

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

**CRESCIMENTO RADICULAR E NUTRIÇÃO MINERAL DE  
CULTIVARES DE FEIJÃO EM RESPOSTA À CALAGEM**

**LAERTE MARQUES DA SILVA**  
Engenheiro Agrônomo

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de Concentração Agricultura.

**BOTUCATU - SP**

**Julho – 2002**

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

**CRESCIMENTO RADICULAR E NUTRIÇÃO MINERAL DE  
CULTIVARES DE FEIJÃO EM RESPOSTA À CALAGEM**

**LAERTE MARQUES DA SILVA**  
Engenheiro Agrônomo

**Prof. Dr. Leandro Borges Lemos**  
Orientador

**Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol**  
Co-orientador

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de concentração em Agricultura.

**BOTUCATU**

**Julho – 2002**

A DEUS, o autor da minha vida

Aos meus pais

Hildo e Terezinha

Aos meus irmãos

Valdez e Laércio

A meu filho

José Vítor

..... **DEDICO**

## AGRADECIMENTO

- A Deus, por dirigir os meus passos em todas as situações e estar sempre por perto nos momentos difíceis;

- A meus pais, irmãos e parentes, que me apoiaram nas minhas decisões;

- Ao meu tio e grande amigo Alberto Alves da Silva, por toda a presteza, carinho, atenção e pelas palavras de estímulo em todos os momentos;

- Ao Prof. Dr. Leandro Borges Lemos, pela orientação e exemplo de professor e pesquisador, amigo e companheiro de todas as horas;

- Ao Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol pela co-orientação, e auxílio nesta tese;

- Aos docentes do Departamento de Agricultura, que foram realmente meus mestres;

- A Faculdade de Ciência Agronômicas/UNESP, Câmpus de Botucatu, pela oportunidade de realizar o curso;

- Ao Departamento de Produção Vegetal da FCA/UNESP, onde me sinto em casa;

- Aos amigos Gustavo e José Carlos pela grande colaboração no presente trabalho;

- Aos colegas de curso, pelo convívio saudável e aprendizado compartilhado, em especial aos amigos Anielo, Janaina, Otoniel, Salvador, Cezar, Edwin, Ana Paula e Rildo pelo total apoio durante a fase de estabelecimento e adaptação;

- Aos amigos e colegas da FAEF, José Benedito Pereira Nunes, José Basil Dower Neto, Carlos Eduardo Otoboni e José Eduardo de Mendonça;

- A todos que colaboraram de alguma forma para que o objetivo deste trabalho fosse alcançado.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>VI</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>VIII</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>3</b>
<b>3. MATERIAL E METODOS .....</b>	<b>11</b>
<b>3.1. Instalação e condução do experimento .....</b>	<b>11</b>
<b>3.2. Parâmetros avaliados .....</b>	<b>15</b>
<b>3.2. 1. Avaliação do sistema radicular .....</b>	<b>15</b>
<b>3.2.2. Número de nós por planta .....</b>	<b>15</b>
<b>3.2.3. Produção de matéria seca e teores de nutrientes do sistema radicular e da parte aérea .....</b>	<b>16</b>
<b>3.2.4. Quantidade acumulada de nutrientes na raiz, parte aérea e absorvida por metro de raiz .....</b>	<b>16</b>
<b>3.2.5. Eficiência de utilização de cálcio e magnésio .....</b>	<b>16</b>
<b>3.3. Análise estatística .....</b>	<b>17</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>18</b>
<b>4.1. Crescimento radicular e produção de matéria seca da raiz .....</b>	<b>18</b>
<b>4.2. Produção de matéria seca da parte aérea e total e número de nós por planta .....</b>	<b>24</b>

<b>4.3. Teores de nutrientes na raiz e na parte aérea .....</b>	<b>27</b>
<b>4.4. Quantidade acumulada de nutrientes na raiz e na parte aérea .....</b>	<b>39</b>
<b>4.5. Quantidade absorvida de nutrientes, na parte aérea e por metro de raiz.</b>	<b>49</b>
<b>4.6. Eficiência de utilização de cálcio e magnésio .....</b>	<b>54</b>
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>57</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>59</b>

## RESUMO

A cultura do feijão no Brasil apresenta baixa produtividade de grãos tendo entre as várias causas a exploração de áreas marginais e o baixo uso de insumos agrícolas, sendo incipiente os estudos sobre o desenvolvimento do sistema radicular de cultivares em diferentes condições de acidez do solo associado com a nutrição da planta. Em função do exposto, o presente trabalho objetivou estudar a resposta de cultivares de feijão ao uso da calagem, quanto ao crescimento radicular, desenvolvimento da parte aérea e a nutrição das plantas. O experimento foi conduzido em vasos de 13 L contendo LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO, com 68% de areia, 15% de silte e 16% de argila em condições de casa-de-vegetação, no Departamento de Produção Vegetal da FCA/UNESP, Câmpus de Botucatu, no ano de 2001. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com quatro repetições, seguindo um modelo fatorial 4x4, com quatro cultivares de feijão



(Campeão 1, Carioca, FT Bonito e Pérola) e quatro doses de calcário no solo (dose 1 - 0 ; dose 2 - 1,59; dose 3 - 3,18 e dose 4 - 4,48 t ha<sup>-1</sup>), com a finalidade de aumentar a saturação por base para 3, 18, 33 e 45%, respectivamente. Pelos resultados obtidos concluiu-se que, as cultivares de feijão apresenta comportamento semelhante quanto ao crescimento radicular. Existe comportamento diferencial das cultivares quanto a capacidade de absorção e transporte de nutrientes, destacando-se a Carioca. A calagem promove aumento do sistema radicular e da parte aérea das cultivares, bem como da quantidade de nutrientes acumