, a aplicação de calcário na superfície do solo não soluciona os problemas de acidez nas camadas inferiores e a calagem a grandes profundidades geralmente não é viável por apresentar problemas técnicos e econômicos. Por estas razões, o uso de cultivares tolerantes ao  $\text{Al}^{3+}$  torna-se uma das estratégias mais efetivas para a produção de culturas economicamente importantes em solos ácidos (Foy, 1984 citado por Echart & Cavalli-Molina, 2001).

Mais recentemente, um grande número de pesquisadores tem procurado identificar plantas dentro da mesma espécie que possuem maior tolerância às condições de solos ácidos. Esses genótipos são incluídos em programas de melhoramento genético, nos quais se estuda a herança para a maior tolerância ao elemento com o objetivo de se transferir tais caracteres aos materiais genéticos comerciais. Nesses casos, o que se pretende é adaptar as plantas às condições de acidez do solo, ao invés de corrigir os fatores limitantes do solo, através da calagem. Esses estudos têm sido realizados principalmente em soluções nutritivas, contendo teores variáveis de alumínio ou manganês, medindo-se principalmente características das raízes das plantas (Quaggio, 2000), pois a inibição do

crescimento da raiz é o sintoma mais facilmente reconhecido da toxidez de alumínio, sendo considerada uma medida extensamente aceita do efeito nocivo desse elemento nas plantas (Delhaize & Ryan, 1995). O estudo do sistema radicular vem se mostrando de interesse não apenas pelos efeitos que certas práticas econômicas exercem sobre o seu desenvolvimento, como também para explicar a resistência à seca e a tolerância a níveis altos de alguns elementos do solo, particularmente do alumínio e do manganês (Mistro et al., 2007).

Para melhor entender os princípios dos mecanismos de tolerância e sensibilidade ao alumínio, seus efeitos sobre a inibição do crescimento da raiz e outros sintomas conseqüentes é necessário elucidar onde este elemento age e, principalmente, conhecer qual o efeito primário responsável pelas modificações morfológicas e fisiológicas que ocorrem. A influência negativa do alumínio sobre a condutibilidade hidráulica das raízes (Zhao et al., 1987) apóia a hipótese que a membrana plasmática é o sítio primário da injúria causada pelo elemento.

Os íons, especialmente os polivalentes tais como  $Al^{3+}$ , são normalmente insolúveis em camadas de lipídeos, assim como a membrana plasmática é uma barreira à entrada do alumínio (Tice et al., 1992). Entretanto, há evidências que o mesmo é transportado através da membrana plasmática da raiz para dentro das células após uma curta exposição do tecido a esse cátion (Lazof et al., 1994), provavelmente como alumínio-ligante neutro, por endocitose, através das proteínas integrais da membrana, ou através de lesões causadas por estresse, como também surpreendentemente mais da metade do alumínio total presente no ápice da raiz pode estar situada no simplasto (Tice et al., 1992).

O ápice da raiz (coifa, meristema e zona de alongação) é um alvo para a toxidez de alumínio, pois acumula mais  $Al^{3+}$  e atrai maiores danos físicos que os tecidos maduros da raiz. Basta a exposição, somente de dois a três milímetros do ápice de raízes de milho, a esse cátion para que seu crescimento seja inibido. Quando o alumínio é aplicado seletivamente à zona de alongamento ou em toda a raiz exceto o ápice, o crescimento não é afetado (Ryan et al., 1993 citado por Delhaize & Ryan, 1995). Sabe-se que ápices de raízes de trigo tolerante ao alumínio (*Triticum aestivum* L.) acumulam menos  $Al^{3+}$  do que genótipos sensíveis e que as exposições relativamente curtas a esse cátion (< 60 minutos) inibem o crescimento da raiz, mas se esse se move no simplasto rapidamente ou na quantidade suficiente para causar esta resposta foi difícil de determinar, segundo exposto por Delhaize &

Ryan (1995). Lazof et al. (1994) detectaram o alumínio no simplasto de raízes de soja (*Glycine max* (L.) Merr.) após somente 30 minutos de exposição ao mesmo. Isto demonstra que a entrada do alumínio nas células pode ocorrer antes que o crescimento da raiz esteja inibido e sugere que a toxicidade desse elemento no simplasto seja possível.

Se o alumínio necessitar de se incorporar ao simplasto para ser tóxico, pode-se presumir que as causas primárias da toxidez resultam da formação de um complexo alumínio-ligantes. Esse íon inibe a função vital das moléculas que se ligam a ele, como enzimas, calmodulina, ATP, GTP, DNA, ou o próprio complexo Al-ligante afeta outros processos metabólicos. Embora a taxa em que o cátion incorpora ao simplasto não esteja ainda determinada de um modo seguro, não há dúvidas de que o alumínio tenha acesso fácil e rápido ao apoplasto (Delhaize & Ryan, 1995).

Ownby & Popham (1989) mostraram a recuperação do crescimento da raiz de trigo depois que um tratamento com alumínio é realçada por uma lavagem de 30 minutos no citrato, um quelante forte desse cátion. Porque o citrato é igualmente eficaz em pH 4,0 e pH 6,0 (circunstâncias onde a difusão do ácido cítrico no simplasto seria muito diferente), concluíram que a remoção do alumínio do apoplasto é suficiente para aliviar a inibição do crescimento da raiz. Entretanto, uma explanação alternativa é que a remoção do  $Al^{3+}$  apoplasmático reduz o transporte do mesmo nas células da raiz.

Em concentrações moderadas de alumínio tóxico, a inibição do crescimento celular é, provavelmente, o evento primário e a inibição da divisão celular é uma resposta aos efeitos sobre o crescimento celular, refletindo regulação interna dos processos de crescimento e desenvolvimento (Marschner, 2003).

Custódio et al. (2002) com a hipótese de que o alumínio poderia reduzir a germinação de algumas espécies, avaliaram a resposta de quatro cultivares de soja com relação à germinação e vigor das plântulas quando submetidas a estresse ácido por alumínio ou pH, e observaram que as concentrações do primeiro fator não afetaram a germinação e a massa seca da raiz. Em contrapartida, o comprimento do hypocótilo, o comprimento de raiz, a massa seca da parte aérea e a classificação de vigor foram afetados por ambos os fatores. Em *guandu* (Marin et al., 2001) e em *Copaifera langsdorffii* Desf., que é uma espécie florestal (Perez & Prado, 1993) o alumínio afeta a germinação.

Konrad et al. (2005) estudando os efeitos do  $\text{Al}^{3+}$  sobre as variáveis relacionadas com as trocas gasosas de  $\text{CO}_2$  e de  $\text{H}_2\text{O}$  e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro, observaram que a presença do cátion causou queda na taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$ , estando relacionada a fatores estomáticos (queda da condutância estomática), bioquímicos e por injúrias na atividade fotoquímica do aparato fotossintético. Assim, nessas cultivares de cafeeiro não houve diferenças importantes quanto à tolerância ao alumínio, visto que em todas elas o processo da fotossíntese foi afetado significativamente e em intensidades semelhantes.

Braccini et al. (1998) verificaram que em espécies de cafeeiro pode haver diferentes níveis de tolerância em relação à presença do alumínio tóxico, quando se avaliam variáveis relacionadas ao crescimento das raízes.

Diversos mecanismos bioquímicos têm sido propostos para explicar a tolerância. No caso da exclusão, pode-se citar: a exsudação radicular de moléculas quelantes (principalmente ácidos orgânicos) que complexam o  $\text{Al}^{3+}$ , a elevação do pH da rizosfera pelas raízes, a baixa CTC das raízes, a síntese de mucilagem no ápice radicular e síntese e exsudação de polipeptídeos. No caso da tolerância interna, são citadas: a ação de polipeptídeos do citoplasma como moléculas quelantes, a existência de enzimas cuja atividade não é prejudicada pelo alumínio e a eliminação desse íon do ambiente celular por compartimentalização no vacúolo (Abichequer et al., 2003).

Quanto à herança genética da tolerância ao alumínio, com base no comprimento líquido da radícula (Paterniani & Furlani, 2002), considera-se, na maioria das espécies vegetais, que é característica dominante e poligênica, podendo ser controlada por um ou mais genes de ação maior e diversos genes modificadores (Cançado et al., 1999).

### **Efeito do alumínio na absorção de macronutrientes**

As plantas são capazes de suprir suas necessidades de nitrogênio disponível nas formas nítrica e amoniacal, dependendo dos valores de pH na rizosfera (Larcher, 2000). O nitrogênio é o elemento mineral que as plantas exigem em maiores quantidades. No solo a forma nítrica é predominantemente disponível sofrendo dentro da planta conversão enzimática em nitrito e em amônia ( $\text{NH}_3$ ) que se combina enzimaticamente com “esqueletos” carbônicos para produzir aminoácidos. Estes se ligam no processo de tradução dando as proteínas. Muitas

dessas proteínas são enzimas que catalisam incontáveis reações metabólicas nas plantas. Portanto, a deficiência de nitrogênio rapidamente inibe o crescimento vegetal (Taiz & Zeiger, 2004).

Rutty et al. (1995), citados por Custódio et al. (2002), utilizando plantas jovens de soja crescidas em pH 4,2 e expostas a concentrações de  $\text{Al}^{3+}$ , observaram que acima de  $10 \text{ mmol m}^{-3}$  ocorreu um estímulo na absorção de  $\text{NO}_3^-$ , enquanto acima de  $44 \text{ mmol m}^{-3}$  ocorreu decréscimo na absorção de  $\text{NO}_3^-$ . Onde ocorreu estímulo foi observado alongamento da raiz, o que não ocorreu em altas concentrações de  $\text{Al}^{3+}$ . A diminuição do alongamento foi muito mais severa do que a inibição da absorção de  $\text{NO}_3^-$  sugerindo que altas concentrações de  $\text{Al}^{3+}$  inibem o crescimento radicular, mas não afetam o suprimento de nitrogênio.

Amaral et al. (2000) estudaram os efeitos da interação de alumínio, nitrato e amônio, em solução nutritiva, sobre os teores de compostos nitrogenados e de açúcares em *Stylosanthes guianensis* e *S. macrocephala*, sensível e tolerante, respectivamente, tanto ao alumínio quanto ao amônio. Esses autores verificaram que na ausência de alumínio, os teores de N-total e N-insolúvel da parte aérea e do sistema radicular não foram influenciados pela fonte de nitrogênio em ambas as espécies, embora, a nutrição amoniacal tenha causado o aparecimento de sintomas visíveis de toxidez de amônio em *S. guianensis*. Segundo esses autores, a espécie *S. macrocephala* teria maior capacidade para reter e assimilar o amônio no sistema radicular, prevenindo o acúmulo desse íon na parte aérea. Com a introdução do alumínio na solução de cultivo, o efeito tóxico do amônio foi minimizado em *S. guianensis*, porém, os sintomas de toxidez de alumínio se manifestaram na espécie sensível suprida com a fonte nítrica. Por outro lado, em *S. macrocephala*, nessas mesmas condições, ocorrem incrementos nos teores de compostos nitrogenados. Os autores sugerem que aumentos nos níveis de compostos nitrogenados estejam relacionados, de algum modo, com a síntese de proteínas específicas nas células, que confeririam ao *S. macrocephala* maior resistência ao alumínio.

Justino et al. (2006) avaliaram os efeitos do alumínio sobre a absorção e a redução de nitrato, em duas cultivares nacionais de arroz e não se observou efeito significativo sobre a velocidade máxima de absorção de nitrato, pois, possivelmente, o  $\text{Al}^{3+}$  não teve influência sobre a biossíntese de transportadores. Entretanto, as duas cultivares de arroz apresentaram diferenças significativas com relação ao valor da constante de Michaelis-Menten ( $K_m$ ), que mede a afinidade do sistema de

absorção de nitrato. Na cultivar Maravilha (sensível) ocorreu um aumento da Km, afetando a configuração da proteína transportadora, o que modificou a afinidade do sítio de ligação pelo nitrato, reduzindo a absorção de nitrato apenas nessa cultivar. A cultivar Fernandes (tolerante) na presença de alumínio, apresentou 81% mais nitrato em suas raízes do que a cultivar sensível. O cátion  $\text{Al}^{3+}$  reduz a atividade *in vitro* da redutase do nitrato nas raízes das duas cultivares, mas na parte aérea apenas na cultivar Maravilha. Segundo os autores, essa diferença entre as cultivares quanto à atividade dessa enzima, na parte aérea, sugere ser esta parte da planta a mais conveniente para estudos de discriminação de cultivares de arroz quanto à tolerância ao alumínio. Estes autores ainda discutem que talvez seja mais prudente admitir a absorção e a redução do nitrato como importantes componentes do mecanismo de tolerância ao alumínio em arroz do que evidenciá-los como o próprio mecanismo de tolerância.

Os íons fosfatos ( $\text{H}_2\text{PO}_2^-$ ) podem ligar-se às partículas de solo contendo alumínio ou ferro, pois os íons positivamente carregados ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  e  $\text{Al}^{3+}$ ) têm grupos hidroxila ( $\text{OH}^-$ ), que são trocados por fosfatos. Como resultado, o fosfato pode ser fortemente ligado e sua mobilidade e disponibilidade no solo pode limitar o crescimento vegetal (Taiz & Zeiger, 2004).

Abichequer et al. (2003) utilizaram as cultivares de trigo Toropi, considerada eficiente, e CNT 8, ineficiente, quanto ao aproveitamento de fósforo, para avaliarem a influência do alumínio na morfologia das raízes e na absorção, translocação e utilização de fósforo. As raízes da cultivar de trigo Toropi foram menos afetadas pelo alumínio do que as da CNT 8. Contudo, não houve relação da absorção de fósforo com o comprimento, raio médio e superfície do sistema radicular. A sensibilidade desta cultivar ao alumínio deve estar relacionada com a falta de um mecanismo de sua neutralização, evidenciada pelo encurtamento e engrossamento das raízes e pelo acúmulo de fósforo nas raízes. Entretanto, a presença de alumínio aumentou a diferença entre as cultivares Toropi e CNT 8 quanto à eficiência de absorção, translocação e utilização de fósforo, com vantagem para a primeira, que é mais tolerante ao alumínio.

Menosso et al. (2000) avaliando o efeito recíproco na absorção de alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ) e cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) envolvendo grupos de genótipos de soja, tolerantes e sensíveis à ação do alumínio, observaram que os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  das raízes e da parte aérea dos genótipos testados foram afetados pelo alumínio, especialmente na maior



concentração na solução ( $0,4 \text{ mg L}^{-1}$ ). Os efeitos da ação tóxica do  $\text{Al}^{3+}$  na parte aérea das plantas, caracterizados pelo enrolamento ou crestamento de folhas novas e colapso do pecíolo, expressam, na verdade, deficiência de cálcio, uma vez que houve decréscimo nos teores desse nutriente e não houve diferença nas concentrações de alumínio na parte aérea. Assim, os autores deduziram que o efeito negativo deste último elemento não ocorre diretamente na absorção de  $\text{Ca}^{2+}$ , mas na inibição do crescimento das raízes, pois a redução na formação de novas raízes ou no seu crescimento diminui a absorção de cálcio, independentemente do efeito direto do alumínio sobre o processo de absorção. De acordo com Larcher (2000), em plantas calcícolas (intolerantes a solos ácidos), os íons  $\text{Al}^{3+}$  ocupam os canais iônicos dos íons de  $\text{Ca}^{2+}$  e, desta forma, o funcionamento do sistema Cálcio-calmodulina é impedido (por exemplo, impedimento da distensão polarizada da célula vegetal durante a mitose).

### **Métodos de seleção para tolerância ao alumínio**

O uso de técnicas agronômicas mais avançadas, assim como variedades tolerantes à toxidez do alumínio do solo, tornam possível utilizar comercialmente muitas áreas com aptidão marginal. Sendo a tolerância ao  $\text{Al}^{3+}$  uma característica rapidamente detectada em testes em casa de vegetação ou laboratório com solução nutritiva (Dornelles et al., 1997).

O primeiro passo nesta abordagem é estabelecer um sistema rápido e preciso para a seleção de um grande número de plantas. Diferentes métodos de seleção têm sido empregados: cultura em campo ou em solo sob condições controladas e cultura em soluções nutritivas. Cada uma dessas metodologias tem vantagens e desvantagens distintas. Técnicas de seleção a campo selecionam germoplasmas sob condições climáticas e de solo naturais, e os dados finais refletem uma integração dos efeitos do estresse da toxidez do alumínio e todas as condições do solo com o ciclo de crescimento completo. As desvantagens dos testes a campo são: o tempo requerido (período de crescimento completo), problemas da variabilidade das características do solo, efeitos de resistência diferencial a doenças e pestes, vulnerabilidade do material às intempéries ambientais como seca ou inundação, e a incapacidade em interpretar o desempenho apresentado pelas plantas em função da complexidade das interações do meio ambiente. Em experimentos empregando solos sob condições controladas, é difícil selecionar solos que sejam

adequados para uso em seleção de plantas tolerantes ao  $Al^{3+}$ , uma vez que em solos a toxidez desse cátion não é o único fator limitante. Além disso, o efeito primário do alumínio nas plantas é a inibição do crescimento da raiz e as raízes não são facilmente observáveis usando cultura em solo (Echart & Cavalli-Molina, 2001).

Devido às limitações da seleção a campo e em solo sob condições controladas, a maioria dos trabalhos de seleção de cultivares tolerantes ao  $Al^{3+}$  tem sido conduzida usando metodologias que utilizam solução de nutrientes (Echart & Cavalli-Molina, 2001). Nessa forma, diferentes técnicas têm sido empregadas para avaliar a tolerância e a sensibilidade a esse elemento. O critério mais utilizado para medir a toxidez do cátion  $Al^{3+}$  é a comparação do crescimento das raízes de plantas crescidas em solução nutriente com pH ácido e uma concentração adequada de alumínio com plantas controles crescidas na ausência do mesmo. Eventualmente, outras características como número de raízes, coloração e ramificação das mesmas também tem sido utilizadas (Cabraia & Cabraia, 1995). Alternativamente, tem sido avaliada a retomada do crescimento da raiz após o tratamento com  $Al^{3+}$ . Nesse caso, as plântulas são colocadas em solução nutritiva sem alumínio, sendo depois de aproximadamente 48 horas transferidas para solução nutritiva contendo alumínio na qual permanecem por mais 48 horas, retornando para a solução inicial por mais 72 horas, quando são então avaliadas quanto a retomada do crescimento da raiz principal a partir do dano (calose) causado pelo íon. A tolerância da planta ao alumínio pode ser medida dessa forma, porque nas plântulas sensíveis as raízes primárias não crescem e permanecem grossas mostrando no ápice uma injúria típica (Lagos et al., 1991 citados por Echart & Cavalli-Molina, 2001; Dornelles et al., 1996; 1997).

## REFERÊNCIAS

- ABIC. **História do café**. Disponível em: <<http://www.abic.com.br/>> Acesso em 01 de nov. 2006.
- ABICHEQUER, A.D.; BOHNEN, H.; ANGHINONI, I. Absorção, translocação e utilização de fósforo por variedades de trigo submetidas à toxidez de alumínio. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v.27, n.2, p.373-378, 2003.
- AMARAL, J.A.T. do; CORDEIRO, A.T.; RENA, A.B. Efeitos do alumínio, nitrato e amônio sobre a composição de metabólitos nitrogenados e de carboidratos em *Stylosanthes guianensis* e *S. macrocephala*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.2, p.313-320, 2000.
- ANDRADE NETO, A.P.M.; BRAGANÇA, S.M.; FONSECA, A.F.A.; SARAIVA, J.S.T. Variedades. In: COSTA, E.B. (Coord). **Manual técnico para a cultura do café no estado do Espírito Santo**. Vitória: SEAG-ES, 1995, p.15-18.
- BARBOSA, J.M.; BARBOSA, L.M. Avaliação dos substratos, temperaturas de germinação e potencial de armazenamento de sementes de três frutíferas silvestres. **Ecossistema**, Espírito Santo do Pinhal, v.10, p.152-160, 1985.
- BEWLEY, J.D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. 2.ed. New York and London: Plenum Press, 1994. 445p.
- BRACCINI, M.C.L.; MARTINEZ, H.E.P.; PEREIRA, P.R.G.; SAMPAIO, N.F.; SILVA, E.A.M. Tolerância de genótipos de cafeeiro ao Al em solução nutritiva. I. Crescimento e desenvolvimento da parte aérea e sistema radicular. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.435-442, 1998.
- BRASIL. Instituto Brasileiro do Café. **Cultura de café no Brasil: pequeno manual de recomendações**. Rio de Janeiro: IBC, 1986. 214p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília: SNDA/DNDV/CLAV, 1992. 365p.
- BROWN, R. Germination. In: STEWARD, F.C. (ed.). **Plant Physiology: a treatise**. v.3. New York: Academic Press, 1972.
- CAMBRAIA, J., CAMBRAIA, M.C. Avaliação de híbridos de milho quanto à tolerância ao alumínio, em solução nutritiva. **Revista Ceres**, Viçosa, v.42, p.297-307, 1995.
- CANÇADO, G.M.A.; LOPES, M.A.; PAIVA, E. Genética e bioquímica da tolerância das plantas ao alumínio. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E.; CARVALHO, J.G. (eds). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa: SBCS, Lavras: UFLA/DCS, 1999. 819p.

CARVALHO, G.R.; PASQUAL, M.; GUIMARÃES, R.J.; MENDES, A.N.G.; BEARZOTTI, E.; FALCO, L. Efeito do tratamento de sementes na emergência e desenvolvimento de mudas de cafeeiro *Coffea arabica* L. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.23, n.4, p.799-807, 1999.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588p.

CASTRO, R.D.; ESTANISLAU, W.T.; MESQUITA, P.R.; HILHORST, H.W.M. A semente de café: desenvolvimento e perspectivas genômicas. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2, Vitória, 2001. **Resumo**. Brasília: Embrapa Café, 2001. p.27.

CBP&D/Café – CONSÓRCIO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DO CAFÉ. **Programa Nacional de Pesquisa e desenvolvimento do Café**. Brasília, DF: Embrapa, 2004. 148p.

CHALFOUN, S.M.; CORRÊA, T.B.S. Micotoxinas em café – Riscos e controle. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Palestras do I Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, Brasília: Embrapa Café, 2002. p.237-256.

CHING, T.M. Metabolism of germination seeds. In: KOZLOWISKI, T.T. (ed). **Seed Biology**. v.1. New York: Academic Press, 1972. p.103-218.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira: Café Safra 2008**, primeira estimativa, janeiro/2008. Brasília: CONAB, 2008. 10p.

CUSTÓDIO, C.C.; BOMFIM, D.C.; SATURNINO, S.M.; MACHADO NETO, N.B. Estresse por alumínio e por acidez em cultivares de soja. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.59, n.1, p.145-153, 2002.

DADALTO, G.G.; BARBOSA, C.A. Macrozoneamento agroecológico. In:\_\_\_\_\_. **Manual técnico para a cultura do café no Estado do Espírito Santo**. Vitória: Secretaria de Estado de Agricultura, 1995. p.11-14

DADALTO, G.G.; LANI, J.A.; PREZOTTI, L.C. Conservação do Solo. In: COSTA, E.B. da (Coord). **Manual técnico para a cultura do café no estado do Espírito Santo**. Vitória: SEAG-ES, 1995, p.107-110.

DELHAIZE, E.; RYAN, P.R. Aluminum toxicity and tolerance in plants. **Plant Physiology**, Minneapolis, v.107, n.2, p.315-321, 1995.

DELOUCHE, J.C. **Pesquisas em sementes no Brasil**. Brasília: AGIPLAN, 1975. 70p.

DELOUCHE, J.C.; CALDWELL, W.P. Seed vigor and vigor tests. **Proc. Association of Official Seed Analysts**, v.50, n.1, p.124-129, 1960.

DORNELLES, A.L.C.; CARVALHO, F.I.F.; FEDERIZZI, L.C.; SERENO, M.J.C. de M.; AMARAL, A.; MITTELMANN, A. Avaliação de genótipos de trigo hexaplóide quanto a tolerância ao alumínio. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.26, p.19-22, 1996.

DORNELLES, A.L.C.; CARVALHO, F.I.F.; FEDERIZZI, L.C.; SERENO, M.J.C. de M.; AMARAL, A.; MITTELMANN, A. Avaliação simultânea para tolerância ao alumínio e sensibilidade ao ácido giberélico em trigo hexaplóide. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.9, p.893-896, 1997.

ECHART, C.L.; CAVALLI-MOLINA, S. Fitotoxicidade do alumínio: efeitos, mecanismo de tolerância e seu controle genético. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.3, p.531-541, 2001.

ELLIS, R.H.; HONG, T.D.; ROBERTS, E.H. An intermediate category of seed storage behavior?: I. Coffee. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.41, n.230, p.1167-1174, 1990.

FAGERIA, N.K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.2, p. 6-16, 1998.

FAZUOLI, L.C. Cultivares IAC de café. **O Agrônomo**, Campinas, v.51, n.1, 1999. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/OAgronomico/OAgronomico.asp>>. Acesso em: 11 julho 2007.

FAZUOLI, L.C.; BRAGHINI, M.T.; MISTRO, J.C.; SILVAROLLA, M.B. Café robusta: uma nova opção para a cafeicultura paulista. **O Agrônomo**, Campinas, v.59, n.1, p.71-74, 2007a.

FAZUOLI, L.C.; SILVAROLLA, M.B.; SALVA, T.J.G; GUERREIRO FILHO, O.; MEDINA FILHO, H.P.; GONÇALVES, W. Cultivares de café arábica do IAC: um patrimônio da cafeicultura brasileira. **O Agrônomo**, Campinas, v.59, n.1, p. 12-15, 2007b.

FERRÃO, M.A.G.; FONSECA, A.F.A. da; FERRÃO, R.G.; ROCHA, A.C. **Cultivares de café arábica para a região das montanhas do estado do Espírito Santo**. Vitória, ES: INCAPER, 2004a, 38p.

FERRÃO, R.G.; FONSECA, A.F.A. da; FERRÃO, M.A.G.; DE MUNER, L.H.; VERDIN FILHO, A.C.; VOLPI, P.S.; MARQUES, E.M.G.; ZUCATELI, F. **Café conilon: técnicas de produção com variedades melhoradas**. Vitória, ES: INCAPER, 2004b. 60p.

FIGLIOLA, M.B.; OLIVEIRA, E.C.; PIÑA-RODRIGUES, F.C.M. Análise de sementes. In: AGUIAR, I.B.; PIÑA-RODRIGUES, F.C.M.; FIGLIOLA, M.B. (eds.). **Sementes Florestais Tropicais**. Brasília: ABRATES, 1993. p.137-174.

FONSECA, A.F.A. da; FERRÃO, M.A.G.; FERRÃO, R.G.; VERDIN FILHO, A.C.; VOLPI, P.S.; ZUCATELI, F. **Conilon Vitória 'Incaper 8142': Variedade Clonal de Café Conilon**. Vitória, ES: INCAPER, 2004, 24p.

FONSECA, A.F.A. da; FERRÃO, M.A.G.; FERRÃO, R.G. A cultura do café robusta. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Palestras do I Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, Brasília: Embrapa Café, 2002a. p.119-145.

FONSECA, A.F.A. da; FERRÃO, R.G.; FERRÃO, M.A.G.; BRAGANÇA, S.M.; SILVEIRA, J.S.M. Variedades derivadas de café conillon (*Coffea canephora*) desenvolvidas pelo INCAPER para o Espírito Santo. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2, 2001, Vitória-ES. **Anais...** Brasília: EMBRAPA Café, 2002b, v.2, p.1063-1066.

FOY, C.D. Effects of aluminum on plant growth. In: CARSON, E.W. (Ed.). **The plant root and its environment**. Charlottes Ville: University Press of Virginia, 1974. p.601-641.

GUERREIRO FILHO, O.; FAZUOLI, L.C.; AGUIAR, A.T. da E. Cultivares de *Coffea arabica* selecionadas pelo IAC: características botânicas, tecnológicas, agronômicas e descritores mínimos. **O agrônomo**, Campinas, v.55, n.2, p.34-37, 2003.

GUIMARÃES, R.J. **Formação de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.): Efeitos de reguladores de crescimento e remoção do pergaminho na germinação de sementes e do uso de N e K em cobertura, no desenvolvimento de mudas**. 1995. 154p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.

JUSTINO, G.C.; CAMBRAIA, J.; OLIVA, M.A.; OLIVEIRA, J.A. de. Absorção e redução de nitrato em duas cultivares de arroz na presença de alumínio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.8, p.1285–1290, 2006.

KING, M.W.; ROBERTS, E.H. **The storage of recalcitrant seeds: achievements and possible approaches**. Rome: International Board for Plant Genetic Resources, 1979. 96p.

KONRAD, M.L.F.; SILVA, J.A.B.da; FURLANI, P.R.; MACHADO, E.C. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. **Bragantia**, Campinas, v.64, n.3, p.339-347, 2005.

KOSZO, C.R.R. **Germinação de sementes de *Erythrina speciosa* Andr. e *Eugenia brasiliensis* Lam. em meio ácido**. 2006. 77p. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente) – Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente, Instituto de Botânica, São Paulo, 2006.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Paulo: Rima Artes e Textos, 2000. 531p.

LAZOF, D.B.; GOLDSMITH, J.G.; RUFTY, T.M.; LINTON, R.W. Rapid uptake of aluminum into cells of intact soybean root tips. A microanalytical study using secondary ion mass spectroscopy. **Plant Physiology**, Minneapolis, v.106, p.1107-1114, 1994.

LOPES, J.C. **Germinação de sementes de *Phaseolus vulgaris***. 1990. 223 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1990.

LOPES, J.C.; CAPUCHO, M.T.; KROHLING, B.; ZANOTTI, P. Germinação de sementes de espécies florestais de *Caesalpineia ferrea* Mart. ex Tul. Var. *leiostachya* Benth., *Cassia grandis* L. E *Samanea saman* Merrill, após tratamento para superar a dormência. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.20, n.1, p.80-86, 1998.

MARIN, A.; SANTOS, D.M.M.; RODRIGUES, T.J.D; BANZATTO, D.A. Efeito simultâneo do estresse hídrico e do alumínio na germinação e no estabelecimento de plântulas de duas cultivares de guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp., Fabaceae). **Revista Ecosystema**, Espírito Santo do Pinhal, v.26, n.1, p.91-96, 2001.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. London: Academic Press, 2003. 889p.

MARTINEZ, H.E.P.; SILVA FILHO, J.B. da. **Introdução ao cultivo hidropônico de plantas**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2006. 111p.

MATIELLO, J.B. **Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendações**. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2002. 387p.

MAYER, A.M.; POLJAKOFF-MAYBER, A. **The germination of seeds**. London: Pergamon Press, 1989. 270p.

MENOSSO, O.G.; COSTA, J.A.; ANGHINONI, I.; BOHNEN, H. Tolerância de genótipos de soja ao alumínio em solução. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.11, p.2157-2166, 2000.

MISTRO, J.C.; FAZUOLI, L.C.; GALLO, P.B. Comportamento de cultivares de café arábica em solos ácidos e corrigidos. **O Agrônomo**, Campinas, v.59, n.1, p.37-38, 2007.

OIC, Organização Internacional de Café. **Total production of exporting countries**. Disponível em: <<http://dev.ico.org/prices/po.htm>> Acesso em: 22 de fevereiro de 2008.

OLIVEIRA, R.M.; CARVALHO, E.P.; SILVEIRA, I.A. Influência da diversidade microbiana na qualidade da bebida do café: uma revisão. **Revista Interação**, Varginha, Ano I, v.3, n.3, p.15-21, 2001.

OWNBY, J.D.; POPHAM, H.R. Citrate reverses the inhibition of wheat root growth caused by aluminum. **Plant Physiology**, Minneapolis, v.135, p.588-591, 1989.

PATERNIANI, M.E.A.G.Z.; FURLANI, P.R. Tolerância à toxicidade de alumínio de linhagens e híbridos de milho em solução nutritiva. **Bragantia**, Campinas, v.61, n.1, 2002.

PEREIRA, C.E.; PINHO, E.V.R.V.; OLIVEIRA, D.F.; KIKUTI, A.L.P. Determinação de inibidores da germinação no espermoderma de sementes de café (*Coffea arabica* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.24, n.1, p.306-311, 2002.

PEREZ, S.C.J.G. de A.; PRADO, C.H.B. de A. Efeitos de diferentes tratamentos pré-germinativos e da concentração de alumínio no processo germinativo de sementes de *Copaifera langsdorffii* Desf. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.15, n.1, p.115-118, 1993.

PIÑA-RODRIGUES, F.C.M.; VIEIRA, J.D. Teste de germinação. In: Piña-Rodrigues, F.C.M. (ed). **Manual de análise de sementes florestais**. Campinas: Fundação Cargill, 1988. p.70-90.

PINTO, N.F.J. de A. Análise sanitária na produção de sementes de grandes culturas. In: ZAMBOLIM, L. **Sementes: qualidade fitossanitária**. Viçosa: UFV, 2005. p.295-332.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. 2.ed. Brasília: ABRATES, 1985. 298p.

PRADO, R.M.; NASCIMENTO, V.M. **Manejo da adubação do cafeeiro no Brasil**. Ilha Solteira: UNESP/FEIS, 2003. 274p.

QUAGGIO, J.A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2000. 111p.

RENA, A.B.; MAESTRI, M. Ecofisiologia do cafeeiro. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p.119-147.

RENA, A.B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do Cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1986. p.13-85.

SAKIYAMA, N.S.; PEREIRA, A.A.; ZAMBOLIM, L. Melhoramento do Café Arábica. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: UFV, 1999. p.189-204.

SEAG, Secretaria da Agricultura, Abastecimento, Aqüicultura e Pesca. **Café**. Disponível em: <[http://www.seag.es.gov.br/cafe\\_caracterizacao.htm](http://www.seag.es.gov.br/cafe_caracterizacao.htm)> Acesso em: 30 de maio de 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

TEIXEIRA, T.D. Política estratégica para a cafeicultura brasileira. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Palestras do I Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, Brasília: Embrapa Café, 2002. p.169-193.

THOMAZIELLO, R.A.; OLIVEIRA, E.G.; TOLEDO FILHO, J.A.; COSTA, T.E. **Cultura do Café**. 3.ed. Campinas: CATI, 1997. 75p. (Boletim Técnico, 193).



TICE, K.R., PARKER, D.R., DeMASON, D.A. Operationally defined apoplastic and symplastic aluminum fractions in root tips of aluminum-intoxicated wheat. **Plant Physiology**, Minneapolis, v.100, p.309-318, 1992.

TOLEDO, F.F.; MARCOS FILHO, J. **Manual das sementes: tecnologia da produção**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1977. 224p.

VILLAGOMEZ, A.Y.; VILLASENOR, R.R.; SALINAS, M.J.R. **Lineamento para el funcionamiento de um laboratorio de semillas**. México: INIA, 1979. 91p.

VITTI, G.C.; CASARIN, V. Calagem e nutrição com enxofre na produtividade da soja. SIMPÓSIO SOBRE CULTURA E PRODUTIVIDADE DA SOJA, 1., 1991, Piracicaba. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1992. p.157-179.

ZAPATA, J.C. Efecto del manchado del grano de arroz sobre algunos estados de desarrollo de la planta de arroz. **Arroz**, Bogotá, v.34, n.338, p.22-26.1985.

ZHAO, X.J.; SUCOFF, E.; STADELMANN, E.J.  $Al^{3+}$  and  $Ca^{2+}$  alteration of membrane permeability of *Quercus rubra* root cortex cells. **Plant Physiology**, Minneapolis, v.83, p.159-162, 1987.

## Capítulo 1

### GERMINAÇÃO E VIGOR DE SEMENTES DE CAFÉ SUBMETIDAS AO ESTRESSE COM ALUMÍNIO

**Resumo** - O objetivo deste trabalho foi avaliar a germinação e o vigor de sementes de *Coffea arabica* cv. Catuaí Amarelo IAC 86 e de *C. canephora* cv. Apatã sob diferentes concentrações de alumínio. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, num arranjo fatorial (2 x 5), com quatro repetições, correspondendo a duas cultivares e cinco níveis da solução de alumínio, nas concentrações de 0; 15; 30; 45 e 60 mg L<sup>-1</sup> de Al<sup>3+</sup>. As sementes foram tratadas com o fungicida Captan e semeadas em rolos de papel-toalha, mantidos a 30°C, na ausência de luz. Após 30 dias foram avaliados a germinação e o vigor, pelo teste de comprimento da raiz primária. A germinação e o vigor das sementes da cultivar Catuaí Amarelo IAC 86 não foram influenciados pelo aumento da concentração de alumínio na solução, diferindo significativamente da cultivar Apatã, que se mostrou sensível à presença de alumínio na concentração de 60 mg L<sup>-1</sup> de Al<sup>3+</sup>.

**Palavras-chave:** *Coffea arabica*, *Coffea canephora*, desempenho germinativo, toxidez de alumínio.

## GERMINATION AND VIGOR OF COFFEE SEEDS SUBMITTED TO THE ALUMINUM STRESS

**Abstract** - The objective of this work was to evaluate the germination and the vigor of seeds *Coffea arabica* cv. Catuaí Amarelo IAC 86 and of *C. canephora* cv. Apoatã under different aluminum concentrations. The entirely randomized experimental design was used, a factorial scheme (2 x 5), with four replicates, corresponding two cultivate and five levels of the solution of aluminum, in the concentrations of 0; 15; 30; 45 and 60 mg L<sup>-1</sup> of Al. The seeds were treated with the fungicide Captan and sowed in paper-towel rolls, maintained to 30°C, in the light absence. After 30 days, were appraised the germination and the vigor, for the test of length of the primary root. The germination and the vigor of the seeds of cultivating Catuaí Amarelo IAC 86 weren't influenced by the increase of the concentration of aluminum in the solution, differing significantly of cultivating Apoatã, that was shown sensitive to presence of aluminum in the concentration of 60 mg L<sup>-1</sup> of Al.

**Key words:** *Coffea arabica*, *Coffea canephora*, germination performace, aluminum toxicity.

## INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de café, responsável por cerca de 28% do mercado internacional (OIC, 2008), cujas áreas cafeeiras concentram-se no centro-sul do país, destacando-se os Estados de Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo e Paraná e, em menor quantidade, nas regiões Nordeste e Norte (ABIC, 2006).

O Espírito Santo, localizado em região com grande diversidade climática, cultiva as duas principais espécies de café exploradas comercialmente no mundo: *Coffea canephora*, que se adapta preferencialmente em regiões com temperatura média anual entre 22-26°C, geralmente em locais com altitudes inferiores a 400 m e, *Coffea arabica*, que se adapta preferencialmente em regiões com temperaturas médias entre 19-22°C, encontradas geralmente em locais com altitudes superiores a 450-500 m (Ferrão et al., 2004; Matiello et al., 2004).

A cultivar Catuaí Amarelo IAC 86 é suscetível à ferrugem, apresenta ampla capacidade de adaptação na maioria das regiões de plantio de café arábica no Espírito Santo, e por apresentar porte baixo, permite maior densidade de plantio, facilitando a colheita e reduzindo custos com tratamentos fitossanitários (Ferrão et al., 2004), enquanto o Apoatã é uma cultivar da espécie *C. canephora*, que se apresenta como vigorosa, produtiva, rústica, com sementes graúdas, alta resistência a nematóides e à ferrugem das folhas, sendo muito utilizada para a técnica da enxertia, como “cavalo” para a espécie de *C. arabica* em regiões onde a ocorrência de nematóides é importante (Fazuoli, 1999; Fonseca et al., 2002).

As características do solo frequentemente afetam a germinação das sementes (Mayer & Poljakoff-Mayber, 1989). A toxidez de alumínio é o fator limitante mais importante para o crescimento das plantas em solos muito ácidos (Lopes et al., 1998), e o alumínio trocável interfere no desenvolvimento da planta reduzindo a porcentagem de germinação de algumas espécies (Custódio et al., 2002). As membranas celulares alteram-se quando expostas às concentrações de alumínio, aumentando sua permeabilidade, culminando com efluxo de solutos do interior, e ocorre a peroxidação lipídica, como sendo um dos primeiros efeitos sobre a bicamada. O potencial elétrico da parede é alterado, e o alumínio atua degenerando os canais das proteínas de membranas (Shomer et al., 2003; Vitorello et al., 2005).

O sintoma mais facilmente reconhecido da toxidez de alumínio é a inibição do crescimento da raiz, que é muito utilizado como um indicativo do estresse desse elemento manifestado pela planta (Delhaize & Ryan, 1995). A questão da toxidez desse cátion em cafeeiro já foi discutida em outros trabalhos (Braccini et al., 1998; Braccini et al., 2000; Konrad et al., 2005). Porém, há poucos trabalhos disponíveis sobre a influência do alumínio na germinação de sementes de espécies de grandes culturas, como o café, objetivo deste estudo, que é o de avaliar a germinação e o vigor das sementes de duas cultivares em diferentes concentrações de alumínio.

## MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido no Laboratório de Tecnologia e Análise de Sementes do Departamento de Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, CCA-UFES, em Alegre-ES. Foram utilizadas sementes da cultivar Catuaí Amarelo IAC 86 de *Coffea arabica* L. e da cultivar Apoatã de *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, provenientes da Fazenda Experimental de Marilândia, ES, do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural - Incaper, em Venda Nova do Imigrante, ES. As sementes foram colhidas em junho/julho de 2005, acondicionadas em embalagens de plástico semipermeável e armazenadas em geladeira ( $3\pm 1^{\circ}\text{C}$ ) até o mês de agosto do mesmo ano, quando foi realizada a semeadura.

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições de 25 sementes. Os tratamentos foram distribuídos no esquema fatorial  $2 \times 5$ , composto por duas cultivares de café (Catuaí Amarelo IAC 86 e Apoatã) e cinco concentrações de alumínio (0; 15; 30; 45 e 60  $\text{mg L}^{-1}$ ) na forma de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$ .

A solução nutritiva foi composta de  $\text{MgSO}_4$  0,1  $\text{mmol L}^{-1}$ ,  $\text{KNO}_3$  0,1  $\text{mmol L}^{-1}$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  0,15  $\text{mmol L}^{-1}$  e  $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_8$  8,0  $\text{mmol L}^{-1}$  (bifitalato de potássio para manter o pH em torno de 4,0), além das diferentes concentrações de alumínio dos tratamentos. Antes da semeadura as sementes foram tratadas com Captan a 0,1% por três minutos.

Após a retirada dos pergaminhos, as sementes tiveram avaliados o grau de umidade, com o teor de água ajustado para 14% (Brasil, 1992); a germinação, com quatro repetições de 25 sementes por tratamento, distribuídas entre três folhas de papel para germinação, umedecidas, na proporção de 2,5 vezes o seu peso, com

solução nutritiva contendo as diferentes concentrações de alumínio. Os rolos foram colocados na posição vertical dentro de recipientes plásticos com uma lâmina de solução nutritiva nas diferentes concentrações de alumínio, para manter a base dos rolos umedecida. Os recipientes foram mantidos no escuro, em câmara BOD sob temperatura constante de  $30\pm 1^{\circ}\text{C}$ . A germinação foi avaliada aos 30 dias após a semeadura (Brasil, 1992), considerando-se germinadas as sementes que apresentavam protrusão da raiz primária com 2 mm de comprimento. Concomitantemente com o teste de germinação, foi avaliado o vigor das sementes pelo teste de comprimento de raiz, aos 40 dias após a semeadura.

Os dados foram submetidos à análise de regressão, porém não foi significativa para nenhuma das características avaliadas (Anexo), sendo submetidos, posteriormente, à análise de variância. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o *software* estatístico SAEG (Sistema para Análises Estatísticas da Universidade Federal de Viçosa - UFV), versão 9.0 (Euclides, 2004).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na análise de variância verificou-se diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) para as características analisadas e a existência de interação significativa entre as cultivares de café e os níveis de alumínio estudados (Tabela 1).

**Tabela 1** - Resumo da análise de variância para duas características indicativas de tolerância ao alumínio em níveis tóxicos, para duas cultivares de café

FV	GL	Quadrados Médios	
		Germinação (%)	CRP <sup>1</sup> (cm)
Cultivares	1	2788,9*	3,48*
Níveis de alumínio	4	129,1*	1,65*
Cultivar x alumínio	4	99,9*	1,03*
Resíduo	30	31,8	0,23
Total	39	-	-
Valores mínimos	-	72	2,07
Valores máximos	-	100	4,80
CV (%)	-	6,42	13,11

\* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. FV = Fonte de variação. GL = Grau de liberdade. CV = Coeficiente de variação. CRP = comprimento de raiz primária.

A germinação (Tabela 2) foi estatisticamente diferente entre as cultivares em todas as concentrações de alumínio testadas. As sementes da cultivar Catuaí Amarelo IAC 86 apresentaram maior desempenho germinativo que as da cultivar Apoatã, sendo que essa resposta está relacionada às características intrínsecas das sementes dessas cultivares, evidenciada no tratamento sem alumínio. Ao analisar cada cultivar nas diferentes concentrações de alumínio, a cultivar Apoatã apresentou menor desempenho germinativo na presença de alumínio nas concentrações de 15 e 60 mg L<sup>-1</sup> e na cultivar Catuaí Amarelo IAC 86 não houve diferença significativa entre as concentrações estudadas, evidenciando que este elemento afeta de forma negativa a germinação da cultivar Apoatã. Essa diferença entre as duas cultivares em relação aos níveis de alumínio sugere a existência de algum mecanismo de tolerância nas sementes da cultivar Catuaí Amarelo IAC 86. Diversos mecanismos bioquímicos têm sido propostos para explicar a tolerância ao alumínio em plantas. No caso da tolerância interna, à raiz, de acordo com Abichequer et al. (2003), são citadas: a ação de polipeptídeos do citoplasma como moléculas quelantes; a existência de enzimas, cuja atividade não é prejudicada pelo cátion Al<sup>3+</sup> e a eliminação desse íon do ambiente celular por compartimentalização no vacúolo. E, de acordo com Larcher (2000), os compostos de alumínio são facilmente solubilizados em condições ácidas atuando sobre o metabolismo de minerais e sobre o vigor das plantas.

Dentro de cada tratamento com alumínio, a diferença do comprimento da raiz primária entre cultivares foi observada nas concentrações de 15 e 60 mg L<sup>-1</sup>, onde a cultivar Catuaí Amarelo IAC 86 apresentou maior comprimento de raiz. Na ausência do cátion (testemunha) as cultivares não se diferiram quanto ao vigor. Entretanto, na menor concentração de alumínio (15 mg L<sup>-1</sup>) foi observada diferença entre as cultivares. Essa diferença foi verificada em função da resposta da cultivar Catuaí Amarelo IAC 86 à concentração de 15 mg L<sup>-1</sup> de Al<sup>3+</sup> que causou estímulo no crescimento de sua raiz, embora nesta concentração ainda não tenha sido observado o estímulo na cultivar Apoatã. A partir da concentração de 30 mg L<sup>-1</sup> de Al<sup>3+</sup> a cultivar Apoatã respondeu similarmente a cultivar Catuaí Amarelo IAC 86 com estímulo ao aumento do comprimento de raiz, porém a concentração de 60 mg L<sup>-1</sup> de Al<sup>3+</sup> prejudica o crescimento por ser uma concentração alta de alumínio para essa cultivar. Além disso, cada cultivar apresentou uma resposta diferenciada em relação às diferentes concentrações de Al<sup>3+</sup>. Na ausência deste elemento, a cultivar Catuaí

Amarelo IAC 86 apresentou menor comprimento da raiz primária, sendo que os tratamentos com alumínio não diferiram entre si, observando-se um acréscimo no comprimento da raiz primária, possivelmente por interferir na homeostase de  $\text{Ca}^{2+}$ , ou por se ligar intimamente ao DNA (Vitorello et al., 2005), sugerindo que o  $\text{Al}^{3+}$  nessas concentrações não seja tóxico a essa cultivar. Concentrações baixas de alumínio podem estimular o desenvolvimento inicial do vegetal (Szymanska & Molas, 1996), sem causar efeito tóxico, agindo diretamente sobre o alongamento das raízes (Miyasaka & Hawes, 2001; Yamamoto et al., 2002).

A cultivar Apatã (Tabela 2) apresentou menor comprimento de raiz na ausência de alumínio e nas concentrações de 15 e 60  $\text{mg L}^{-1}$ , onde se verificou que as duas primeiras concentrações foram muito baixas para causar estímulo no crescimento da raiz desta cultivar, e como a inibição do crescimento da raiz é o sintoma visível mais rápido da toxidez do alumínio em plantas sensíveis (Degenhardt et al., 1998), a concentração de 60  $\text{mg L}^{-1}$  de  $\text{Al}^{3+}$  foi muito alta determinando toxidez às plântulas, verificado no desenvolvimento da raiz primária. Estes resultados evidenciam a sensibilidade desta cultivar ao alumínio. Foi observado maior aumento do comprimento de raiz nas concentrações de 30 e 45  $\text{mg L}^{-1}$  de  $\text{Al}^{3+}$ , embora a concentração de 30  $\text{mg L}^{-1}$  de  $\text{Al}^{3+}$  não tenha se diferenciado da testemunha e da concentração de 15  $\text{mg L}^{-1}$  de  $\text{Al}^{3+}$ .

**Tabela 2** - Germinação e comprimento da raiz primária de plântulas de sementes das cultivares Catuaí Amarelo IAC 86 e Apatã em diferentes concentrações de alumínio em solução

Cultivar	Concentração de Alumínio ( $\text{mg L}^{-1}$ )				
	0	15	30	45	60
Germinação (%)					
IAC 86	98 aA	96 aA	95 aA	97 aA	96 aA
Apatã	86 bA	77 bAB	81 bA	86 bA	68 bB
Comprimento da raiz primária de plântulas (cm)					
IAC 86	2,93 aB	4,29 aA	4,28 aA	4,07 aA	4,12 aA
Apatã	3,07 aBC	2,97 bBC	3,84 aAB	4,10 aA	2,76 bC

\*Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

DMS = diferença mínima significativa.

DMS para germinação: Linha = 11,57 e Coluna = 8,15.

DMS para CRP: Linha = 0,98 e Coluna = 0,69.



## CONCLUSÕES

A cultivar Catuaí Amarelo IAC 86 apresenta maior desempenho germinativo que a cultivar Apatã tanto na ausência como na presença do alumínio.

Nas concentrações de 15 e 60 mg L<sup>-1</sup> de Al<sup>3+</sup> a cultivar Apatã apresenta menor desempenho germinativo e há diferença significativa no comprimento da raiz primária entre as cultivares Catuaí amarelo IAC 86 e Apatã.

O desenvolvimento da raiz primária da cultivar Catuaí Amarelo IAC 86 é estimulado com concentrações de alumínio até 60 mg L<sup>-1</sup>.

Na cultivar Apatã, o crescimento da raiz primária é estimulado pela presença de alumínio nas concentrações de 30 e 45 mg L<sup>-1</sup> e decresce na concentração de 60 mg L<sup>-1</sup> de Al<sup>3+</sup>.

## REFERÊNCIAS

- ABIC. **História do café**. Disponível em: <<http://www.abic.com.br/>> Acesso em 01 de nov. 2006.
- ABICHEQUER, A.D.; BOHNEN, H.; ANGHINONI, I. Absorção, translocação e utilização de fósforo por variedades de trigo submetidas à toxidez de alumínio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.373-378, 2003.
- BRACCINI, M.C.L.; MARTINEZ, H.E.P.; BRACCINI, A.L. Avaliação de linhagens de cafeeiros quanto à tolerância ao alumínio pelo método do papel-solução. **Bragantia**, Campinas, v.59, n.2, p.221-226, 2000.
- BRACCINI, M.C.L.; MARTINEZ, H.E.P.; PEREIRA, P.R.G.; SAMPAIO, N.F.; SILVA, E.A.M. Tolerância de genótipos de cafeeiro ao Al em solução nutritiva. I. Crescimento e desenvolvimento da parte aérea e sistema radicular. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.435-442, 1998.
- BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA/DNDV/CLAV, 1992. 365p.
- CUSTÓDIO, C.C.; BOMFIM, D.C.; SATURNINO, S.M.; MACHADO NETO, N.B. Estresse por alumínio e por acidez em cultivares de soja. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.59, n.1, p.145-153, 2002.
- DEGENHARDT, J.; LARSEN, P.B.; HOWELL, S.H.; KOCHIAN, L.V. Aluminum resistance in the *Arabidopsis mutant alr-104* is caused by an aluminum-induced increase in rhizosphere pH. **Plant Physiology**, Minneapolis, v.117, p.19-27, 1998.
- DELHAIZE, E.; RYAN, P.R. Aluminum toxicity and tolerance in plants. **Plant Physiology**, Minneapolis, v.107, n.2, p.315-321, 1995.
- EUCLYDES, R.F. **Sistema para análises estatísticas e genéticas**. Versão 9.0. Viçosa: FUNARBE/UFV, 2004.
- FAZUOLI, L.C. Cultivares IAC de café. **O Agrônomo**, v.51, n.1, 1999. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/OAgronomico/OAgronomico.asp>> Acesso em: 11 de julho de 2007.
- FERRÃO, M.A.G.; FONSECA, A.F.A.; FERRÃO, R.G.; ROCHA, A.C. **Cultivares de café arábica para a região das montanhas do estado do Espírito Santo**. Vitória: INCAPER, 2004, 38p.
- FONSECA, A.F.A. da; FERRÃO, R.G.; FERRÃO, M.A.G.; BRAGANÇA, S.M.; SILVEIRA, J.S.M. Variedades derivadas de café conillon (*Coffea canephora*) desenvolvidas pelo INCAPER para o Espírito Santo. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2, 2001, Vitória-ES. **Anais...** Brasília: EMBRAPA Café, 2002, v.2, p.1063-1066.

KONRAD, M.L.F.; SILVA, J.A.B.; FURLANI, P.R.; MACHADO, E.C. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. **Bragantia**, Campinas, v.64, n.3, p.339-347, 2005.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Paulo: Rima Artes e Textos, 2000. 531p.

LOPES, J.C.; CAPUCHO, M.T.; KROHLING, B.; ZANOTTI, P. Germinação de sementes de espécies florestais de *Caesalpineia ferrea* Mart. ex Tul. Var. *leiostachya* Benth., *Cassia grandis* L. e *Samanea saman* Merrill, após tratamento para superar a dormência. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.20, n.1, p.80-86, 1998.

MATIELLO, J.B.; AMARAL, A.S.; MENDONÇA, S.M.; LEITE FILHO, S.; LOUBACK, A. Viabilidade do cultivo de variedades de café arábica em regiões quentes, comparativo com café conilon em dois pisos altitudinais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 30, 2004, São Lourenço-MG. **Trabalhos Apresentados**. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFE, 2004, p.15.

MAYER, A.M.; POLJAKOFF-MAYBER, A. **The germination of seeds**. London: Pergamon Press, 1989. 270p.

MIYASAKA, S.C.; HAWES, M.C. Possible role of border cells in detection and avoidance of aluminium toxicity. **Plant Physiology**, Minneapolis, v.125, p.1978-1987, 2001.

OIC, Organização Internacional de Café. **Total production of exporting countries**. Disponível em: <<http://dev.ico.org/prices/po.htm>> Acesso em: 22 de fevereiro de 2008.

SHOMER, I.; NOVACKY, A.J.; PIKE, S.M.; YERMIYAHU, U.; KINRAIDE, T.B. Electrical potentials of plant cell walls in response to the ionic environment. **Plant Physiology**, Minneapolis, v.133, p.411-422, 2003.

SZYMANSKA, M.; MOLAS, J. The effect of aluminium on early development stages of *Cucumis sativus* L. **Folia Horticulturae**, Poznań, v.8, n.1, p.73- 83, 1996.

VITORELLO, V.A.; CAPALDI, F.R.; STEFANUTO, V.A. Recent advances in aluminium toxicity and resistance in higher plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v.17, p.129-143, 2005.

YAMAMOTO, Y.; KOBAYASHI, Y.; DEVI, S.R.; RIKIISHI, S.; MATSUMOTO, H. Aluminium toxicity is associated with mitochondrial dysfunction and the production of reactive oxygen species in plant cells. **Plant Physiology**, Minneapolis, v.128, p.63-72, 2002.

## Capítulo 2

### QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE CAFÉ ARÁBICA EM PRESENÇA DE ALUMÍNIO

**Resumo** – O objetivo deste trabalho foi avaliar a germinação e o vigor de sementes da espécie *Coffea arabica*, cultivares Catuaí Amarelo IAC 62, Iapar 59, Obatã e Oeiras, na presença de alumínio. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, num arranjo fatorial (4 x 2), com quatro repetições, correspondendo às quatro cultivares e as soluções sem e com alumínio na forma de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$ , na concentração de  $45 \text{ mg L}^{-1}$ . As sementes foram semeadas em rolos de papel-toalha, mantidos em câmara BOD a  $30^\circ\text{C}$ , na ausência de luz. Não houve interação significativa entre as cultivares e o alumínio. Entre as quatro cultivares, as sementes de Catuaí Amarelo IAC 62 apresentaram menor desempenho germinativo e vigor. A germinação das sementes das cultivares de café arábica não foi afetada pelo  $\text{Al}^{3+}$  até a concentração de  $45 \text{ mg L}^{-1}$ , no entanto essa mesma concentração de  $\text{Al}^{3+}$  estimulou o crescimento da raiz primária das quatro cultivares.

**Palavras-chave:** *Coffea arabica*, alumínio, desempenho germinativo, vigor, toxidez.

## PHYSIOLOGIC QUALITY OF ARABIC COFFEE SEEDS IN PRESENCE OF ALUMINUM

**Abstract** - The objective of this work was to evaluate the germination and the vigor of the species *Coffea arabica* seeds, cultivate Catuaí Amarelo IAC 62, Iapar 59, Obatã and Oeiras, in the presence of aluminum. The entirely randomized experimental design was used, a factorial scheme (4 x 2), with four replicates, corresponding at four cultivate and the solutions without and with aluminum in the form of  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$ , in the concentration of  $45 \text{ mg L}^{-1}$ . The seeds were sowed in paper-towel rolls, maintained in camera BOD to  $30^\circ\text{C}$ , in the light absence. There wasn't significant interaction among the cultivate and the aluminum. Among the four cultivate, Catuaí Amarelo IAC 62 seeds presented smaller germination performace and vigor. The germination of the seeds of the cultivate of arabic coffee was not affected by  $\text{Al}^{3+}$  until the concentration of  $45 \text{ mg L}^{-1}$ , however that same concentration of  $\text{Al}^{3+}$  stimulated the growth of the primary root of the four cultivate.

**Key words:** *Coffea arabica*, aluminum, germination performace, vigor, toxicity.

## INTRODUÇÃO

A importância da cafeicultura brasileira pode ser visualizada pelo volume de produção, pelo consumo interno, pela sua participação na pauta de exportação e capacidade de geração de emprego e de renda na economia (Teixeira, 2002). O café é o segundo maior gerador de riquezas do planeta, perdendo apenas para o petróleo. Sendo o Brasil o principal exportador que responde por mais de um quarto de toda a produção mundial (CBP&D/Café, 2004, OIC, 2008). Nos últimos anos, a redução da cota da exportação do produto provocou a necessidade de maior qualidade e redução de custos (Costa & Carvalho, 2006), porém os custos vêm aumentando para atender a demanda de consumidores cada vez mais exigentes.

No Estado do Espírito Santo, a atividade cafeeira constitui-se na mais importante atividade do setor agropecuário, tanto do ponto de vista econômico como do social. Estima-se que seja, direta ou indiretamente, responsável pela geração de cerca de 550 mil empregos e chega, em determinados anos, a responder por cerca de 85% da arrecadação do setor primário estadual (Fonseca et al., 2002).

Através do Programa de Melhoramento Genético da espécie de *Coffea arabica* no Estado do Espírito Santo, realizado no Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural - Incaper, e com vistas ao aumento da produtividade e à melhoria da qualidade do café arábica no Estado, Ferrão et al. (2004) indicaram como as principais cultivares para o plantio no Estado: Mundo Novo (IAC 376-4), Icatu Precoce (IAC 3282), Catuaí Vermelho (IAC 44, IAC 81, IAC 99, IAC 144), Catuaí Amarelo (IAC 62, IAC 86), Catuaí Rubi (MG 1192), Topázio (MG 1189), Iapar 59, Katipó (245-3-7) e Oeiras (MG 6851). Dentre os materiais genéticos introduzidos e em testes, algumas cultivares de porte baixo a médio e com resistência à ferrugem, como 'Obatã', 'Tupi', 'Catucaí' e 'Paraíso', tem se destacado.

A produção de mudas de café arábica é obtida a partir de sementes retiradas de lavouras reconhecidamente produtivas ou adquiridas de centros de pesquisa (Bragança et al., 1995). Desta forma, é de fundamental importância a obtenção de sementes de café de alta qualidade fisiológica, uma vez que, a utilização de sementes saudáveis, de procedência conhecida e com alto desempenho germinativo tem sido considerada como os principais fatores responsáveis pela obtenção de mudas mais vigorosas em condições de campo, resultando em maiores produtividades na exploração comercial da cultura (Braccini et al, 1998a).

As sementes de café, embora incluídas, inicialmente, no grupo das sementes recalcitrantes (King & Roberts, 1979), devido à curta viabilidade, posteriormente foram incluídas em uma categoria intermediária por Ellis et al. (1990), ao verificarem que sementes de quatro cultivares de *Coffea arabica* não apresentaram redução significativa na germinação, quando tiveram os teores de água reduzidos a aproximadamente 10%, embora tenham sido prejudicadas pelo armazenamento sob temperaturas de 0 e 20°C. Mycock (1995) citado por Sakiyama et al. (1999) também observou que a semente pode ser seca, mas não pode ser armazenada em temperaturas abaixo de 10°C, o que impede a manutenção de seu poder germinativo por períodos longos. A presença do endocarpo (pergaminho) e baixas temperaturas atrasam a germinação; com a remoção do pergaminho e sob temperatura de 32°C, as sementes maduras de cafeeiro germinam em 15 dias (Rena & Maestri, 1986). Carvalho et al. (1999) avaliando os efeitos de tratamentos aplicados nas sementes de cafeeiro com e sem pergaminho, na emergência e desenvolvimento das mudas, verificaram que a retirada manual do pergaminho contribui para acelerar o desenvolvimento das mudas de café, corroborando as afirmações de Rena & Maestri (1986). Outro fator que contribui para a lenta germinação das sementes de café é o espermoderma, possivelmente devido à presença de cafeína (Pereira, et al., 2002). Esta camada é formada por células remanescentes do tecido nucelar, que envolve todo o endosperma e persiste como células viáveis até a maturação do fruto e semente (Castro et al., 2001). Rosa et al. (2006) estudando o efeito da cafeína exógena sobre a germinação e o desenvolvimento de embriões de *Coffea arabica* L. e de *Coffea canephora* Pierre ex Froehner verificaram que o efeito detrimental da cafeína exógena em embriões de *Coffea* é maior nas radículas do que nos cotilédones, sendo os embriões de *Coffea arabica* L. mais sensíveis aos efeitos negativos da cafeína exógena do que embriões de *Coffea canephora* Pierre ex Froehner.

Em solos ácidos, como os silicatados e outros substratos pobres em bases, o ferro e o manganês estão fartamente disponíveis e compostos de alumínio são facilmente solubilizados atuando sobre o metabolismo inorgânico e sobre o vigor das plantas (Larcher, 2000). O alumínio trocável dos solos, além de interferir no desenvolvimento da planta pode reduzir a germinação de algumas espécies (Custódio et al., 2002). Na planta ele atua indiretamente no processo metabólico

associado com a divisão celular, através da inibição do processo de crescimento, interferindo na replicação de DNA durante a interfase (McQuattie & Schier, 1990).

Há evidências de que o alumínio é transportado através da membrana plasmática da raiz para dentro das células, após uma curta exposição do tecido ao mesmo (Lazof et al., 1994), provavelmente como Al-ligante neutro, por endocitose, através das proteínas integrais da membrana, ou através de lesões causadas por estresse (Tice et al., 1992). A influência negativa deste íon a condutibilidade hidráulica das raízes evidencia que a membrana plasmática é o sítio primário da injúria causada pelo mesmo (Zhao et al., 1987). No simplasto de raízes de soja (*Glycine max* (L.) Merr.) Lazof et al. (1994) detectaram a presença de alumínio após somente 30 minutos de exposição ao mesmo, o que sugere que a entrada deste cátion nas células pode ocorrer antes que o crescimento da raiz esteja inibido e sugere que a toxicidade desse elemento no simplasto é possível.

Embora o alumínio não seja considerado um nutriente para os vegetais, como o manganês (Mn), ambos desempenham importante papel na nutrição das plantas cultivadas, principalmente em solos de regiões tropicais úmidas, bastante intemperizados, pois podem aparecer em concentrações tóxicas. Quando presente em elevadas concentrações o desenvolvimento do sistema radicular é afetado, aumentando o seu diâmetro e reduzindo o número das raízes absorventes, acarretando dificuldades na absorção de nutrientes e de água pelas plantas (Mascarenhas, 2004). O  $Al^{3+}$  é comprovadamente tóxico às plantas e essa toxidez está diretamente relacionada com as condições ácidas do meio (Delhaize & Ryan, 1995; Kinraide, 1991).

Braccini et al. (1998b) verificaram que em espécies de cafeeiro pode haver diferentes níveis de tolerância em relação à presença do alumínio tóxico, quando se avaliam variáveis relacionadas ao crescimento das raízes. Entretanto, Konrad et al. (2005), estudando os efeitos da toxidez desse elemento sobre as variáveis relacionadas com as trocas gasosas de  $CO_2$  e de  $H_2O$  e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro, observaram que não houve diferenças importantes quanto à tolerância ao cátion, visto que em todas elas o processo da fotossíntese foi afetado significativamente e em intensidades semelhantes.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho germinativo e o vigor de sementes de quatro cultivares da espécie *Coffea arabica* em presença e ausência de alumínio.



## MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido no Laboratório de Tecnologia e Análise de Sementes do Departamento de Fitotecnia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, CCA-UFES, em Alegre-ES, no período de novembro de 2005 a fevereiro de 2006. Foram utilizadas sementes das cultivares Catuaí Amarelo IAC 62, Obatã, Oeiras e Iapar 59 da espécie *Coffea arabica*, provenientes do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural - Incaper, Venda Nova do Imigrante – ES.

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições de 50 sementes. Os tratamentos foram distribuídos no esquema fatorial 4 x 2, composto por quatro cultivares de café (Catuaí Amarelo IAC 62, Obatã, Oeiras e Iapar 59) e duas soluções, uma sem e outra com  $Al^{3+}$  (45 mg L<sup>-1</sup>) na forma de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 16H_2O$ .

A solução nutritiva foi composta de  $MgSO_4$  0,1 mmol L<sup>-1</sup>,  $KNO_3$  0,1 mmol L<sup>-1</sup>,  $NH_4NO_3$  0,15 mmol L<sup>-1</sup> e  $KHC_8H_4O_8$  8,0 mmol L<sup>-1</sup> (bifitalato de potássio para manter o pH em torno de 4,0), mudando com relação à adição de alumínio. O pH da solução foi mantido em 4,0 (Fageria, 1998; Kinraide, 1991). As sementes foram tratadas com Captan (Orthocide®) a 0,1% por três minutos.

Após a retirada dos pergaminhos das sementes, estas foram submetidas às seguintes determinações em laboratório: **teor de água** – utilizando-se duas repetições de 5g de sementes de cada cultivar, empregando-se o método da estufa  $105 \pm 3^\circ C$ , por 24 horas (Brasil, 1992); **teste de germinação** – com quatro repetições de 50 sementes por tratamento, distribuídas entre três folhas de papel-toalha tipo Germitest®, umedecidas, na proporção de 2,5 vezes o peso do papel, com solução nutritiva em diferentes concentrações de  $Al^{3+}$ . Os rolos de papel foram colocados na posição vertical dentro de vasos de plásticos contendo uma lâmina de solução nutritiva sem e com alumínio, de maneira a manter a base dos rolos sempre umedecida. Os recipientes foram mantidos no escuro dentro do germinador, sob temperatura constante de  $30 \pm 1^\circ C$ . A porcentagem de germinação foi obtida pela avaliação realizada aos 30 dias após a semeadura, de acordo com as prescrições das Regras para Análise de Sementes (Brasil, 1992), considerando-se germinadas as sementes que apresentaram protrusão da raiz primária com 2 mm de comprimento; conjuntamente com o teste de germinação, foi avaliado o vigor das

sementes pelo **teste de primeira contagem de germinação (%)** – que foi obtido com base no teste de germinação, considerando a porcentagem de plântulas que, aos 15 dias após a semeadura, apresentavam-se com emissão radicular; e pelo **teste de comprimento de raiz (cm)** - aos 40 dias, após a semeadura no teste de germinação, o comprimento da raiz principal foi medido.

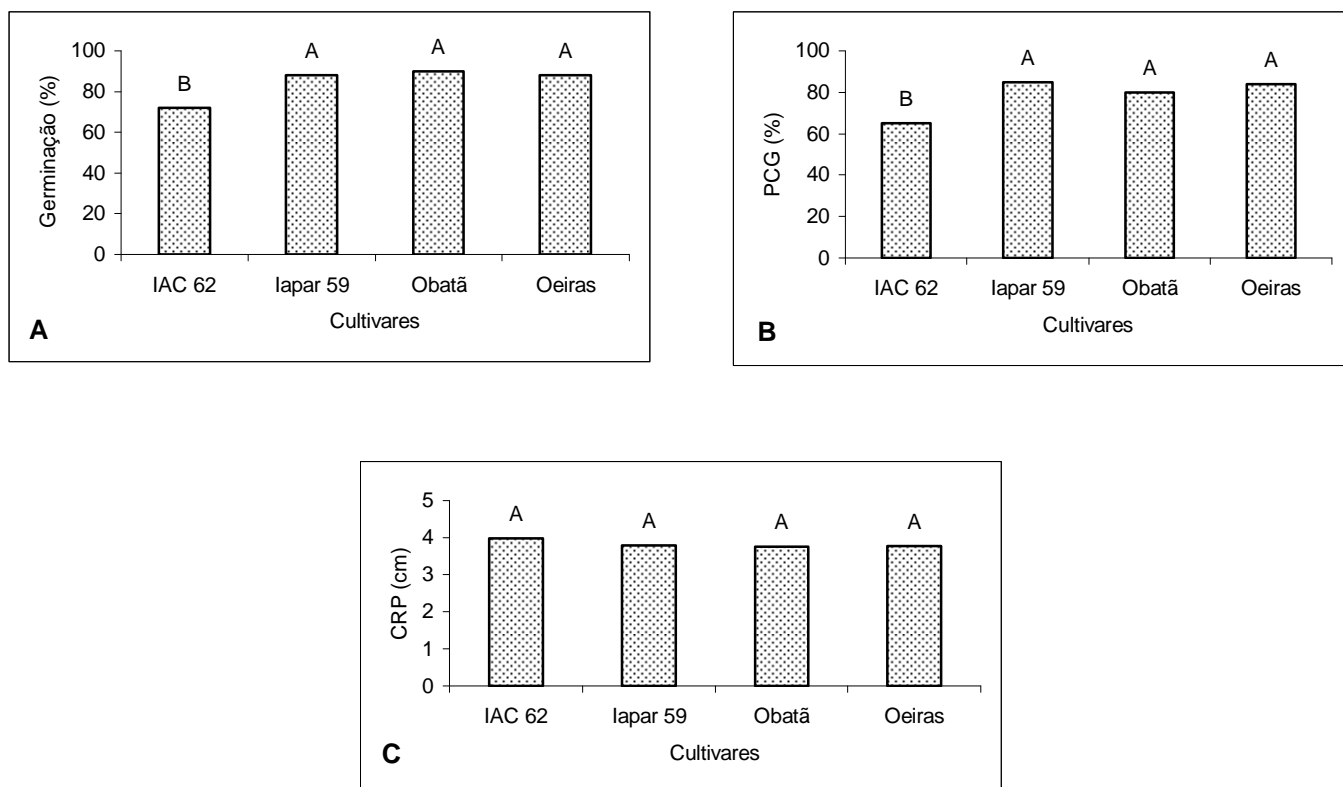
**Análise estatística** – para a análise de variância, através do *software* SAEG 7.1, foi utilizado o teste F e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A taxa RCR (razão da redução percentual no comprimento de raiz) foi calculada de acordo com a equação abaixo, sugerida por Baligar et al. (1989):  
$$\%RCR = [1 - (\text{Crescimento com Al} / \text{Crescimento sem Al})] \times 100$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de água das sementes para condução dos testes foi ajustado para 14%. O pH da solução, onde foram umedecidas as folhas dos rolos de papel-toalha tipo Germitest<sup>®</sup>, foi inicialmente ajustado para 4,0, porque nesse nível de acidez aumenta-se a disponibilidade de Al<sup>3+</sup> (Fageria, 1998; Kinraide, 1991), que é a forma tóxica.

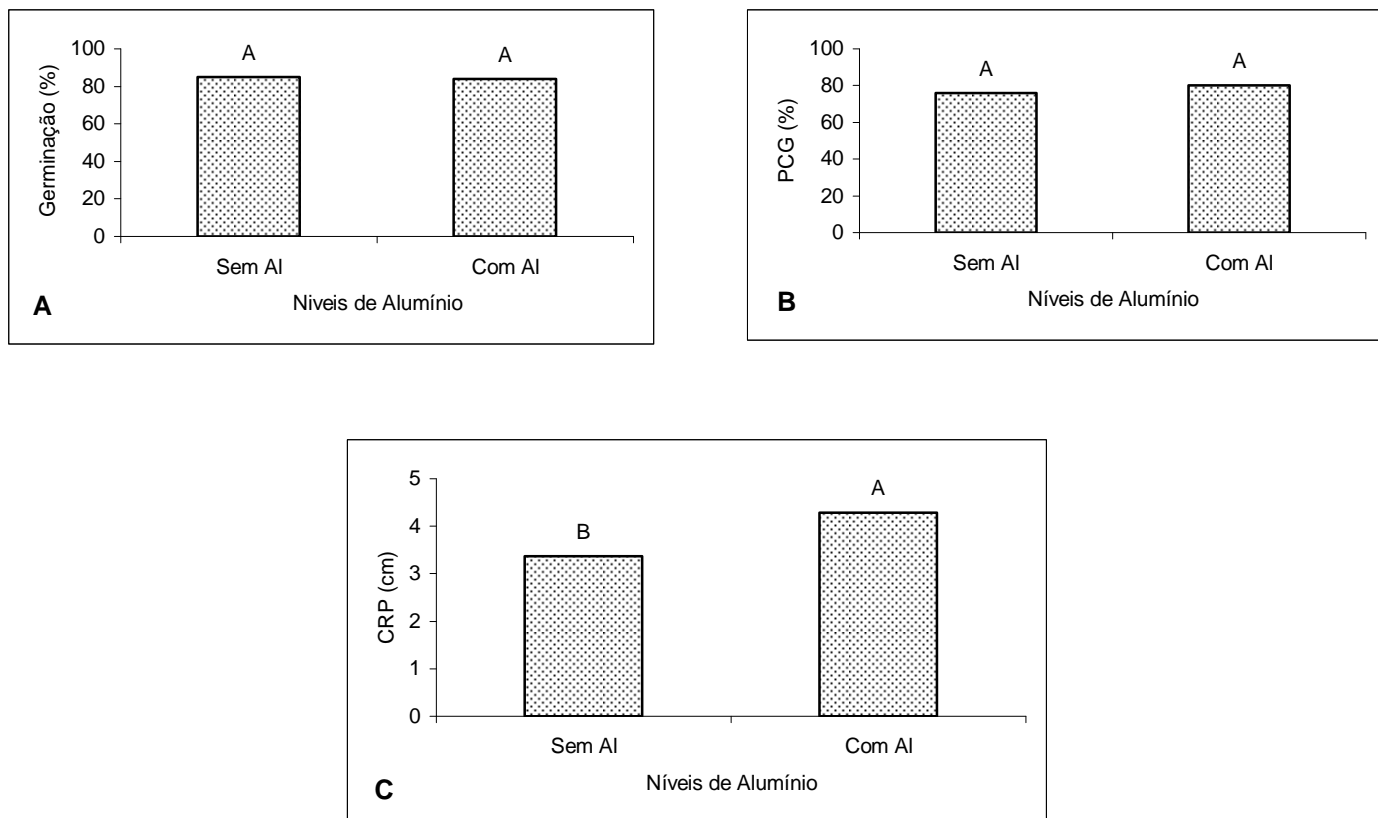
Para todas as características avaliadas, não houve interação entre os fatores cultivares de café e o alumínio. Verifica-se na Figura 1 que a diferença estatística entre as médias dos valores obtidos das cultivares, para a primeira contagem de germinação (Figura 1B) e para germinação total (Figura 1A), foi significativa, apontando a cultivar Catuaí Amarelo IAC 62, como a de menores médias. As sementes das cultivares Iapar 59, Obatã e Oeiras mostraram-se, portanto, mais vigorosas e com maior desempenho germinativo. Entretanto, para a característica de vigor (comprimento de raiz primária) não houve diferença significativa entre as médias das cultivares (Figura 1C).



\*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

**Figura 1-** Germinação total (A), primeira contagem de sementes (PCG) (B) e comprimento da raiz primária de plântulas (CRP) (C) de quatro cultivares de café arábica.

Na Figura 2, não foram observadas diferenças significativas entre as médias dos valores obtidos para a primeira contagem de germinação (Figura 2B) e para germinação total (Figura 2A), na ausência ou presença de alumínio. Estes resultados corroboram com aqueles obtidos por Custódio et al. (2002), que estudando o comportamento de quatro cultivares de soja com relação à germinação e vigor das plântulas mantidas sob estresse ácido por alumínio ou pH, observaram que as concentrações desse íon estudadas não afetaram a germinação e massa seca de raiz. Observa-se ainda na Figura 2C a diferença estatística entre os tratamentos, onde na presença de alumínio ( $45 \text{ mg L}^{-1}$ ) foi verificado estímulo ao crescimento da raiz primária.



\*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

**Figura 2-** Germinação total (A), primeira contagem de sementes (PCG) (B) e comprimento da raiz primária de plântulas (CRP) (C) de café arábica na ausência e presença de alumínio.

De acordo com Epstein & Bloom (2006), frequentemente, fatores nutricionais influenciam o crescimento e a morfologia de órgãos particulares das plantas, de maneira específica. Como as raízes são os órgãos em contato mais estreito com o ambiente nutricional da planta, elas são especialmente propensas a serem afetadas por este ambiente. O alumínio pode ser tóxico e causar inibição da função vital dos elementos que se ligam a ele, como enzimas, calmodulina, ATP, GTP, DNA, ou outros processos metabólicos (Delhaize & Ryan, 1995). De acordo com Sivaguru & Horst (1998) o sítio primário da ação tóxica desse íon é a parte distal da zona de transição no ápice das raízes, onde as células estão entrando em fase de alongamento. A inibição do crescimento da raiz é o sintoma visível mais rápido da toxidez desse cátion em plantas (Degenhardt et al., 1998).

Em concentrações moderadas de alumínio tóxico, a inibição do crescimento celular é, provavelmente, o evento primário e a inibição da divisão celular é uma

resposta aos efeitos sobre o crescimento celular, refletindo regulação interna dos processos de crescimento e desenvolvimento (Marschner, 2003).

Todas as cultivares apresentaram um aumento (de valores absolutos) no comprimento de raiz quando submetidas ao tratamento com alumínio, como pode ser observado na Tabela 1, que também evidencia a variação no comprimento das raízes, em porcentagem, em resposta às duas concentrações de  $\text{Al}^{3+}$ . Estes resultados corroboram as afirmações de Szymanska & Molas (1996), segundo os quais concentrações baixas de alumínio podem estimular o desenvolvimento inicial do vegetal, sem causar efeito tóxico. De forma semelhante, Konzak et al. (1976) citado por Braccini et al. (2000), verificaram que a concentração desse elemento requerida para produzir efeitos tóxicos em plântulas de soja, pela técnica de papel-solução, foi aproximadamente dez vezes maior que a utilizada em solução nutritiva. Esse aumento, dos valores absolutos, no comprimento da raiz primária sugere que a concentração de  $45 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{Al}^{3+}$  não é tóxica para as plântulas das quatro cultivares de café arábica.

**Tabela 1-** Comprimento da raiz primária de plântulas de quatro cultivares de café arábica e percentual de variação no comprimento das raízes, em resposta a ausência e a presença de alumínio

Cultivar	Al ( $\text{mg L}^{-1}$ )		Variação
	0	45	
	-----cm -----		%
IAC 62	3,98	4,00	+ 0,50
IAPAR 59	3,36	4,22	+ 25,60
Obatã	3,13	4,39	+ 37,06
Oeiras	3,00	4,55	+ 51,16

(+) = indicação do estímulo ao crescimento de raiz quando em presença de alumínio.

Foy (1974) e Marschner (1986) citados por Veloso et al. (1995) discutem várias possibilidades de explicação que, em baixas concentrações, o alumínio possa, algumas vezes, induzir um aumento no crescimento ou produzir outros efeitos desejáveis, como aumento na disponibilidade do ferro em solo calcário através da hidrólise do alumínio e da diminuição do pH; correção ou prevenção de deficiência de ferro, pela liberação do mesmo adsorvido em sítios metabolicamente inativos dentro da planta; por bloquear sítios na parede celular carregados

negativamente, promovendo a absorção de fósforo; retardamento da deterioração das raízes em baixas concentrações de cálcio pelo crescimento mais lento; por corrigir ou prevenir o efeito de concentrações excessivas de fósforo; por prevenir a toxidez de cobre e manganês; pela redução do crescimento indesejável do topo de porta-enxerto rico em nitrogênio.

Szymanska & Molas (1996) não encontraram efeito do  $Al^{3+}$  na germinação de *Cucumis sativus*. Porém verificaram que as concentrações desse cátion influenciaram significativamente no crescimento. Em concentrações de 1 a 5  $mg\ dm^{-3}$  de  $Al^{3+}$  o crescimento da plântula foi estimulado, não acarretando anormalidades morfológicas ou de desenvolvimento, todavia em concentrações de 20 a 40  $mg\ dm^{-3}$  de  $Al^{3+}$  ocorreu inibição do crescimento de plântulas e danos nas mesmas.

## CONCLUSÕES

A cultivar Catuaí Amarelo IAC 62 apresenta sementes com menor desempenho germinativo e vigor.

A germinação das sementes das cultivares Catuaí Amarelo IAC 62, Iapar 59, Obatã e Oeiras não é afetada pela concentração de 45  $mg\ L^{-1}$  de  $Al^{3+}$ , tendo inclusive, na concentração de 45  $mg\ L^{-1}$  de  $Al^{3+}$ , estimulado o crescimento da raiz primária de todas elas.

## REFERÊNCIAS

- BALIGAR, V.C.; SANTOS, H.L.; PITTA, G.V.E.; FILHO, E.C.; VASCONCELLOS, C.A.; BAHIA FILHO, A.F.C. Aluminum effects on growth, grain yields and nutrient use efficiency ratios in sorghum genotypes. **Plant and Soil**, Netherlands, v.116, p.257-264, 1989.
- BRACCINI, A.L.; BRACCINI, M.C.L.; SCAPIM, C.A.; OLIVEIRA, V.R.; ANDRADE, C.A.B. Conservação de sementes de café-robusta (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) cultivar Conillon em função do grau de umidade e do tipo de embalagem. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.20, n.2, p. 160-169, 1998a.
- BRACCINI, M.C.L.; MARTINEZ, H.E.P.; BRACCINI, A.L. Avaliação de linhagens de cafeeiros quanto à tolerância ao alumínio pelo método do papel-solução. **Bragantia**, Campinas, v.59, n.2, p.221-226, 2000.
- BRACCINI, M.C.L.; MARTINEZ, H.E.P.; PEREIRA, P.R.G.; SAMPAIO, N.F.; SILVA, E.A.M. Tolerância de genótipos de cafeeiro ao Al em solução nutritiva. I. Crescimento e desenvolvimento da parte aérea e sistema radicular. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.22, p.435-442, 1998b.
- BRAGANÇA, S.M.; FONSECA, A.F.A.; SARAIVA, J.S.T.; PEREIRA, J.O.; ROCHA, A.C.; PELISSARI, S.A.; BREGONCI, I.S. Formação de Mudas. In: COSTA, E.B. (Coord). **Manual técnico para a cultura do café no estado do Espírito Santo**. Vitória: SEAG-ES, 1995, p.19-28.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA/DNDV/CLAV, 1992. 365p.
- CARVALHO, G.R.; PASQUAL, M.; GUIMARÃES, R.J.; MENDES, A.N.G.; BEARZOTTI, E.; FALCO, L. Efeito do tratamento de sementes na emergência e desenvolvimento de mudas de cafeeiro *Coffea arabica* L. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.23, n.4, p.799-807, out./dez. 1999.
- CASTRO, R.D.; ESTANISLAU, W.T.; MESQUITA, P.R.; HILHORST, H.W.M. A semente de café: desenvolvimento e perspectivas genômicas. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2, Vitória, 2001. **Resumo**. Brasília: Embrapa Café, 2001. p.27.
- CBP&D/Café – CONSÓRCIO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DO CAFÉ. **Programa Nacional de Pesquisa e desenvolvimento do Café**, Brasília, DF: 2004. 148p.
- COSTA, P.S.C.; CARVALHO, M.L.M. Teste de condutividade elétrica individual na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de café (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.30, n.1, p.92-96, jan./fev. 2006.
- CUSTÓDIO, C.C.; BOMFIM, D.C.; SATURNINO, S.M.; MACHADO NETO, N.B. Estresse por alumínio e por acidez em cultivares de soja. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.59, n.1, p.145-153, 2002.

DEGENHARDT, J., LARSEN, P.B., HOWELL, S.H., KOCHIAN, L.V. Aluminum resistance in the *Arabidopsis mutant alr-104* is caused by an aluminum-induced increase in rhizosphere pH. **Plant Physiology**, Minneapolis, v.117, p.19-27, 1998.

DELHAIZE, E.; RYAN, P.R. Aluminum toxicity and tolerance in plants. **Plant Physiology**, Minneapolis, v.107, n.2, p.315-321, 1995.

ELLIS, R.H.; HONG, T.D.; ROBERTS, E.H. An intermediate category of seed storage behavior?: I. Coffee. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.41, n.230, p.1167-1174, 1990.

EPISTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.

FAGERIA, N.K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.2, p. 6-16, 1998.

FERRÃO, M.A.G.; FONSECA, A.F.A.; FERRÃO, R.G.; ROCHA, A.C. **Cultivares de café arábica para a região das montanhas do estado do Espírito Santo**. Vitória, ES: INCAPER, 2004, 38p.

FONSECA, A.F.A.; FERRÃO, M.A.G.; FERRÃO, R.G. A cultura do café robusta. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Palestras do I Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, Brasília: Embrapa Café, 2002. p.119-145.

KING, M.W.; ROBERTS, E.H. **The storage of recalcitrant seeds: achievements and possible approaches**. Rome: International Board for Plant Genetic Resources, 1979. 96p.

KINRAIDE, T.B. Identity of the rhizotoxic aluminium species. **Plant and Soil**, Netherlands, v.134, p.167-178, 1991.

KONRAD, M.L.F.; SILVA, J.A.B.; FURLANI, P.R.; MACHADO, E.C. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. **Bragantia**, Campinas, v.64, n.3, p.339-347, 2005.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Paulo: Rima Artes e Textos, 2000. 531p.

LAZOF, D.B.; GOLDSMITH, J.G.; RUFTY, T.M.; LINTON, R.W. Rapid uptake of aluminum into cells of intact soybean root tips. A microanalytical study using secondary ion mass spectroscopy. **Plant Physiology**, Minneapolis, v.106, p.1107-1114, 1994.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2<sup>nd</sup> ed. London: Academic Press, 2003. 889p.



MASCARENHAS, H.A.A.; TANAKA, R.T.; WUTKE, E.B.; BRAGA, N.R.; MIRANDA, M.A.C. Alumínio e manganês no cultivo da soja em São Paulo. **O Agrônomo**, Campinas, v.56, n.1, p.16-19, 2004.

McQUATTIE, C.J.; SCHIER, G.A. Response of red spruce seedlings to aluminum toxicity in nutrient solution: alterations in root anatomy. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v.20, p.1001-1011, 1990.

OIC, Organização Internacional de Café. **Total production of exporting countries**. Disponível em: <<http://dev.ico.org/prices/po.htm>> Acesso em: 22 de fevereiro de 2008.

PEREIRA, C.E.; PINHO, E.V.R.V.; OLIVEIRA, D.F.; KIKUTI, A.L.P. Determinação de inibidores da germinação no espermoderma de sementes de café (*Coffea arabica* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.24, n.1, p.306-311, 2002.

RENA, A.B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do Cafeeiro**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFÓS, 1986. p.13-85.

ROSA, S.V.F.; SANTOS, C.G.; PAIVA, R.; MELO, P.L.Q.; VEIGA, A.D.; VEIGA, A.D. Inibição do desenvolvimento *in vitro* de embriões de *Coffea* por cafeína exógena. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v.28, n.3, p.177-184, 2006.

SAKIYAMA, N.S.; PEREIRA, A.A.; ZAMBOLIM, L. Melhoramento do Café Arábica. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: UFV, 1999. p.189-204.

SIVAGURO, M.; HORST, W.J. The distal part of the transitional zone is the most aluminum-sensitive apical root zone of maize. **Plant Physiology**, Minneapolis, v.163, p.155-163, 1998.

SZYMANSKA, M.; MOLAS, J. The effect of aluminium on early development stages of *Cucumis sativus* L. **Folia Horticulturae**, Poznań, v.8, n.1, p.73- 83, 1996.

TEIXEIRA, T.D. Política estratégica para a cafeicultura brasileira. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Palestras do I Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, Brasília: Embrapa Café, 2002. p.169-193.

TICE, K.R., PARKER, D.R., DeMASON, D.A. Operationally defined apoplastic and symplastic aluminum fractions in root tips of aluminum-intoxicated wheat. **Plant Physiology**, Minneapolis, v.100, p.309-318, 1992.

VELOSO, C.A.C.; MURAOKA, T.; MALAVOLTA, E.; CARVALHO, J.G. Efeito do alumínio em pimenteiras do reino (*Piper nigrum* L.) cultivadas em solução nutritiva. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.52, n.2, p.368-375, 1995.

ZHAO, X.J.; SUCOFF, E.; STADELMANN, E.J.  $\text{Al}^{3+}$  and  $\text{Ca}^{2+}$  alteration of membrane permeability of *Quercus rubra* root cortex cells. **Plant Physiology**, Minneapolis, v.83, p.159-162, 1987.

### Capítulo 3

## TOLERÂNCIA DE CULTIVARES DE CAFÉ AO ALUMÍNIO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA

**Resumo** - O objetivo deste trabalho foi avaliar quatro cultivares de café do Programa de Melhoramento Genético da espécie *Coffea arabica* do Incaper no Espírito Santo quanto a tolerância à toxidez de alumínio em solução nutritiva. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com cinco repetições, em esquema fatorial 4 x 4 (cultivares x combinações de alumínio). Transcorridos 44 dias após a semeadura, foi medido o comprimento da raiz primária das plântulas, sendo posteriormente, transferidas 10 plântulas de cada cultivar germinadas em ausência de  $Al^{3+}$  para solução em ausência de  $Al^{3+}$ , e 10 para solução em presença de  $Al^{3+}$ ; 10 plântulas de cada cultivar germinadas em presença de  $Al^{3+}$  para solução em ausência de  $Al^{3+}$ , e 10 para solução em presença de  $Al^{3+}$ . A solução nutritiva utilizada foi a de Hoagland & Arnon (1950),  $\frac{1}{2}$  F, modificada, com pH ajustado para  $4,0 \pm 0,2$ . No tratamento com alumínio, o elemento foi adicionado à solução nutritiva na concentração de  $0,83 \text{ mmol L}^{-1}$  na forma de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 16H_2O$ . As cultivares Catuaí Amarelo IAC 62 e a Iapar 59 são tolerantes ao alumínio, a cultivar Oeiras apresenta tolerância intermediária, enquanto a cultivar Obatã se mostra sensível. A tolerância das cultivares de café ao alumínio, durante o desenvolvimento inicial das plântulas, independe da presença desse elemento na fase de germinação.

**Palavras-chave:** *Coffea arabica*, toxidez de alumínio, vigor, desenvolvimento.

## TOLERANCE OF COFFEE CULTIVATE TO THE ALUMINUM IN NUTRITIOUS SOLUTION

**Abstract** - The objective of this work was to evaluate four cultivars of coffee of the Genetic Improvement Program of the species *Coffea arabica* of Incaper in the Espírito Santo as the tolerance to the aluminum toxicity in nutritive solution. The entirely randomized experimental design was used, with five replicates, in factorial scheme 4 x 4 (cultivar x aluminum combinations). Elapsed 44 days after the sowing, the length of the primary root of the seedlings was measured, being later, transferred 10 seedlings each to cultivar germinated in absence of  $Al^{3+}$  for solution in absence of  $Al^{3+}$ , and 10 for solution in presence of  $Al^{3+}$ ; 10 seedlings each to cultivar germinated in presence of  $Al^{3+}$  for solution in absence of  $Al^{3+}$ , and 10 for solution in presence of  $Al^{3+}$ . The nutritive solution was used of Hoagland & Arnon (1950), ½ forces, modified, with pH adjusted for  $4,0 \pm 0,2$ . In the treatment with aluminum, the element was added to the nutritive solution in the concentration of  $0,83 \text{ mmol L}^{-1}$  in the form of  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 16H_2O$ . The cultivar Catuaí Amarelo IAC 62 and Iapar 59 are tolerant to the aluminum, to cultivar Oeiras presents intermediate tolerance, while the cultivar Obatã is shown sensitive. The tolerance of the coffee cultivar to the aluminum, during the initial development of the seedlings, doesn't depend on the presence of that element in the germination phase.

**Key words:** *Coffea arabica*, aluminum toxicity, vigor, development.

## INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de café, sendo o produto responsável pelo desenvolvimento de um grande número de localidades do Estado do Espírito Santo (ABIC, 2006). De acordo com a CONAB (2008), a produção nacional de café da safra 2007/2008 é de 33,7 milhões de sacas de café beneficiado, sendo a produtividade média de 16,27 sacas de café beneficiado por hectare, considerada baixa em comparação com seu potencial de crescimento reprodutivo.

A produção economicamente viável de café depende das condições climáticas e de vários fatores (Rena & Maestri, 1986; 1987), dentre os quais o suprimento, a absorção e a utilização balanceada dos nutrientes minerais essenciais (Souza et al., 1975, Begazo, 1980; Haag, 1987; Silveira, 1995), que está relacionado com o pH e a presença de alumínio trocável (Marschner, 2003). Além da ocorrência natural da acidez, o próprio cultivo tende a acentuar o problema, principalmente devido à absorção de cátions pelas raízes das plantas, deixando em seus lugares quantidades equivalentes de íons de hidrogênio (Vitti & Casarin, 1992; Fullin, 2001). Se o pH não estiver na faixa adequada, a deficiência ou toxidez nutricional poderá ocorrer e a produção das culturas seria prejudicada e, conseqüentemente, a eficiência nutricional diminuída (Fageria, 1998). Considerando que a aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto não corrige total e rapidamente a acidez do solo em profundidades maiores do que 10 cm (Rheinheimer et al., 2000), uma alternativa é a utilização de espécies ou cultivares tolerantes ao alumínio (Foy et al., 1978).

O alumínio trocável é um cátion importante nos solos ácidos e ocupa grande parte da capacidade de troca de cátions efetiva desses solos (Camargo & Furlani, 1989; Quaggio, 2000). A solubilidade do  $Al^{3+}$  aumenta em pH abaixo de 5,5 e sua toxidez é particularmente severa em pH abaixo de 5,0, mas pode ocorrer em solos com pH de até 5,5 (Fageria, 1998). Em elevadas concentrações de  $Al^{3+}$  no solo, o desenvolvimento do sistema radicular é negativamente afetado, com aumento do diâmetro das raízes e redução do número de raízes, dificultando a absorção de nutrientes e de água (Mascarenhas et al., 2004). A exsudação de ácidos orgânicos quelando alumínio no apoplasto ou rizosfera tem sido reportado em feijão (Miyasaka et al., 1991), em trigo (Delhaize et al., 1993a, 1993b; Li et al., 2000), e em mutante de *Arabidopsis thaliana* (Degenhardt et al., 1998).

Durante a germinação, após a fase de embebição da semente, esta absorve água e incha e o tegumento hidratado amolece e se rompe, os tecidos de crescimento se desenvolvem com o fornecimento de alimento pelos cotilédones, a radícula emerge e se fixa, as folhas começam a se formar aumentando o potencial fotossintético da plântula, inicia-se a absorção de nutrientes do ambiente, os cotilédones sofrem abscisão e a planta passa a se auto-nutrir (Kramer & Kozlowski, 1972).

Durante a fase principal de crescimento, as plantas estão no ápice de suas atividades metabólicas (fotossíntese, respiração, absorção de substâncias minerais). É durante a fase vegetativa de crescimento que se manifestam as características da plasticidade fenotípica e, sobretudo, as adaptações modificativas em relação às condições de habitat (Larcher, 2000). Além disso, a capacidade que as plantas têm de se adaptar a diferentes ecossistemas agrícolas é ampla, decorrente de fatores como os de ordem econômica, da utilização de áreas marginais e da estabilidade de produção (Menosso et al, 2000). Provavelmente, espécies vegetais que germinam em certas condições, tal como na presença do alumínio trocável, possam adquirir maior capacidade de tolerar os efeitos adversos desse elemento.

Mais recentemente, um grande número de pesquisadores tem procurado identificar plantas dentro da mesma espécie que possuem maior tolerância às condições de solos ácidos. Posteriormente, esses genótipos são incluídos em programas de melhoramento vegetal, nos quais, estuda-se a herança para maior tolerância com o objetivo de se transferir tais caracteres ao material genético comercial. Nesse caso o que se pretende é adaptar as plantas às condições de acidez do solo, ao invés de corrigir os fatores limitantes do solo, através da calagem (Quaggio, 2000). O uso de técnicas agronômicas mais avançadas, assim como cultivares tolerantes à toxidez do  $Al^{3+}$  do solo, também torna possível utilizar comercialmente muitas áreas com aptidão marginal ao cultivo. A tolerância diferencial ao alumínio é uma característica facilmente detectada em testes em casa de vegetação ou laboratório com solução nutritiva (Dornelles et al., 1997).

O objetivo deste trabalho foi avaliar cultivares de café arábica do Programa de Melhoramento Genético do Incaper da Espécie *Coffea arabica* no Estado do Espírito Santo quanto à tolerância à toxidez de alumínio em solução nutritiva.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido, no período de dezembro de 2005 a março de 2006, no Laboratório de Tecnologia e Análise de Sementes do Departamento de Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, CCA-UFES, em Alegre, ES. As sementes de café do Programa de Melhoramento Genético da Espécie *Coffea arabica* no Estado do Espírito Santo foram obtidas no Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural - Incaper, em Venda Nova do Imigrante – ES.

O delineamento foi inteiramente casualizado, com cinco repetições, sendo cada repetição constituída por duas plântulas. Os tratamentos foram distribuídos no esquema fatorial 4 x 4, sendo: quatro cultivares de café arábica com pré-tratamento sem alumínio durante a germinação e transplantadas para solução nutritiva sem alumínio (-Al / -Al); pré-tratamento sem alumínio durante a germinação e transplantadas para solução nutritiva com alumínio (-Al / +Al); pré-tratamento com alumínio durante a germinação e transplantadas para solução nutritiva sem alumínio (+Al / -Al); pré-tratamento com alumínio durante a germinação e transplantadas para solução nutritiva com alumínio (+Al / +Al).

As mudas das cultivares Catuaí Amarelo IAC 62, Iapar 59, Obatã e Oeiras (MG 6851), foram provenientes de sementes sem pergaminho, extraídos manualmente, germinadas entre três folhas de papel-toalha tipo Germitest<sup>®</sup>, umedecidas, na proporção de 2,5 vezes o peso do papel, com solução nutritiva composta de  $\text{MgSO}_4$  0,1 mmol L<sup>-1</sup>,  $\text{KNO}_3$  0,1 mmol L<sup>-1</sup>,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  0,15 mmol L<sup>-1</sup> e  $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_8$  8,0 mmol L<sup>-1</sup> (bifitalato de potássio para manter o pH em torno de 4,0), na ausência ou na presença de 0,83 mmol L<sup>-1</sup> de  $\text{Al}^{3+}$  na forma  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$ . Para evitar o desenvolvimento de fungos, as sementes foram tratadas com o fungicida Captan (Orthocide<sup>®</sup>) na concentração de 0,1%. Os rolos de papel foram colocados na posição vertical dentro de vasos de plástico com volume de um litro, contendo 300 ml de solução nutritiva com os diferentes níveis de  $\text{Al}^{3+}$ , de maneira a manter a base dos rolos sempre umedecida. Os recipientes foram mantidos no escuro dentro do germinador, sob temperatura constante de  $30 \pm 1^\circ\text{C}$ .

Transcorridos 44 dias, contados a partir do início da semeadura, foram selecionadas as plântulas uniformes, em estágio de “palito de fósforo”, para transplante para o sistema hidropônico, sendo medidos os comprimentos das raízes

primárias das plântulas das quatro cultivares. Posteriormente, 10 plântulas de cada cultivar germinadas na ausência de  $\text{Al}^{3+}$ , foram transferidas para cada solução nutritiva em ausência e presença de  $\text{Al}^{3+}$ , bem como 10 plântulas de cada cultivar, germinadas em presença de  $\text{Al}^{3+}$ , foram transferidas para cada solução nutritiva em ausência e presença de  $\text{Al}^{3+}$ . A solução nutritiva utilizada foi a de Hoagland & Arnon (1950),  $\frac{1}{2}$  F, modificada, contendo a seguinte composição: macronutrientes ( $\text{mmol L}^{-1}$ ): N= 7,5; P= 0,5; K= 3,0; Ca= 2,5; Mg= 1,0; e micronutrientes ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ): Mn= 4,6; Cu= 0,2; Zn= 0,4; Mo= 0,06; B= 23,1; S=  $10^3$ ; Fe, na forma de Fe-EDTA= 0,05; Cl= 4,6. No tratamento com alumínio, o elemento foi adicionado à solução nutritiva, na concentração de  $0,83 \text{ mmol L}^{-1}$ , na forma de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$ . As soluções nutritivas foram renovadas aos 21 dias contados a partir da transferência das plântulas para o sistema hidropônico. O pH das soluções nutritivas foi ajustado em  $4,0 \pm 0,2$  e a concentração de P ( $0,5 \text{ mmol L}^{-1}$ ) foi baixa para minimizar a precipitação de alumínio.

O sistema hidropônico foi instalado em sala de crescimento sob temperatura ambiente de  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ , umidade relativa do ar em torno de 60% e fotoperíodo de 8 horas, utilizando-se quatro lâmpadas fluorescentes de 40 Watts. Foram utilizados recipientes de plástico com capacidade de um litro, envolvidos com papel alumínio. Como suportes para as plântulas, foram utilizadas placas de isopor com dois furos, sendo que cada plântula foi sustentada por um cilindro de isopor, seccionado longitudinalmente, com o mesmo diâmetro do furo da placa. O arejamento da solução foi feito através de borbulhamento de ar, de modo contínuo, suprido por um moto-compressor.

O término do experimento coincidiu com a coleta das plântulas aos 42 dias após o transplântio, seccionando-se as mesmas na altura do coleto. Em seguida, foram avaliados a altura da parte aérea, o comprimento da raiz primária, a massa fresca e seca da parte aérea e do sistema radicular de cada repetição, em cada tratamento. A massa seca foi obtida após secagem das diferentes partes das plântulas em estufa de circulação forçada de ar, à  $80 \pm 2^\circ\text{C}$ , até peso constante. A taxa RCR (razão da redução percentual no comprimento de raiz) foi calculada de acordo com a equação abaixo, sugerida por Baligar et al. (1989):

$$\%RCR = [1 - (\text{Crescimento com Al} / \text{Crescimento sem Al})] \times 100$$

Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 1% e a 5% de



probabilidade, utilizando-se o *software* estatístico SAEG (Sistema para Análises Estatísticas da Universidade Federal de Viçosa - UFV), versão 9.0 (Euclydes, 2004). Através dos testes de “Lilliefors” e “Cochran e Bartlett”, ao nível de significância 1%, foi verificada a normalidade dos dados e a homogeneidade das variâncias, respectivamente.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de pH das soluções tanto na condição de ausência como na de presença de alumínio, após 21 dias da troca das soluções, foram analisados para cada cultivar e os maiores valores de pH foram verificados nas soluções nutritivas na ausência do elemento, indiferentemente da cultivar, cujo pH foi aumentado, em média, em 3,0. Porém, os valores de pH não foram alterados na solução nutritiva em presença de alumínio (Tabela 1). Esses resultados demonstram que a variação de pH é dependente da ausência ou presença desse íon no meio, e que as diferentes cultivares pouco interferiram nesta variação. Vários fenômenos ajudam a explicar a tolerância ao alumínio verificada entre e dentro de espécies; um dos mecanismos é referente à elevação do pH na rizosfera, cujas cultivares tolerantes de trigo, cevada, arroz, ervilha e milho aumentam o pH do meio e assim diminuem a solubilidade e toxidez do alumínio, porém as cultivares sensíveis não modificam o pH do substrato (Foy et al., 1978). Como nessas cultivares de café não ocorreu modificação do pH na solução em presença de alumínio, isto sugere que estas cultivares não apresentem esse mecanismo de tolerância, embora algumas possam se mostrar tolerantes a esse elemento na concentração em estudo.

A concentração de alumínio estudada neste trabalho ( $0,833 \text{ mmol L}^{-1}$ ) é equivalente a  $45 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{Al}^{3+}$  ou  $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , correspondendo à classificação de teor médio do elemento no solo, que varia de 0,4 a  $1,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  (Fullin & Dadalto, 2001). Entretanto, o alumínio nocivo no solo ocorre somente quando estes apresentarem pH abaixo de 5,5, pois em solos com pH superior a este valor o íon se insolubiliza sob a forma de hidróxido de alumínio, não afetando as plantas. Logo, deve-se, naquelas condições, atentar para os valores da análise de solo (Luz et al., 2002). Embora o pH esteja relacionado diretamente à toxidez de alumínio, esta também se manifesta em função da cultivar e da concentração do cátion em estudo.

**Tabela 1.** Média dos valores finais de pH das soluções nutritivas na ausência (-Al) e presença de alumínio (+Al) de cada cultivar de café arábica

Cultivares	pH final da solução nutritiva	
	- Al	+ Al
IAC 62	7,2	3,9
Iapar 59	7,0	3,8
Obatã	7,0	3,9
Oeiras	6,8	3,9
Média	7,0	3,9

Pelos testes de “Lilliefors” e “Cochran e Bartlett” os dados obtidos para todas as características apresentaram, respectivamente, distribuição seguindo o modelo da curva normal, e as variâncias homogêneas. Foi observada interação significativa entre os fatores cultivar e alumínio apenas para as características massa fresca da parte aérea (MFPA) e comprimento de raiz (CR). O fator cultivar foi significativo para todas as características avaliadas. À exceção da massa seca da parte aérea (MSPA), o alumínio foi significativo para todas as características. A elevada amplitude de médias apresentada pelas cinco características evidencia a variabilidade entre os níveis dos fatores estudados. Os baixos coeficientes de variação (inferiores a 22%), nas características estudadas, são indicativos de elevada precisão do experimento (Tabela 2).

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância para características indicativas de tolerância ao alumínio em níveis tóxicos, em quatro cultivares de *Coffea arabica*

FV	GL	Quadrados Médios e Significância					
		ALT	MFPA	MSPA	CR	MFR	MSR
Cultivar	3	3,420**	33925**	2761,8**	5,0498*	1708,5**	33,252**
Al	3	1,688*	6386,2*	169,7 <sup>ns</sup>	15,991**	4690,9**	24,581**
Cultivar x Al	9	0,489 <sup>ns</sup>	8237,3**	268,4 <sup>ns</sup>	3,9473*	292,2 <sup>ns</sup>	5,212 <sup>ns</sup>
Resíduo	64	0,5294	2031,8	154,98	1,8249	244,94	3,2964
Total	79	-	-	-	-	-	-
Valores mínimos	-	3,55	172,90	57,40	3,25	30,60	7,20
Valores máximos	-	7,65	478,55	133,60	10,85	133,85	19,10
CV (%)	-	12,40	13,49	13,04	19,62	21,57	15,32

ns = não significativo. \*\* Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. \* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. FV = Fonte de variação; GL = Grau de liberdade; CV = Coeficiente de variação; Al = em ausência ou presença de alumínio (Al<sup>3+</sup>); ALT = altura da plântula a partir do coleto; MFPA = massa fresca da parte aérea; MSPA = massa seca da parte aérea; CR = comprimento de raiz; MFR = massa fresca da raiz; MSR = massa seca da raiz.

A avaliação da massa fresca de plântulas está relacionada com a capacidade que a cultivar tem em acumular água, em determinada condição. O tratamento ausência de alumínio na germinação e no crescimento (-Al / -Al) representa a testemunha e neste, a diferença entre cultivares está em função de fatores intrínsecos às mesmas. Neste tratamento os menores valores de MFPA foram observados nas cultivares Oeiras e IAC 62, embora esta não tenha se diferenciado da cultivar Iapar 59. No tratamento -Al / +Al todas as cultivares não apresentaram diferença significativa quanto a MFPA. A cultivar IAC 62 apresentou menor valor de MFPA no tratamento com presença de alumínio durante a germinação (+Al / -Al) onde não se diferenciou da cultivar Oeiras. No tratamento +Al / +Al foi observada diferença significativa entre as cultivares IAC 62 e Iapar 59.

Na cultivar Catuaí Amarelo IAC 62 o menor valor de MFPA foi observado no tratamento +Al / +Al, embora este tenha diferido apenas do tratamento -Al / +Al. Na cultivar Obatã os menores valores de MFPA foram observados nos tratamentos -Al / +Al e +Al / +Al, embora o primeiro não tenha se diferenciado do tratamento +Al / -Al, esses resultados sugerem que a presença de alumínio apenas no crescimento (-Al / +Al) não afeta de forma negativa o processo de acúmulo de água pelas plântulas dessas duas cultivares.

Na cultivar Oeiras os tratamentos foram estatisticamente iguais, enquanto na cultivar Iapar 59 a diferença estatística ocorreu entre os tratamentos -Al / +Al e +Al / -Al, onde o primeiro apresentou menor valor de MFPA. Neste caso, subentende-se que a influência do alumínio no acúmulo de água na parte aérea da plântula está relacionada à fase de crescimento, sendo independente da atuação desse elemento durante a germinação (Tabela 3), embora tenha sido observada a influência do alumínio durante a germinação nas cultivares IAC 62 e Obatã. Entretanto, devido a MFPA ser mais variável, mudando com o período do dia, a umidade relativa do ar, a temperatura e outros fatores (Epstein & Bloom, 2006), e na tentativa de investigar mais detalhadamente a influência do alumínio no desenvolvimento inicial dessas cultivares foram analisadas características como comprimento de raiz (CR) e a massa seca de raiz (MSR).

Benin et al. (2004) avaliaram genótipos de aveia e verificaram valores de retomada do crescimento de raiz que permitiram perfeita discriminação entre os genótipos sensíveis e tolerantes. As variáveis avaliadas na parte aérea das plântulas, bem como a estatura de planta em campo, não foram eficientes na

discriminação dos genótipos avaliados em cultivo hidropônico sob estresse por  $\text{Al}^{3+}$ . Possivelmente, estejam mais relacionadas aos fatores intrínsecos da genética da planta para crescimento da parte aérea do que com a interferência do cátion.

O alumínio atua primariamente no sistema radicular das plantas retardando o crescimento e desenvolvimento das raízes, aumentando seu diâmetro e promovendo a diminuição do número de raízes laterais, que são as principais responsáveis pela absorção de água e nutrientes, o que pode comprometer a produção vegetal. Essa redução de crescimento radicular ocorre, basicamente, em função de sua ação danosa ao se ligar a componentes das membranas celulares, reduzindo sua permeabilidade e a atividade de replicação e transcrição, devido à ligação do alumínio ao grupo fosfato do ácido desoxirribonucléico (Pavan & Bingham, 1982; Delhaize & Ryan, 1995; Faquin, 1997; Malavolta, 1997), portanto, o comprimento da raiz é uma das características mais importantes a ser avaliada.

Houve diferença significativa entre as cultivares de café, quanto ao comprimento de raiz (CR), apenas no tratamento +Al / -Al, em que as cultivares Obatã e Oeiras apresentaram maior CR (Tabela 3). Para estas cultivares o alumínio presente na solução durante a germinação pode ter estimulado o crescimento da raiz, onde o maior acréscimo ocorreu nessa fase, porém o mesmo não ocorreu no tratamento +Al / +Al, no qual a presença do íon na fase de crescimento de plântula afetou negativamente o CR, diferindo significativamente apenas do tratamento +Al / -Al. Nos demais tratamentos (-Al / -Al e -Al / +Al), o CR desta cultivar foi menor, possivelmente, devido a ausência do alumínio durante a germinação, já que esse elemento na concentração de  $0,83 \text{ mmol L}^{-1}$  não é tóxico para esta cultivar durante a germinação, onde o crescimento da raiz primária é estimulado pelo alumínio. Entretanto, esta cultivar se mostra sensível à presença desse cátion durante a fase de crescimento, cujos tratamentos (-Al / +Al e +Al / +Al) diferenciam-se significativamente dos demais com menores valores de CR (Tabela 3). Esta resposta fica mais evidenciada na Tabela 4, onde se observa uma alta porcentagem de variação negativa no comprimento de raiz na cultivar Obatã germinada na presença de alumínio, isso se deve ao estímulo no comprimento da raiz primária durante a germinação desta cultivar, que em hidroponia na ausência do cátion continuou o alongamento da raiz, enquanto em hidroponia na presença do mesmo ocorreu a inibição do alongamento. Mistro et al. (2007) verificaram que o valor do índice de tolerância relativa da cultivar Obatã foi reduzido, demonstrando a sensibilidade desta

ao alumínio, em relação à cultivar IAC 62, que foi menos afetada pelo íon, sugerindo tolerância a esse elemento.

O efeito negativo do alumínio não ocorre diretamente na absorção de cálcio, mas na inibição do crescimento das raízes. A redução na formação de novas raízes ou no seu crescimento diminui a absorção de  $\text{Ca}^{2+}$ , independentemente do efeito direto do alumínio sobre o processo de absorção (Menosso et al., 2000)

Nas cultivares Catuaí Amarelo IAC 62 e Iapar 59 não houve diferença significativa entre os tratamentos na presença ou ausência de alumínio nas diferentes fases, em que o íon não influenciou o CR, evidenciando que estas cultivares apresentam algum mecanismo de tolerância ao alumínio, já que o tratamento +Al / +Al não diferiu da testemunha (Tabela 3).

**Tabela 3.** Massa fresca da parte aérea (MFPA) e comprimento de raiz (CR) de plântulas de cultivares de *Coffea arabica*, oriundas de sementes germinadas na ausência e na presença de alumínio e desenvolvidas na ausência e presença de alumínio (Al)

Cultivares	MFPA (mg)**			
	-Al / -Al	-Al / +Al	+Al / -Al	+Al / +Al
IAC 62	317,01 bcAB	337,07 aA	268,50 cAB	256,62 bB
IAPAR 59	368,04 abAB	337,90 aB	441,98 aA	373,24 aAB
Obatã	414,38 aA	323,63 aBC	382,64 abAB	307,29 abC
Oeiras	281,65 cA	300,16 aA	316,84 bcA	318,61 abA
Cultivares	CR (cm)*			
	-Al / -Al	-Al / +Al	+Al / -Al	+Al / +Al
IAC 62	6,49 aA	6,96 aA	6,87 bA	7,40 aA
IAPAR 59	6,20 aA	5,12 aA	6,93 bA	6,99 aA
Obatã	7,16 aAB	6,85 aB	9,33 aA	6,77 aB
Oeiras	5,31 aB	5,26 aB	8,86 abA	7,67 aA

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1%<sup>(\*\*)</sup> e 5%<sup>(\*)</sup>, para a mesma característica avaliada. (- Al / - Al): germinação e crescimento na ausência de Al; (- Al / + Al): apenas crescimento na presença de Al; (+ Al / - Al): apenas germinação na presença de Al; (+ Al / + Al): germinação e crescimento na presença de Al.

Na Tabela 4 verifica-se o estímulo no crescimento da raiz destas cultivares na presença de alumínio. O efeito estimulatório desse elemento também foi descrito por Freire et al. (1987) em arroz e Baligar et al. (1990) em sorgo. No entanto, algumas diferenças observadas entre esses experimentos são basicamente referentes às diferenças em tempo de exposição ao cátion, composição e força

iônica da solução, atividade de ligantes e pH inicial. Outro fator relevante é a sensibilidade genotípica diferencial aos níveis de alumínio adicionados.

Pavan & Bingham (1982), estudando a influência dos íons de alumínio no crescimento e produção de cafeeiros, verificaram que houve uma redução no desenvolvimento e na produção de café mesmo na mais baixa concentração de  $Al_t$  em solução ( $0,074 \text{ mmol dm}^{-3}$ ), sendo que a concentração de  $0,296 \text{ mmol Al dm}^{-3}$  na solução diminuiu a produção de café para zero, caracterizando o íon como elemento tóxico e não benéfico ao cafeeiro. Esses dados não confirmam aqueles publicados por Manetti & Santos (1977), nos quais as quatro cultivares de cafeeiro testadas, inclusive o Catuaí Vermelho, utilizado no experimento citado anteriormente, apresentaram uma resposta altamente favorável mesmo a concentração alta de  $Al^{3+}$  ( $0,22 \text{ mmol dm}^{-3}$ ) na solução.

Baligar et al. (1990) observaram diferenças significativas entre interações cultivar *versus* alumínio onde ocorreu um efeito estimulante dentre as cultivares de sorgo a baixas concentrações do cátion (acima de  $0,15 \text{ mol L}^{-1}$  de  $Al^{3+}$ ). Todavia, o parâmetro crescimento de plantas foi negativamente afetado pelo estresse ao mesmo.

A cultivar Oeiras apresentou maior CR nos tratamentos com presença de alumínio durante a germinação, independentemente da ausência ou presença do mesmo durante o crescimento das plântulas. Apesar de apresentar a porcentagem de variação do comprimento de raiz negativa (Tabela 4), essa cultivar pode apresentar algum mecanismo de tolerância ao alumínio na concentração de  $0,83 \text{ mmol L}^{-1}$ , devido à diferença significativa entre os tratamentos testemunha e +Al / +Al, onde este último apresentou valores maiores de CR.

Observa-se nos resultados com base no comprimento de raiz que a ação do alumínio durante o crescimento das plântulas tem uma pequena relação com a presença ou ausência desse elemento durante o processo germinativo no qual a presença do alumínio estimula o crescimento da raiz primária, o que influencia no comprimento final da raiz.

**Tabela 4.** Comprimento de raiz de plântulas (cm) de cultivares de café arábica germinadas na ausência e presença de alumínio e variação (%) no comprimento das raízes, em resposta à ausência (-Al) e presença (+Al) de alumínio na solução nutritiva

Cultivares germinadas na ausência de Al	Al (mg L <sup>-1</sup> )		Variação (%)
	-Al	+Al	
IAC 62	6,49	6,96	+ 7,24*
lapar 59	6,20	5,12	- 17,42
Obatã	7,16	6,85	- 4,33
Oeiras	5,31	5,26	- 0,94
Cultivares germinadas na presença de Al	Al (mg L <sup>-1</sup> )		Variação (%)
	-Al	+Al	
IAC 62	6,87	7,40	+ 7,71*
lapar 59	6,93	6,99	+ 0,87
Obatã	9,33	6,77	- 27,44
Oeiras	8,86	7,67	- 13,43

\* Sinal + indica estímulo ao crescimento de raiz quando em presença de alumínio e sinal - indica crescimento de raiz negativamente afetado pela presença de alumínio.

Para as características avaliadas como altura (ALT), massa seca da parte aérea (MSPA) e, massa fresca e seca da raiz (MFR e MSR, respectivamente) não houve interação entre os fatores cultivares de café e presença e ausência de alumínio em diferentes fases de desenvolvimento inicial. Por conseguinte, na Tabela 5 são apresentados os resultados dessas características das quatro cultivares de café, independente da ausência ou presença do elemento nas determinadas fases, e na Tabela 6 estão agrupados os resultados das mesmas características sob influência do alumínio independente das cultivares estudadas.

Na Tabela 5, verifica-se que a diferença estatística entre as médias dos valores obtidos das cultivares foi significativa para as quatro características anteriormente citadas, apontando a cultivar Catuaí Amarelo IAC 62 como a de menores médias, não diferindo estatisticamente da cultivar Oeiras que apresentou os mesmos resultados. As plântulas das cultivares lapar 59 e Obatã mostraram-se, portanto, mais vigorosas. Apesar de se mostrar menos vigorosa, com base nessas características, a cultivar IAC 62 foi a única que apresentou efetivamente estímulo no crescimento da raiz (Tabela 4) evidenciando a tolerância desta cultivar.

**Tabela 5.** Altura (ALT), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa fresca da raiz (MFR) e massa seca da raiz (MSR) de plântulas de diferentes cultivares de *Coffea arabica*

Cultivares	ALT (cm)	MSPA (mg)	MFR (mg)	MSR (mg)
IAC 62	5,32 b	82,14 c	71,01 b	10,66 b
Iapar 59	6,17 a	109,28 a	84,30 a	13,04 a
Obatã	6,21 a	99,96 ab	73,15 ab	12,90 a
Oeiras	5,77 ab	90,41 bc	61,80 b	10,82 b

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1%.

Com exceção da MSPA, que apresentou ausência de sensibilidade, o alumínio afetou significativamente todas as características avaliadas (Tabela 6). O menor valor de altura da parte aérea das plântulas foi observado no tratamento +Al / +Al, porém este tratamento não diferiu da testemunha e do -Al / +Al. No entanto, a ausência do elemento nas duas fases de desenvolvimento (-Al / -Al) e a presença do mesmo na fase de crescimento de plântulas (-Al / +Al e +Al / +Al) afetou negativamente a ALT. Como já discutido, a presença de determinada concentração de alumínio durante a germinação, neste caso de 0,83 mmol L<sup>-1</sup>, estimulou o crescimento da raiz primária, facultando o desenvolvimento de uma plântula mais vigorosa. A maior MFR foi verificada no tratamento testemunha (-Al / -Al) e no +Al / -Al, os quais diferiram estatisticamente dos demais. Já a MSR das plântulas foi significativamente maior somente no tratamento +Al / -Al.

A partir da análise dos resultados, nota-se que a presença de alumínio na germinação não está relacionada à manifestação da tolerância das cultivares ao mesmo nos estádios mais avançados de desenvolvimento na presença desse elemento.

Embora muitos estudos com solução nutritiva tenham sido bem representativos para as condições de campo, é sugerido que estas cultivares venham a ser avaliadas nessas condições e também em estádios de desenvolvimento mais avançado, já que a resposta das cultivares à toxidez de alumínio pode mudar de um estágio para outro, assim como as necessidades de elementos minerais mudam ao longo do crescimento e do desenvolvimento de uma planta (Taiz & Zeiger, 2004).



**Tabela 6.** Altura (ALT), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa fresca da raiz (MFR) e massa seca da raiz (MSR) de plântulas de *Coffea arabica*, oriundas de sementes germinadas na ausência e na presença de alumínio e desenvolvidas na ausência e presença de alumínio (Al)

Alumínio	ALT (cm)	MSPA (mg)	MFR (mg)	MSR (mg)
- Al / - Al	5,97 ab	94,45 a	87,98 a	11,63 b
- Al / + Al	5,71 ab	99,38 a	58,37 b	11,01 b
+ Al / - Al	6,22 a	95,51 a	83,45 a	13,47 a
+ Al / + Al	5,57 b	92,45 a	60,47 b	11,31 b

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1%. (- Al / - Al): germinação e crescimento na ausência de Al; (- Al / + Al): apenas crescimento na presença de Al; (+ Al / - Al): apenas germinação na presença de Al; (+ Al / + Al): germinação e crescimento na presença de Al.

## CONCLUSÕES

A concentração de  $0,83 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{Al}^{3+}$  permite diferenciar as cultivares de café arábica em estudo quanto à tolerância diferencial ao alumínio durante o estágio de desenvolvimento inicial das plântulas.

Com base na avaliação da característica comprimento de raiz, durante o crescimento inicial de plântulas, as cultivares Catuaí Amarelo IAC 62 e a Iapar 59 podem ser consideradas tolerantes ao alumínio, a cultivar Oeiras apresenta tolerância intermediária, enquanto a cultivar Obatã se mostra sensível ao elemento. A tolerância diferencial das cultivares de café na presença de alumínio, durante o desenvolvimento inicial das plântulas, independe da presença desse elemento na fase de germinação.

## REFERÊNCIAS

- ABIC. **História do café**. Disponível em: <<http://www.abic.com.br/>> Acesso em 01 de nov. 2006.
- BALIGAR, V.C.; ANGHINONI, I.; PITTA, G.V.E.; SANTOS, H.L.; CUNHA FILHO, E.; SCHAFFERT, R.E. Efeito de diferentes níveis de alumínio na solução nutritiva sobre a composição da fração nitrogenada em sorgo. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v.2, n.2, p.47-52, 1990.
- BALIGAR, V.C.; SANTOS, H.L.; PITTA, G.V.E.; FILHO, E.C.; VASCONCELLOS, C.A.; BAHIA FILHO, A.F.C. Aluminum effects on growth, grain yields and nutrient use efficiency ratios in sorghum genotypes. **Plant and Soil**, Netherlands, v.116, p.257-264, 1989.
- BGAZO, J.C.E.O. **Adução do cafeeiro**. Viçosa: UFV, 1980. 26p. (Boletim, 39).
- BENIN, G.; CARVALHO, F.I.F. de; OLIVEIRA, A.C.; SILVA, J.A.G. da; LORENCETTI, C.; MAIA, M.B.; MARCHIORO, V.S.; FREITAS, F.; HARTWING, I. Uma proposta de seleção para caracteres quantitativos e qualitativos em aveia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p.701-706, 2004.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira: Café Safra 2008**, primeira estimativa, janeiro/2008. Brasília: CONAB, 2008. 10p.
- CAMARGO, O.A.; FURLANI, P.R. Alumínio no solo: concentração, especificação e efeito no desenvolvimento radicular. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 2., 1989, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ/USP, 1989. p.45-69.
- DEGENHARDT, J., LARSEN, P.B., HOWELL, S.H., KOCHIAN, L.V. Aluminum resistance in the *Arabidopsis mutant alr-104* is caused by an aluminum-induced increase in rhizosphere pH. **Plant Physiology**, Minneapolis, v.117, p.19-27, 1998.
- DELHAIZE, E.; CRAIG, S.; BEATON, C.D.; BENNET, R.J.; JAGADISH, V.C.; RANDALL, P.J. Aluminum tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.): I. Uptake and distribution of aluminum in root apices. **Plant Physiology**, Minneapolis, v.103, p.685-693, 1993a.
- DELHAIZE, E.; RYAN, P.R. Aluminum toxicity and tolerance in plants. **Plant Physiology**, Minneapolis, v.107, n.2, p.315-321, 1995.
- DELHAIZE, E.; RYAN, P.R.; RANDALL, P.J.. Aluminum tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.): II. Aluminum-stimulated excretion of malic acid from root apices. **Plant Physiology**, Minneapolis, v.103, p.695-702, 1993b.

DORNELLES, A.L.C.; CARVALHO, F.I.F. de; FEDERIZZI, L.C.; SERENO, M.J.C. de M.; AMARAL, A.; MITTELMANN, A. Avaliação simultânea para tolerância ao alumínio e sensibilidade ao ácido giberélico em trigo hexaplóide. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.9, p.893-896, 1997.

EPISTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.

EUCLYDES, R.F. **Sistema para análises estatísticas** (SAEG 9.0). Viçosa: FUNARBE, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2004.

FAGERIA, N.K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.2, p. 6-16, 1998.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 227p.

FOY, C.D.; CHANEY, R.L.; WHITE, M.C. The physiology of metal toxicity in plants. **Ann. Rev. Plant Physiol.**, v.29, p.511-566, 1978.

FREIRE, L.R.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; FERNANDES, M.S.; RIBEIRO, M.E.S.; SANTOS, J.C.P. dos. Efeito de alumínio nas raízes de arroz cultivado em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.22, n.5, p.459-464, 1987.

FULLIN, E.A. Acidez do solo e calagem. In: DADALTO, G.G.; FULLIN, E.A. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o estado do Espírito Santo - 4ª aproximação**. Vitória: SEEA / INCAPER, 2001. p.56-69.

FULLIN, E.A.; DADALTO, G.G. Avaliação da fertilidade do solo e do estado nutricional das plantas. In: DADALTO, G.G.; FULLIN, E.A. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o estado do Espírito Santo - 4ª aproximação**. Vitória: SEEA / INCAPER, 2001. p.21-55.

HAAG, H.P. A nutrição mineral e o ecossistema. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T. (Ed.). **Ecofisiologia da Produção Agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p.49-69.

HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. **The water culture method for growing plants without soil**. Berkeley: California Agricultural Experiment Station, jan. 1950. 32 p. (Circular, 347).

KRAMER, P.J.; KOZLOWSKI, T. **Fisiologia das árvores**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1972. 745 p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Paulo: Rima Artes e Textos, 2000. 531p.

LI, K.F.; MA, J.F.; MATSUMOTO, H. Pattern of aluminum-reduced secretion of organic acids differs between ryer of wheat. **Plant Physiology**, Minneapolis, v.123, p.1537-1543, 2000.

LUZ, M.J. da S.; FERREIRA, G.B.; BEZERRA, J.R.C. **Saiba o que plantar no seu terreno em função do pH**. Campina Grande, 2002. 18p. (Embrapa Algodão. Documentos, 102).

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MANETTI, F.J.; SANTOS, D. Tolerância ao alumínio em quatro cultivares de café (*Coffea arabica* L.) e um cultivar de cruzamento interespecífico de *Coffea arabica* com *Coffea canephora*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 5., 1977, Guarapari. **Resumos**. Guarapari: IBC/GERCA, 1977. p.21.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. London: Academic Press, 2003. 889p.

MASCARENHAS, H.A.A.; TANAKA, R.T.; WUTKE, E.B.; BRAGA, N.R.; MIRANDA, M.A.C. de. Alumínio e manganês no cultivo da soja em São Paulo. **O Agrônomo**, Campinas, v.56, n.1, p.16-19, 2004.

MENOSSO, O.G.; COSTA, J.A.; ANGHINONI, I.; BOHNEN, H. Tolerância de genótipos de soja ao alumínio em solução. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.11, p.2157-2166, nov.2000.

MISTRO, J.C.; FAZUOLI, L.C.; GALLO, P.B. Comportamento de cultivares de café arábica em solos ácidos e corrigidos. **O Agrônomo**, Campinas, v.59, n.1, p.37-38, 2007.

MIYASAKA, S.C.; BUTA, J.G.; HOWELL, R.K.; FOY, C.D. Mechanism of aluminum tolerance in snapbeans: root exudation of citric acid. **Plant Physiology**, Minneapolis, v.96, p.737-743, 1991.

PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T. Toxidez de alumínio em cafeeiros cultivados em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.17, n.9, p.1293-1302, 1982.

QUAGGIO, J.A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2000. 111p.

RENA, A.B.; MAESTRI, M. Ecofisiologia do cafeeiro. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p.119-147.

RENA, A.B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do Cafeeiro**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFOS, 1986. p.13-85.

RHEINHEIMER, D. dos S.; SANTOS, E.J. da S.; KAMINSKY, J.; XAVIER, J.M. Aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado em solo arenoso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n.2, p. 263-268, 2000.

SILVEIRA, J.S.M. Revigoração do café conilon. In: SIMPÓSIO ESTADUAL DO CAFÉ, 1995, Vitória-ES. **Anais...** Vitória: CETCAF/SEAG, 1995. p.34-47.

SOUZA, V.H.S.; MAESTRI, M.; BRAGA, J.M.; CHAVES, J.R.P. Variações no teor de alguns elementos minerais nas folhas e frutos de café (*Coffea arabica* L. var. Mundo Novo). **Revista Ceres**, Viçosa, v.22, p.318-331, 1975.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

VITTI, G.C.; CASARIN, V. Calagem e nutrição com enxofre na produtividade da soja. SIMPÓSIO SOBRE CULTURA E PRODUTIVIDADE DA SOJA, 1., 1991, Piracicaba. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1992. p.157-179.

## Capítulo 4

### INCIDÊNCIA DE FUNGOS E CONTROLE QUÍMICO EM SEMENTES DE CAFÉ

**Resumo** – O objetivo deste trabalho foi avaliar a incidência de fungos e seu controle em sementes de duas cultivares de *Coffea canephora* e sete cultivares de *Coffea arabica*. As sementes foram acondicionadas em embalagens plásticas semi-permeáveis e armazenadas por 12 meses sob temperatura de  $4\pm 3^{\circ}\text{C}$ . O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com quatro repetições, utilizando-se o método do papel de filtro em placas de Petri. Os tratamentos das sementes foram constituídos pela solução de captan, solução de ridomil, mistura thiabendazole + thiram e testemunha (sementes sem tratamento). A incidência de fungos foi quantificada semanalmente e, após 28 dias de incubação procedeu-se à identificação dos microrganismos presentes nas sementes, com o auxílio de microscópio ótico. *Fusarium sp.* e *Aspergillus spp.* foram os dois gêneros de fungos identificados infestando as sementes das cultivares de café robusta e arábica no período de armazenamento de 12 meses. Houve predominância do fungo de campo do gênero *Fusarium sp.* Nas sementes das cultivares de *C. canephora*, o tratamento com a mistura thiabendazole + thiram foi o mais eficiente na redução da infestação pelos referidos fungos, enquanto nas sementes das cultivares de *C. arabica* o tratamento mais eficiente foi o captan.

**Palavras-chave:** *Coffea arabica*, *Coffea canephora*, armazenamento, sanidade, controle, microrganismos.

## INCIDENCE OF FUNGUS AND CHEMICAL CONTROL IN COFFEE SEEDS

**Abstract** - The objective of this work was to evaluate the incidence of fungus and its control in seeds of two cultivars of *Coffea canephora* and seven cultivars of *Coffea arabica*. The seeds were conditioned in plastic packings semipermeable and stored for 12 months under a temperature of  $4\pm 3^{\circ}\text{C}$ . The entirely randomized experimental design was used with four replicates, using the method of the filter paper in Petri plates. The treatments of the seeds were constituted by the solution of captan, solution of ridomil, mixture of thiabendazole + thiram and witness (seeds without treatment). The incidence of fungus was weekly quantified and, after 28 days of incubation, proceeded to the identification of the present microorganisms in the seeds, with the aid of an optical microscope. *Fusarium sp.* and *Aspergillus spp.* were identified as the two fungal genera infesting the seeds of the coffee robust cultivar and Arabica coffee in the storage period of 12 months. There was predominance of the field fungus of the genus *Fusarium sp.* In the seeds of the cultivar of *C. canephora*, the treatment with the mixture thiabendazole + thiram was the most efficient in the reduction of the infestation for the referred fungus, while in the seeds of *C. arabica* cultivar the most efficient treatment was captan.

**Key words:** *Coffea arabica*, *Coffea canephora*, storage, sanity, control, microorganisms.

## INTRODUÇÃO

O café é responsável em grande parte pelo desenvolvimento de muitas localidades do Estado do Espírito Santo. Das 82400 propriedades rurais, 56169 têm no café a sua principal fonte de renda, sendo 40,4% com predominância do café arábica e 59,6% com café conilon (SEAG, 2007). O estado ocupa a segunda posição do ranking nacional na produção de café, principalmente pelo grande incremento na área cultivada com conilon, sendo atualmente responsável por cerca de 70% da produção nacional, o que o coloca na posição de primeiro produtor nacional de café robusta (ABIC, 2006).

As condições de armazenamento são de fundamental importância para a preservação da qualidade do café e da semente. A condição fisiológica no momento da colheita exerce grande importância na propagação e manutenção da sua qualidade, onde a diferença de longevidade entre diferentes espécies são influenciadas pelas variações na composição química (Mayer & Poljakoff-Mayber, 1989; Bewley & Black, 1994; Carvalho & Nakagawa, 2000). Os fatores que influenciam no armazenamento das sementes da maioria das espécies são a umidade relativa do ar e a temperatura do ambiente de armazenamento, além do grau de umidade da semente e do tipo de embalagem utilizada para o armazenamento (Delouche, 1975; Lopes, 1990). Durante o armazenamento, a manutenção da qualidade da semente de café é de grande preocupação por perder rapidamente a viabilidade, limitando a semeadura a um curto espaço de tempo, com obtenção de mudas em épocas desapropriadas para o plantio, culminando com dificuldades na formação de estoques reguladores de sementes (Dias & Barros, 1993). De acordo com Bewley & Black (1994), em muitas espécies a germinação lenta e desuniforme pode estar associada ao estágio de maturação dos frutos, os mecanismos que se desenvolvem e controlam a maturação e aos processos de pós-colheita, como secagem e armazenamento.

Os fungos são os principais microrganismos responsáveis pela deterioração das sementes durante o armazenamento provocando redução no vigor. Muitas espécies de fungos, normalmente saprófitas, tornam-se parasitas de plântulas (Carvalho & Nakagawa, 2000) e, de acordo com Neegaard (1979), os fungos saprófitas colonizam as sementes sob condições de umidade relativa de 85 a 95%, podendo reduzir a qualidade fisiológica das mesmas, sendo que essa associação de



patógenos com sementes pode ocorrer por contaminação superficial ou por colonização dos tecidos internos. Quando associados internamente há maior possibilidade de transmissão às plântulas, entretanto, quando externamente, os danos serão nas fases iniciais da germinação. Essa interferência dos patógenos associados às sementes pode determinar redução da população de plantas, afetar o vigor das mudas e causar desenvolvimento de epidemias (Menten, 1995), como o tombamento de mudas (“damping-off”), que é uma doença caracterizada pela lesão fúngica por *Rizoctonia solani* na porção basal das mudas, podendo levá-las à morte (Mendes et al., 1998).

Os fungos podem ser divididos em dois grupos: os de campo e os de armazenamento (Tanaka et al., 2001). Os primeiros colonizam as sementes ainda no campo, requerendo para o seu crescimento, umidade relativa em torno de 90-95%, enquanto os de armazenamento, normalmente estão presentes nas sementes recém-colhidas, geralmente em porcentagens muito baixas, sendo os principais responsáveis pela infestação e deterioração das sementes (Christensen, 1973). Apresentam capacidade de sobreviver em ambientes com baixa umidade relativa, proliferando em sucessão aos fungos de campo e causando a deterioração das sementes, que é conseqüência de alterações fisiológicas e químicas que ocorrem nos tecidos das sementes até a sua morte (Sittisrourng, 1970). Sua redução pode ser eficientemente alcançada pelo manejo e tratamento das sementes por métodos biológicos, físicos ou químicos, sendo o método químico o mais empregado e o que tem proporcionado os melhores resultados (Machado, 2000). O tratamento das sementes com produtos químicos (fungicidas, bactericidas, inseticidas), dependendo das condições, é importante na preservação do vigor porque irá evitar, ou reduzir, a ação prejudicial dos microrganismos (Carvalho & Nakagawa, 2000). Essa forma de tratamento constitui-se numa das medidas mais antigas e eficientes de controle de doenças de plantas, apresentando, normalmente, baixo custo, fácil aplicação e ação direta sobre a fonte de inóculo do patógeno (Menten, 1995). Entretanto, a destruição de esporos da superfície da semente depende de uma série de fatores, dentre os quais destacam-se a espécie de fungo, a condição fisiológica da semente, a intensidade de contaminação superficial, o tipo de tratamento, o pH, a concentração do desinfetante, o tipo de tratamento e o tempo de contato com o produto (Zito et al., 1995; Coutinho et al., 2000; Muniz et al., 2007).

Vários produtos têm sido utilizados para controlar patógenos associados às sementes, destacando-se o iprodione em sementes de arroz (Pereira et al., 2002); hipoclorito de sódio (NaClO) em sementes de amendoim e de espécies florestais (Araújo et al., 2004; Muniz, et al., 2007); carboxin/thiram em sementes de arroz (Schuch et al., 2006); thiram + carbendazim em sementes de cenoura (Medeiros et al., 2006). Deve-se destacar que a prevenção e a redução da contaminação podem ser obtidas pela adoção de boas práticas de cultivo que conduzem à obtenção de cafés com baixo número de defeitos (frutos e grãos injuriados); a realização da colheita em um ponto ideal, evitando-se a elevada ocorrência de frutos que caem e sofrem contaminação por fungos toxicogênicos pelo contato com o solo (fonte de inóculo) e a otimização das condições de secagem (Chalfoun & Corrêa, 2002).

Visando avaliar o efeito do teor de água, do tipo de embalagem e da interação desses fatores na conservação de sementes de café robusta, Braccini et al. (1998) detectaram no teste de sanidade fungos de armazenamento dos gêneros *Aspergillus spp.* e *Penicillium spp.* com índices de infecção relativamente altos nas sementes durante o período experimental. Em dois lotes de sementes de amendoim bravo, Nascimento et al. (2006) verificaram maior predominância de fungos dos gêneros *Aspergillus* e *Penicillium*. Entretanto, Usberti & Amaral (1999) trabalhando com sementes de amendoim, verificaram que a invasão das sementes por esses fungos se dá quando os teores de água das mesmas são maiores que 7% (base úmida). Em sementes de café robusta houve a incidência de *Fusarium semitectum*, com índices relativamente elevados, e em menor escala, a presença dos gêneros *Colletotrichum spp.* e *Alternaria spp.* (Braccini et al., 1998). Resultados semelhantes foram obtidos por Dias & Barros (1993), embora com menor incidência de microorganismos.

A presença de fungos toxicogênicos, além de alterar a qualidade do café pode reduzir a segurança do produto, devido à produção de micotoxinas, que são metabólitos secundários, que mesmo em pequenas concentrações são tóxicas ao homem e aos animais (Chalfoun & Batista, 2006). Assim, evidencia-se a necessidade de se desenvolver trabalhos sobre o tratamento químico de sementes com vários fungicidas visando à manutenção da qualidade das sementes do café.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a incidência de fungos e seu controle em sementes de duas cultivares de *Coffea canephora* Pierre ex Froehner e sete cultivares de *Coffea arabica*.

## MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado nos Laboratórios de Tecnologia e Análise de Sementes e de Fitopatologia do Departamento de Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, CCA-UFES, em Alegre-ES. As sementes de café robusta (*C. canephora* Pierre ex Froehner) e de café arábica (*C. arabica* L.) provenientes do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural - Incaper, produzidas nas Fazendas Experimentais de Marilândia e Venda Nova do Imigrante, respectivamente, foram acondicionadas em embalagens semi-permeáveis e armazenadas durante um período de 12 meses em geladeira, com temperatura de  $4\pm 3^{\circ}\text{C}$ .

As sementes de café robusta utilizadas foram das cultivares Apoatã e Emcaper 8151 - Robusta Tropical, e as de café arábica foram das cultivares Catuaí Amarelo (IAC 62 e IAC 86), Catuaí Vermelho (IAC 44 e IAC 81), Iapar 59, Obatã e Oeiras (MG 6851).

O teste de sanidade foi efetuado pelo método do papel-filtro, utilizando-se de um delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições e quatro tratamentos para cada cultivar. Lote com 200 sementes, divididas em quatro replicatas de cinquenta sementes, sem pergaminho, foram colocadas sobre três folhas de papel-filtro, em placas de Petri, esterilizadas a  $180^{\circ}\text{C}$ , por quatro horas. As folhas foram umedecidas com água destilada e esterilizada em quantidade equivalente a três vezes o seu peso seco.

Os tratamentos utilizados foram: 1) testemunha (sementes sem tratamento); 2) solução a 0,1% de captan (Orthocide<sup>®</sup>); 3) ridomil na dose de  $25\text{ mg L}^{-1}$  de água destilada; 4) thiabendazole + thiram (nas doses de  $10\text{ g kg}^{-1}$  e  $30\text{ g kg}^{-1}$  de semente, respectivamente). Neste último tratamento as sementes foram colocadas em “garrafas pet” contendo os fungicidas e em seguida agitadas até a distribuição uniforme do produto. Nos tratamentos com ridomil e captan as sementes foram imersas nas respectivas soluções durante cinco minutos.

Após os tratamentos e semeadura as placas de Petri foram mantidas em sala de crescimento, sob temperatura máxima de  $23,8\pm 3,5^{\circ}\text{C}$  e mínima de  $19,2\pm 3,5^{\circ}\text{C}$ , com UR de 62,8% e fotoperíodo de 12 horas, utilizando-se quatro lâmpadas fluorescentes de 40 Watts, durante 28 dias. A incidência dos fungos foi

quantificada semanalmente, pela visualização de qualquer tipo de estrutura fúngica sobre a semente, deterioração ou enegrecimento, de forma cumulativa, totalizando quatro avaliações. Após esse período procedeu-se à identificação dos microrganismos presentes nas sementes, com o auxílio de microscópio ótico, baseando-se nas características morfológicas e literatura pertinente. Na avaliação da incidência foram considerados todos os fungos independente do gênero ou espécie.

Pelos dados de incidência de fungos obtidos, durante as avaliações semanais, foram traçadas as curvas de progresso da doença para cada tratamento testado, calculando-se as áreas delimitadas por estas curvas pela integração trapezoidal, utilizando a equação:

$$AACPD = \sum_{i=1}^n \frac{[(Y_{i+1} + Y_i)(T_{i+1} - T_i)]}{2} \text{ onde:}$$

AACPD = área abaixo da curva de progresso da doença,  $Y_i$  = porcentagem da incidência de fungos na  $i$ -ésima avaliação,  $T_i$  = tempo (em dias) no momento da  $i$ -ésima avaliação da incidência e  $n$  = número total de avaliações (Jesus Junior et al., 2004).

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o *software* estatístico SAEG (Sistema para Análises Estatísticas da Universidade Federal de Viçosa - UFV), versão 9.0 (Euclides, 2004). Foi feita análise de variância para AACPD.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise numérica do progresso de uma doença deve iniciar com uma representação gráfica dos dados de intensidade da doença (incidência ou severidade) em relação ao tempo, para explorar a curva epidemiológica antes de se proceder ao uso de modelos estatísticos (Jesus Junior et al., 2004). De acordo com o cálculo dos valores da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), houve diferenças significativas entre os tratamentos utilizados para a redução da incidência de fungos nas sementes de *Coffea canephora* e *Coffea arabica*. Os valores da AACPD na cultivar Apoatã variaram entre 808,5 e 2096,5 e na cultivar

Emcaper 8151 - Robusta Tropical variaram entre 679,0 e 2082,5 (Tabela 1). Os tratamentos mais eficientes são aqueles que apresentaram baixos valores de AACPD, sendo a mistura thiabendazole + thiram o tratamento químico mais eficiente no controle de fungos nas sementes da cultivar Apatã diferenciando-se significativamente dos demais tratamentos. O tratamento com captan foi igualmente eficiente no controle dos fungos na cultivar Emcaper 8151 - Robusta Tropical, onde os valores da AACPD para os tratamentos captan e a mistura thiabendazole + thiram foram estatisticamente iguais (Tabela 1).

**Tabela 1** - Área abaixo da curva de progresso da incidência de fungos (AACPD) nas sementes de *Coffea canephora* cv. Apatã e cv. Emcaper 8151 - Robusta Tropical em função dos tratamentos químicos

Tratamentos	AACPD	
	Apatã	Robusta Tropical
Testemunha	2096,5 a*	2082,5 a
Captan	1284,5 b	679,0 b
Ridomil	1975,8 a	1967,0 a
Thiabendazole + Thiram	808,5 c	728,0 b

\* Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Através dos valores da AACPD em cada cultivar de café arábica, a diferença significativa entre todos os tratamentos químicos testados e a testemunha foi observada apenas nas cultivares 'IAC 44', 'IAC 86' e 'Obatã', nas quais os tratamentos ridomil e a mistura thiabendazole + thiram foram significativamente iguais, apresentando menor eficiência quando comparados ao tratamento com captan, que apresentou o menor valor de AACPD. Na cultivar 'IAC 62', com exceção do captan, não ocorreu diferenças entre tratamentos. Nas cultivares 'IAC 81', 'Iapar 59' e 'Oeiras' o tratamento com a mistura thiabendazole + thiram foi significativamente igual à testemunha em que ocorreu alta porcentagem de sementes deterioradas. Os menores valores da AACPD foram apresentados pelo captan, sendo este o tratamento químico mais eficiente no controle de fungos nas sementes das sete cultivares de café arábica (Tabela 2). Da mesma maneira que um fungicida é mais eficiente no controle de

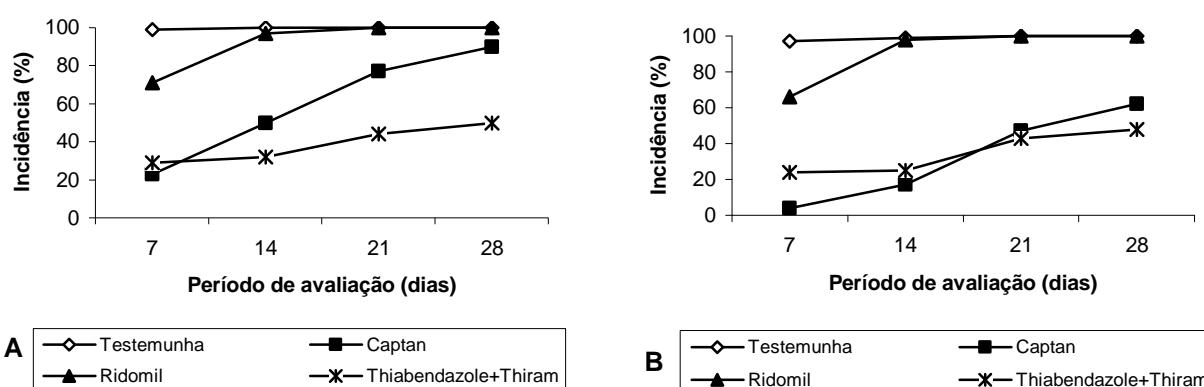
determinadas espécies de patógenos (especificidade), a eficiência da ação do mesmo pode estar relacionada à espécie e/ou cultivar da semente a ser tratada.

**Tabela 2** - Área abaixo da curva de progresso da incidência de fungos (AACPD) nas sementes de *Coffea arabica* em função dos tratamentos químicos

Tratamentos	AACPD						
	IAC 44	IAC 62	IAC 81	IAC86	IAPAR 59	Obatã	Oeiras
Testemunha	1746,0 a*	1781,5 a	1935,5 a	1949,5 a	1928,5 a	1970,5 a	1704,5 a
Captan	175,0 c	311,5 b	273,0 c	304,5 c	98,0 c	133,0 c	308,0 c
Ridomil	1354,5 b	1387,8 a	1575,0 b	1526,0 b	1669,5 b	1697,5 b	1211,0 b
Thiabendazole + Thiram	1263,5 b	1575,0 a	1750,0ab	1484,0 b	1960,0 a	1669,5 b	1907,5 a

\*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Além do cálculo da AACPD, que foi uma variável utilizada para diferenciar as aplicações de fungicidas, torna-se igualmente importante o estudo dos efeitos dos tratamentos químicos ao longo do tempo de avaliação, onde as Figuras 1 e 2 e/ou 3 e 4) se complementam. As Figuras 1 e 3 evidenciam com maior clareza o efeito de cada fungicida a partir das curvas de progresso da incidência de fungos, que quando traçadas delimitaram áreas que foram calculadas pela integração trapezoidal, enquanto as Figuras 2 e 4 evidenciam as comparações estatísticas entre os tratamentos em cada período de avaliação.



**Figura 1** – Incidência (%) de fungos ao longo do tempo (dias) nas sementes de *Coffea canephora* cv. Apoatã (A) e cv. Emcaper 8151 - Robusta Tropical (B) submetidas a tratamentos com fungicidas.

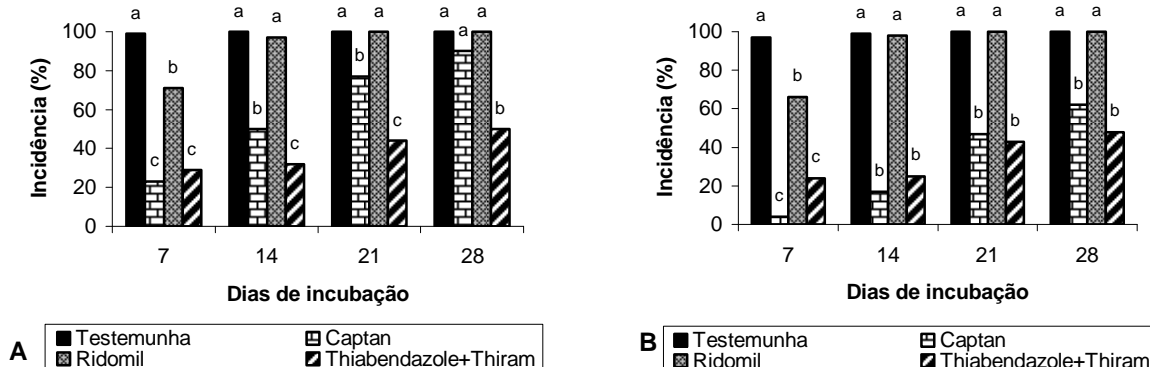
Nas sementes da cultivar Apatã, sem tratamento químico (testemunha) a incidência máxima de fungos (100%) ocorreu após 14 dias de incubação, apesar de no sétimo dia já apresentar 99% de incidência. No tratamento das sementes dessa cultivar com solução de ridomil, a incidência máxima ocorreu após 21 dias, embora a diferença tenha sido significativa em relação à testemunha até sete dias de incubação. A partir desse período o efeito desse fungicida no controle dos fungos associados às sementes foi baixo, equiparando-se aos valores de incidência apresentados naquelas sementes que não receberam tratamento químico. Dentre os tratamentos utilizados para o controle de fungos nas sementes armazenadas de *C. canephora* cv. Apatã, verificou-se que a mistura dos fungicidas thiabendazole + thiram, em todos os períodos de avaliação, foi a mais eficiente (Figura 2A), reduzindo significativamente a incidência desses fungos nas sementes, não tendo sido visualizadas estruturas fúngicas (Tabela 2), em avaliação baseada na coloração das sementes.

Como regra, as sementes devem ser tratadas com uma mistura de protetores e erradicadores de amplo espectro para o controle de patógenos de sementes e de solo. A maioria dos patógenos necrotróficos está localizada no tegumento ou pericarpo, e às vezes nos tecidos mais profundos. Tratamentos somente fungicidas protetores pode diminuir, mas não eliminar o patógeno da semente. A eliminação pode ser alcançada com fungicida com poder penetrante ou com alguma sistemicidade, para que se desloque até o sítio do patógeno (Dhingra, 2005).

O tratamento das sementes da cultivar Apatã feito com a mistura thiabendazole + thiram proporcionou maior controle na incidência dos fungos em relação ao tratamento feito com captan, embora este tratamento apresente efeito significativo no controle dos fungos, quando comparado aos tratamentos testemunha e ridomil. Todavia, após 21 dias de incubação seu efeito sobre os fungos foi estatisticamente igual à testemunha e ao ridomil, não atingindo 100% de incidência até aos 28 dias de incubação. Nos tratamentos feitos com thiabendazole + thiram, a incidência de fungos foi significativamente reduzida, atingindo apenas cerca de 50% após 28 dias (Figuras 1A e 2A). Segundo Yuyama e Henning (1997), o fungicida thiabendazole, em sementes de soja, foi muito eficiente no controle de *Phomopsis* spp., *Fusarium semitectum* e *Cercospora*

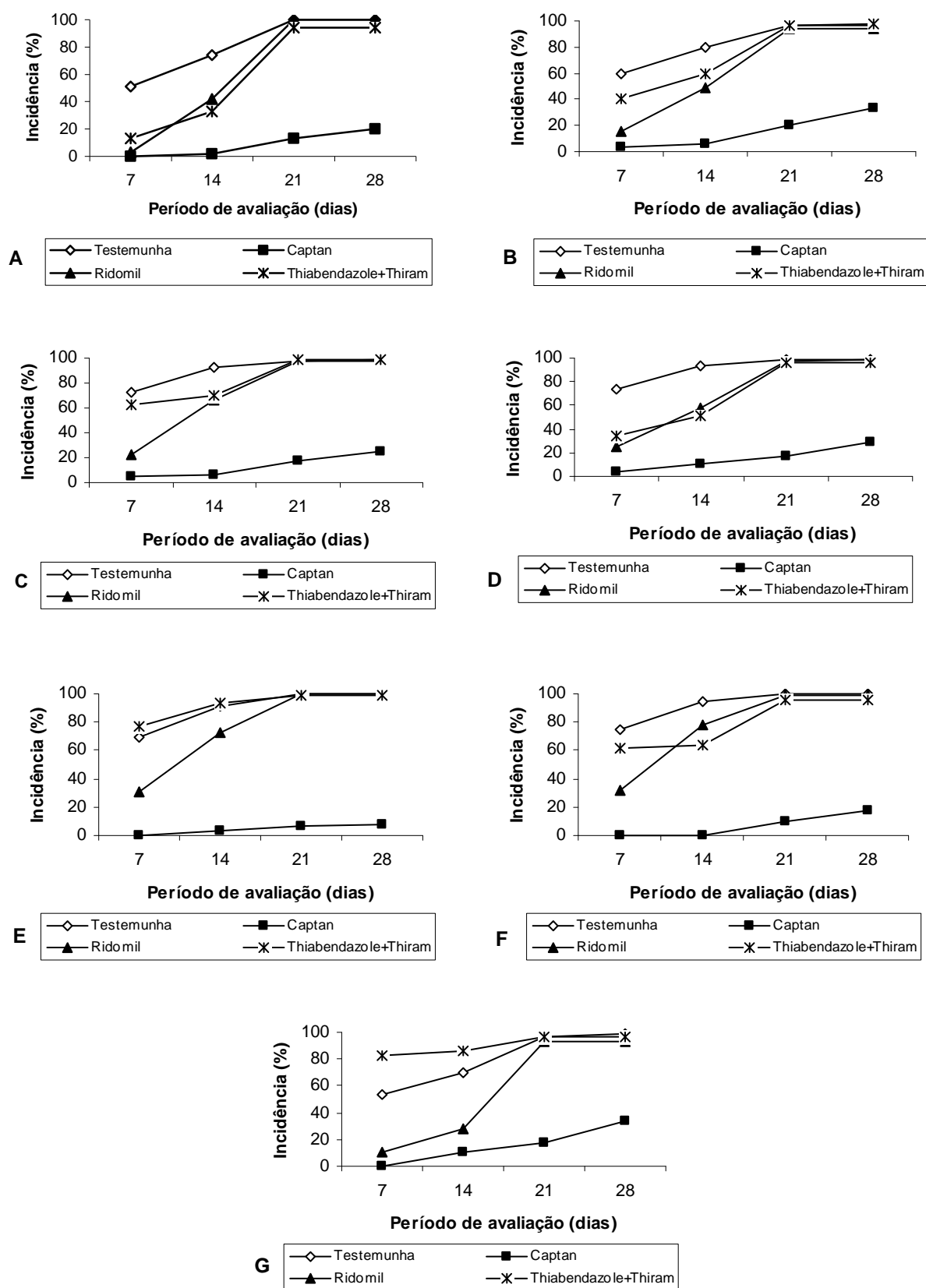
*kikuchii*, independentemente da formulação, dose e mistura empregada com thiram.

Os tratamentos com captan e com a mistura thiabendazole + thiram nas sementes da cultivar Emcaper 8151 - Robusta Tropical não diferiram significativamente entre si, sendo mais eficientes no controle dos fungos quando comparados com os demais tratamentos dentro de cada período de incubação. Após o sétimo dia de incubação o tratamento das sementes com ridomil diferenciou significativamente da testemunha, mesmo com elevada incidência (66%), porém após 14 dias não apresentou mais o efeito de controle sobre os fungos chegando a 98% de incidência. A incidência máxima (100%) por fungos ocorreu aos 21 dias de incubação tanto nas sementes sem tratamento químico (testemunha) como naquelas tratadas com ridomil, sendo que aos 14 dias a incidência já estava em torno de 98% nesses tratamentos. Foram observadas 62 e 48% de incidência fúngica nos tratamentos captan e mistura thiabendazole + thiram, respectivamente, aos 28 dias de incubação (Figura 2B). De acordo com os dados obtidos verifica-se a eficiência da mistura dos fungicidas thiabendazole + thiram no controle de fungos em sementes armazenadas de café, conforme foi também verificado em outras espécies. Vedoato et al. (1980), estudando o tratamento de sementes de soja com fungicidas, observaram que esses proporcionaram um aumento no "stand" da cultura, onde ressalta a eficiência dos fungicidas thiram, captan e merpacine.



**Figura 2** - Incidência de fungos (%) ao longo do tempo (dias) nas sementes de *Coffea canephora* cv. Apoatã (A) e cv. Emcaper 8151 - Robusta Tropical (B) submetidas a tratamentos com fungicidas.



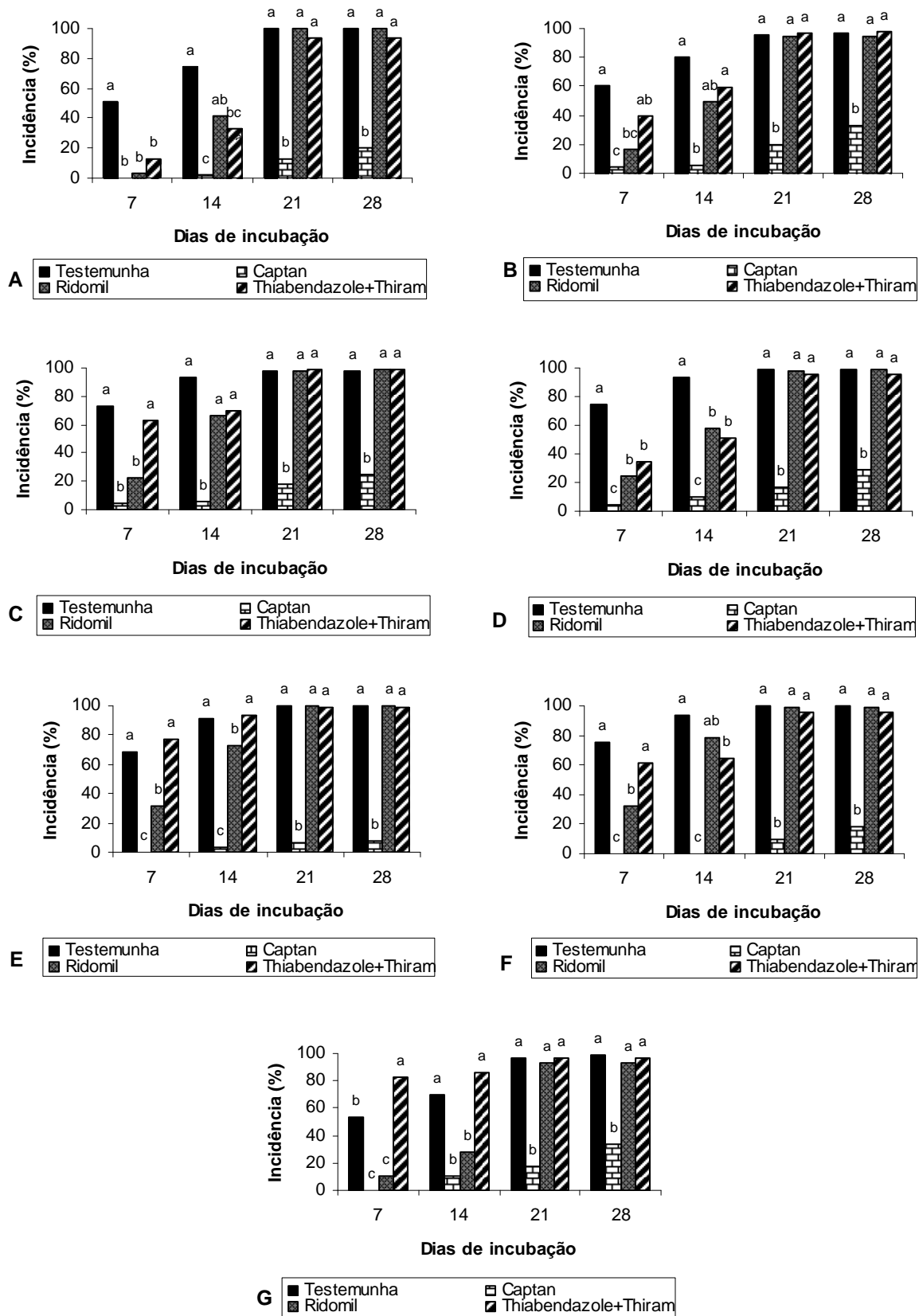


**Figura 3** - Incidência (%) de fungos ao longo do tempo (dias) nas sementes de *Coffea arabica* das cultivares IAC 44 (A), IAC 62 (B), IAC 81 (C), IAC 86 (D), Iapar 59 (E), Obatã (F) e Oeiras (G) submetidas a tratamentos com fungicidas.

Nas sementes das sete cultivares de café arábica, sem tratamento químico (testemunha), a máxima incidência de fungos (variando de 96 a 100%) ocorreu após 21 dias de incubação (Figura 4). O mesmo ocorreu no tratamento das sementes dessas cultivares com solução de ridomil, embora a diferença tenha sido significativa em relação à testemunha até 14 dias de incubação para as cultivares 'IAC 44', 'IAC 62', 'IAC 81' e 'Obatã', e para as cultivares 'IAC 86', 'Iapar 59' e 'Oeiras' a diferença entre testemunha e ridomil ocorreu até 21 dias de incubação. A partir desses períodos o efeito no controle dos fungos associados às sementes das respectivas cultivares foi baixo.

A mistura thiabendazole + thiram após 14 dias de incubação apresentou efeito positivo no controle dos fungos nas sementes das cultivares 'IAC 44' e 'IAC 86'. Porém, após 21 dias de incubação seu efeito foi estatisticamente igual à testemunha, onde a incidência que anteriormente era de 33% e 51% passou, respectivamente, a 94% e 96% (Figura 4A e 4D), não tendo sido visualizadas estruturas fúngicas (Tabela 4), em avaliação baseada na coloração das sementes. Já nas demais cultivares 'IAC 62', 'IAC 81', 'Iapar 59', 'Obatã' e 'Oeiras', em nenhum período de incubação, houve diferença entre a mistura thiabendazole + thiram e a testemunha (Figura 4). Fungicidas sistêmicos como o thiabendazole translocam-se nos tecidos, distribuindo-se por toda a planta, inclusive nos tecidos de vagens e sementes (Zambolim et al., 2005). Por conseguinte, o tratamento com esse produto, em determinadas concentrações, pode acarretar sensibilidade das sementes.

Dentre os tratamentos utilizados para o controle de fungos nas sementes armazenadas das sete cultivares de *C. arabica* o captan foi o mais eficiente, sendo evidenciado após 21 dias de incubação que este tratamento foi o único que diferiu significativamente dos demais (Figura 4). Contudo, o tratamento químico com captan foi o mais eficiente por reduzir a incidência de patógenos nas sementes de café arábica, cujo efeito foi a redução da incidência que chegou a atingir, em média, apenas 24% das sementes após os 28 dias de incubação. Levando em consideração que as sementes de café sem pergaminho germinam em 30 dias após a semeadura, em condições ideais, o tratamento favorece a preservação e o aprimoramento do desempenho das mesmas.



**Figura 4** - Incidência de fungos (%) ao longo do tempo (dias) nas sementes de *Coffea arabica* das cultivares IAC 44 (A), IAC 62 (B), IAC 81 (C), IAC 86 (D), Iapar 59 (E), Obatã (F) e Oeiras (G) submetidas a tratamentos com fungicidas.

Foi verificada a incidência de *Fusarium sp.* e *Aspergillus spp.*, que são fungos de campo e de armazenamento, respectivamente (Tabelas 3 e 4). A presença de *Fusarium sp.* foi caracterizada pelo desenvolvimento de massa micelial cotonosa e densa de coloração branca. Sua incidência foi maior em sementes que não foram tratadas com fungicidas (testemunha) e naquelas tratadas com solução de ridomil. O tratamento com captan reduziu a incidência de *Fusarium sp.*, evidenciando a eficiência desse fungicida. Apesar da incidência de *Aspergillus spp.* ter sido menor em relação ao *Fusarium sp.*, verifica-se maior predominância dos fungos desse gênero nas sementes das cultivares de *C. canephora* (Tabela 3) e menor incidência nas sementes de *C. arabica* (Tabela 4). A infestação por *Aspergillus niger* foi observada em apenas 2% das sementes de *C. canephora* cv. Emcaper 8151 - Robusta Tropical, que não foram tratadas quimicamente (testemunha).

Na identificação e incidência de cada fungo associado às sementes de *C. canephora* (Tabela 3) e *C. arabica* (Tabela 4), quando utilizado o tratamento thiabendazole + thiram, não foi visualizada qualquer estrutura dos fungos associados às sementes das nove cultivares, como foram visualizadas nos demais tratamentos, que possibilitou a identificação dos mesmos. Contudo, algumas sementes tratadas com thiabendazole + thiram apresentaram uma coloração enegrecida, com aspecto de deterioração. De modo geral, no presente trabalho verificou-se alta porcentagem de incidência de *Fusarium sp.* nas sementes após 12 meses de armazenamento, que embora sendo caracterizado como fungo de campo, pode se manter nas sementes após um ano de armazenamento (Braccini et al., 1999).

Os resultados apresentados nas Tabelas 3 e 4 corroboram as afirmações de Braccini et al. (1998; 1999), que verificaram em sementes de café robusta armazenadas até 12 meses cinco gêneros de fungos, sendo *Fusarium semitectum*, *Aspergillus spp.* e *Penicillium spp.* os de maior frequência e, em menor grau de incidência, *Alternaria spp.* e *Colletotrichum spp.*

Foi observado também ao longo do experimento, em algumas sementes das cultivares estudadas, exsudações de coloração marron que é indicativo de deterioração celular, estando associada a sementes de café com baixa qualidade (Sera & Miglioranza, 2000; Alvarenga et al., 2001) e, no presente trabalho, as sementes haviam perdido a viabilidade.

**Tabela 3** - Incidência de microorganismos (%) em sementes de *Coffea canephora* cv. Apoatã e cv. Emcaper 8151 - Robusta Tropical submetidas a tratamentos com fungicidas, após 28 dias de incubação

Microorganismos detectados	Tratamentos			
	Testemunha	Captan	Ridomil	Thiabendazole +Thiran
Apoatã				
<i>Fusarium sp.</i>	100	68	99	0*
<i>Aspergillus spp.</i>	12	1	3	0
<i>Aspergillus niger</i>	0	0	0	0
Robusta Tropical				
<i>Fusarium sp.</i>	100	42	100	0
<i>Aspergillus spp.</i>	45	7	52	0
<i>Aspergillus niger</i>	2	0	0	0

\*Nenhuma estrutura fúngica observada sobre a semente, embora muitas apresentavam-se deterioradas.

**Tabela 4** - Incidência de microorganismos (%) em sementes de *Coffea arabica* submetidas a tratamento com fungicidas, após 28 dias de incubação

Microorganismos detectados	Tratamentos			
	Testemunha	Captan	Ridomil	Thiabendazole +Thiran
Catuaí Vermelho (IAC 44)				
<i>Fusarium sp.</i>	100	20	100	0*
<i>Aspergillus spp.</i>	1	0	2	0
Catuaí Amarelo (IAC 62)				
<i>Fusarium sp.</i>	97	33	94	0
<i>Aspergillus spp.</i>	2	0	1	0
Catuaí Vermelho (IAC 81)				
<i>Fusarium sp.</i>	98	25	99	0
<i>Aspergillus spp.</i>	0	0	0	0
Catuaí Amarelo (IAC 86)				
<i>Fusarium sp.</i>	99	29	99	0
<i>Aspergillus spp.</i>	0	0	3	0
Iapar 59				
<i>Fusarium sp.</i>	100	8	100	0
<i>Aspergillus spp.</i>	1	0	1	0
Obatã				
<i>Fusarium sp.</i>	100	18	99	0
<i>Aspergillus spp.</i>	0	0	2	0
Oeiras				
<i>Fusarium sp.</i>	99	34	92	0
<i>Aspergillus spp.</i>	0	0	1	0

\*Nenhuma estrutura fúngica observada sobre a semente, embora muitas apresentavam-se deterioradas.

## CONCLUSÕES

As sementes das nove cultivares de café armazenadas apresentam infestação pelos fungos *Fusarium sp.* e *Aspergillus spp.*

O fungo do gênero *Fusarium sp.* ocorre com maior incidência nas sementes armazenadas.

A mistura dos fungicidas thiabendazole e thiram é mais eficiente na redução da incidência dos fungos *Fusarium sp.* e *Aspergillus spp.* nas sementes das cultivares Apoatã e Emcaper 8151 - Robusta Tropical.

O fungicida captan é mais eficiente na redução da incidência dos fungos *Fusarium sp.* e *Aspergillus spp.* nas sementes das cultivares IAC 44, IAC 62, IAC 81, IAC 86, Iapar 59, Obatã e Oeiras.

## REFERÊNCIAS

- ABIC. **História do café**. Disponível em: <<http://www.abic.com.br/>> Acesso em: 01 de novembro de 2006.
- ALVARENGA, E.M.; HENRIQUES, E.; AMPESSAN, J.; DIAS, D.C.F. dos S. Liberação de exsudatos de sementes de café como método para avaliar a sua qualidade fisiológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SEMENTES, 12., 2001, Curitiba. **Anais**. Informativo ABRATES, v.11, n.2, p.137, set. 2001. (Resumo 182).
- ARAUJO, A.E.S.; CASTRO, A.P.G.; ROSSETTO, C.A.V. Avaliação de metodologia para detecção de fungos em sementes de amendoim. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v.26, n.2, p.45-54, 2004.
- BEWLEY, J.D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. 2.ed. New York and London: Plenum Press, 1994. 445p.
- BRACCINI, A.L.; BRACCINI, M.C.L.; SCAPIM, C.A.; OLIVEIRA, V.R.; ANDRADE, A.B. Conservação de Sementes de Café robusta (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) cultivar Conillon em função do grau de umidade e do tipo de embalagem. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.20, n.2, p.160-169, 1998.
- BRACCINI, A.L.; BRACCINI, M.C.L.; SCAPIM, C.A.; OLIVEIRA, V.R.; ANDRADE, A.B. Incidência de microrganismos de sementes de Café robusta durante o armazenamento. **Bragantia**, Campinas, v.58. n.2, p.305-315, 1999.
- CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 3.ed. Campinas: Fundação Cargill, 2000. 427p.
- CHALFOUN, S.M.; BATISTA, R.L. Incidência de ocratoxina em diferentes frações de grãos de café (*Coffea arabica* L.). **Coffee Science**, Lavras, v.1, n.1, p.28-35, 2006.
- CHALFOUN, S.M.; CORRÊA, T.B.S. Micotoxinas em café – Riscos e controle. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Palestras do I Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, Brasília: Embrapa Café, 2002. p.237-256.
- CHRISTENSEN, C.M. Loss of viability in storage: microflora. **Seed Science and Technology**, Zürich, v.1, n.3, p.547-562, 1973.
- COUTINHO, W.M.; PEREIRA, L.A.A.; MACHADO, J.C.; FREITAS-SILVA, O.; OENA, R.C.M.; MAGALHÃES, F.H.L. Efeitos de hipoclorito de sódio na germinação de conídios de alguns fungos transmitidos por sementes. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.25, n.3, p.552-555, 2000.
- DELOUCHE, J.C. **Pesquisas em sementes no Brasil**. Brasília: AGIPLAN, 1975. 70p.

DIAS, M.C.L.L.; BARROS, A.S.R. Conservação de sementes de café (*Coffea arabica* L.) em diferentes embalagens. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.15, n.2, p.197-202, 1993.

DHINGRA, O. D. Teoria da transmissão de patógenos fúngicos por sementes. In: ZAMBOLIM, L. **Sementes: qualidade fitossanitária**. Viçosa: UFV, 2005. p.75-112.

EUCLYDES, R.F. **Sistema para análises estatísticas** (SAEG 9.0). Viçosa: FUNARBE / UFV, 2004.

JESUS JUNIOR, W.C. de; POZZA, E.A.; VALE, F.X.R. do; AGUILERA, G.M. Análise temporal de epidemias. In: VALE, F.X.R. do; JESUS JUNIOR, W.C.; ZAMBOLIM, L. **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas**. Belo Horizonte: Editora Perffil, 2004. p.127-191.

LOPES, J.C. **Germinação de sementes de *Phaseolus vulgaris***. 1990. 223 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1990.

MACHADO, J.C. **Tratamento de sementes no controle de doenças**. Lavras: LAPS/UFLA/FAEPE, 2000. 138p.

MAYER, A.M.; POLJAKOFF-MAYBER, A. **The germination of seeds**. London: Pergamon Press, 1989. 270p.

MEDEIROS, E.M.; BAUDET, L.; PERES, W.B.; PESKE, F.B. Recobrimento de sementes de cenoura com aglomerante em diversas proporções e fungicida. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v.28, n.3, p.94-100, 2006.

MENDES, M.A.S.; SILVA, V.L.; DIANESE, J.C.D.; FERREIRA, M.A.S.V; SANTOS, C.E.N.; NETO, E.; URBEN, A.F.; CASTRO, C. **Fungos em plantas no Brasil**. Brasília: EMBRAPA/CENARGEN, 1998. 555p.

MENTEN, J.O.M. **Patógenos em sementes: detecção, danos e controle químico**. Piracicaba: ESALQ/FEALQ, 1995. 312p.

NASCIMENTO, W.M.O.; CRUZ, E.D.; MORAES, M.H.D.; MENTEN, J.O.M. Qualidade sanitária e germinação de sementes de *Pterogyne nitens* Tull. (Leguminosae-Caesalpinoideae). **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v.28, n.1, p.149-153, 2006.

MUNIZ, M.F.B.; SILVA, L.M.; BLUME, E. Influência da assepsia e do substrato na qualidade de sementes e mudas de espécies florestais. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v.29, n.1, p.140-146, 2007.

NEERGAARD, P. **Seed pathology**. London: The Mac Millan Press, 1979. 1191p.



PEREIRA, L.A.A.; COUTINHO, W.M.; MACHADO, J.C.; MAGALHÃES, F.H.L.; PENA, R.C.M. Fungitoxicidade *in vitro* de iprodione sobre o crescimento micelial de fungos que se associam a semente de arroz. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.24, n.1, p.67-70, 2002.

SCHUCH, J.Z.; LUCCA-FILHO, O.A.; PESKE, S.T.; DUTRA, L.M.C.; BRNACÃO, M.F.; ROSENTHAL, M.D. Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de arroz com diferentes graus de umidade e tratadas com fungicida. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v.28, n.1, p.45-53, 2006.

SEAG, Secretaria da Agricultura, Abastecimento, Aqüicultura e Pesca. **Café**. Disponível em: <[http://www.seag.es.gov.br/cafe\\_caracterizacao.htm](http://www.seag.es.gov.br/cafe_caracterizacao.htm)> Acesso em: 30 de maio de 2007.

SERA, G.H.; MIGLIORANZA, E. Avaliação visual do poder germinativo de sementes de café por exsudatos. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Resumos Expandidos...** Brasília - DF: Embrapa Café Minasplan, 2000.

SITTISROUNG, P. **Deterioration of rice (*Oryza sativa* L.) seed in storage, and its influence on field performance**. 1970. 91p. Ph.D. Thesis - State College, Mississippi State University.

TANAKA, M.A.S.; MAEDA, J.A.; PLAZAS, I.H.A.Z. Microflora fúngica de sementes de milho em ambientes de armazenamento. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.58, n.3, p.501-508, 2001.

USBERTI, R.; AMARAL, H.M. Fungicide dressing timing, seed size, seed origin and fungal incidence effects on groundnut (*Arachis hypogea* L.) storability. **Seed Science and Technology**, Zürich, v.24, n.2, p.699-706, 1999.

VEDOATO, R.A.; FERNANDES, N.G.; LAM-SÁNCHEZ, A. Efeito do tratamento de sementes com fungicidas não sistêmicos sobre várias características da cultura da soja cv. 'Santa rosa'. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.2, n.3, p.45-52, 1980.

YUYAMA, M.M.; HENNING, A.A. Avaliação de thiabendazole e thiram no controle dos principais fitopatógenos em sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.19, n.2, p.266-269, 1997.

ZAMBOLIM, L.; SOUZA, A.F.de; BARBOSA, J.C. Controle integrado de doenças fúngicas da parte aérea de plantas, visando à redução na transmissão por sementes. In: ZAMBOLIM, L. **Sementes: qualidade fitossanitária**. Viçosa: UFV, 2005. p.215-266.

ZITO, R.K.; SEDIYAMA, C.S.; SEDIYAMA, T.; GOMES, J.L.L.; ROCHA, V.S. Hipoclorito de sódio e álcool na esterilização superficial de sementes de soja. **Revista Ceres**, Viçosa, v.42, n.244, p.637-643, 1995.

## CONCLUSÕES GERAIS

Levando-se em consideração as cultivares estudadas e as condições nas quais este trabalho foi desenvolvido, pode-se concluir que:

durante o processo de germinação a cultivar Catuaí Amarelo IAC 86 é tolerante ao alumínio até a maior concentração testada ( $60 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{Al}^{3+}$ ), apresentando maior desempenho germinativo quando comparada a cultivar Apotã que se mostra sensível à concentração de  $60 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{Al}^{3+}$  ( $1,11 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{Al}^{3+}$ );

a germinação das sementes das cultivares Catuaí Amarelo IAC 62, Iapar 59, Obatã e Oeiras não é afetada pela concentração de  $45 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{Al}^{3+}$  ( $0,83 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{Al}^{3+}$ ), sendo que esta concentração estimula o crescimento da raiz primária da maioria das cultivares estudadas;

a resposta de tolerância das cultivares ao estresse por alumínio é diferenciada em cada fase de crescimento inicial (na germinação / protrusão de raiz e no desenvolvimento inicial de plântulas);

a concentração de  $0,83 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{Al}^{3+}$  permite diferenciar as cultivares de café arábica em estudo quanto à tolerância diferencial ao alumínio;

as cultivares Catuaí Amarelo IAC 62 e a Iapar 59 são tolerantes ao alumínio, a cultivar Oeiras apresenta tolerância intermediária, enquanto a cultivar Obatã se mostra sensível ao elemento;

a tolerância das cultivares de café na presença de alumínio durante o desenvolvimento inicial de plântulas independe da fase de germinação ocorrer na presença desse cátion;

as sementes de todas as cultivares estudadas, armazenadas durante 12 meses, apresentam infestação pelos fungos *Fusarium sp.* e *Aspergillus sp.*, ocorrendo maior incidência do fungo do gênero *Fusarium sp.*;

a mistura dos fungicidas thiabendazole e thiram é mais eficiente na redução da incidência dos fungos *Fusarium sp.* e *Aspergillus sp.* nas sementes das cultivares Apatã e Emcaper 8151 - Robusta Tropical;

o fungicida captan é mais eficiente na redução da incidência dos fungos *Fusarium sp.* e *Aspergillus sp.* nas sementes das cultivares Catuaí Amarelo IAC 62 e IAC 86, Catuaí Vermelho IAC 44 e IAC 81, Iapar 59, Obatã e Oeiras.

**ANEXO**

AnexoAnálise de regressão para a cultivar Catuaí Amarelo IAC 86 de Coffea arabica

ANOVAR      MODELO=CRP GERM FUNCAO TRAT

ESTATISTICAS SIMPLES

OBSERVACOES PERDIDAS      =    0  
 OBSERVACOES DESCARTADAS   =    0  
 OBSERVACOES CONSIDERADAS =    20

DISTRIBUICAO DOS DADOS

EFEITO	IDENTIFICACAO	DADOS
TRAT	1	4
TRAT	2	4
TRAT	3	4
TRAT	4	4
TRAT	5	4

NOME	MEDIA	DESVIO
CRP	3.937500	.6716428
GERM	96.30000	4.414092

CORRELACOES

NOME	X NOME	PRODUTO CRUZADO	CORRELACAO
CRP	CRP	8.570976	1.0000
CRP	GERM	12.55500	.2229
GERM	GERM	370.1999	1.0000

DETERMINANTE = .3125000E+00

ANALISE DE VARIANCIA

CRP

FONTES DE VARIACAO	G.L.	SOMA DE QUADRADO	QUADRADO MEDIO	F	SIGNIF.
TRAT	4	5.227301	1.306825	5.863	.00479
RESIDUO	15	3.343675	.2229117		

COEFICIENTE DE VARIACAO = 11.991

GERM

FONTES DE VARIACAO	G.L.	SOMA DE QUADRADO	QUADRADO MEDIO	F	SIGNIF.
TRAT	4	15.20000	3.800000	.161	*****
RESIDUO	15	354.9999	23.66666		

COEFICIENTE DE VARIACAO = 5.052

REGREAMD1 MODELO = GERM FUNCAO TRAT

ESTATISTICAS SIMPLES

NOME	MEDIA	DESVIO-PADRAO
GERM	96.3000	.9747
TRAT	3.0000	1.5811

MODELO QUADRATICO                      DEPENDENTE = GERM              INDEPENDENTE = TRAT

P A R A M E T R O S   D A   R E G R E S S A O

NOME	COEFICIENTE	DESVIO	T	BETA	PROBAB.
CONSTANTE	.989000E+02				
TRAT	-.191429E+01	.173635E+01	-.110248E+01	-.310539E+01	.1926
X^2	.285715E+00	.283923E+00	.100631E+01	.283450E+01	.2101
R2	.406016E+00				
R2 AJUSTADO	-.187968E+00				

A N A L I S E   D E   V A R I A N C I A

FONTES DE VARIACAO	GL	SOMA DE QUADRADOS	QUADRADO MEDIO	F	PROBAB.
DEVIDO A REGRESSAO	2	1.542861	.7714304	.68	*****
INDEPENDENTE	2	2.257139	1.128570		

REGREAMD1 MODELO = CRP FUNCAO TRAT

ESTATISTICAS SIMPLES

NOME	MEDIA	DESVIO-PADRAO
CRP	3.9375	.5716
TRAT	3.0000	1.5811

MODELO QUADRATICO                      DEPENDENTE = CRP              INDEPENDENTE = TRAT

P A R A M E T R O S   D A   R E G R E S S A O

NOME	COEFICIENTE	DESVIO	T	BETA	PROBAB.
CONSTANTE	.188149E+01				
TRAT	.142325E+01	.605322E+00	.235123E+01	.393707E+01	.0715
X^2	-.201251E+00	.989807E-01	-.203323E+01	-.340458E+01	.0895
R2	.790086E+00				
R2 AJUSTADO	.580173E+00				

A N A L I S E   D E   V A R I A N C I A

FONTES DE VARIACAO	GL	SOMA DE QUADRADOS	QUADRADO MEDIO	F	PROBAB.
DEVIDO A REGRESSAO	2	1.032505	.5162525	3.76	.2099
INDEPENDENTE	2	.2743203	.1371602		

## Análise de regressão para a cultivar Apatã de *Coffea canephora*

ANOVAG      MODELO=GERM CRP FUNCAO TRAT

### ESTATISTICAS SIMPLES

OBSERVACOES PERDIDAS      =    0  
 OBSERVACOES DESCARTADAS   =    0  
 OBSERVACOES CONSIDERADAS = 20

### DISTRIBUICAO DOS DADOS

EFEITO	IDENTIFICACAO	DADOS
TRAT	1	4
TRAT	2	4
TRAT	3	4
TRAT	4	4
TRAT	5	4

NOME	MEDIA	DESVIO
GERM	79.60000	8.887601
CRP	3.348000	.6865597

### CORRELACOES

NOME	X NOME	PRODUTO CRUZADO	CORRELACAO
GERM	GERM	1500.800	1.0000
GERM	CRP	44.14400	.3808
CRP	CRP	8.955920	1.0000

DETERMINANTE = .3125000E+00

### ANALISE DE VARIANCIA

#### GERM

FONTES DE VARIACAO	G.L.	SOMA DE QUADRADO	QUADRADO MEDIO	F	SIGNIF.
TRAT	4	900.8000	225.2000	5.630	.00568
RESIDUO	15	599.9996	39.99997		

COEFICIENTE DE VARIACAO = 7.945

#### CRP

FONTES DE VARIACAO	G.L.	SOMA DE QUADRADO	QUADRADO MEDIO	F	SIGNIF.
TRAT	4	5.460120	1.365030	5.857	.00481
RESIDUO	15	3.495800	.2330533		

COEFICIENTE DE VARIACAO = 14.419

REGREAMD1 MODELO = GERM FUNCAO TRAT

ESTATISTICAS SIMPLES

NOME	MEDIA	DESVIO-PADRAO
GERM	79.6000	7.5033
TRAT	3.0000	1.5811

MODELO QUADRATICO                   DEPENDENTE = GERM           INDEPENDENTE = TRAT

P A R A M E T R O S   D A   R E G R E S S A O

NOME	COEFICIENTE	DESVIO	T	BETA	PROBAB.
CONSTANTE	.792000E+02				
TRAT	.458574E+01	.132611E+02	.345804E+00	.966329E+00	.3812
X^2	-.121429E+01	.216842E+01	-.559988E+00	-.156485E+01	.3159

R2                   .415377E+00  
R2 AJUSTADO   -.169245E+00

A N A L I S E   D E   V A R I A N C I A

FONTES DE VARIACAO	GL	SOMA DE QUADRADOS	QUADRADO MEDIO	F	PROBAB.
DEVIDO A REGRESSAO	2	93.54298	46.77149	.71	*****
INDEPENDENTE	2	131.6570	65.82851		

REGREAMD1 MODELO = CRP FUNCAO TRAT

ESTATISTICAS SIMPLES

NOME	MEDIA	DESVIO-PADRAO
CRP	3.3480	.5842
TRAT	3.0000	1.5811

MODELO QUADRATICO                   DEPENDENTE = CRP           INDEPENDENTE = TRAT

P A R A M E T R O S   D A   R E G R E S S A O

NOME	COEFICIENTE	DESVIO	T	BETA	PROBAB.
CONSTANTE	.164800E+01				
TRAT	.137661E+01	.935823E+00	.147102E+01	.372598E+01	.1396
X^2	-.220894E+00	.153023E+00	-.144353E+01	-.365635E+01	.1428

R2                   .519680E+00  
R2 AJUSTADO   .393603E-01

A N A L I S E   D E   V A R I A N C I A

FONTES DE VARIACAO	GL	SOMA DE QUADRADOS	QUADRADO MEDIO	F	PROBAB.
DEVIDO A REGRESSAO	2	.7093791	.3546896	1.08	.4803
INDEPENDENTE	2	.6556512	.3278256		



# Livros Grátis

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

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

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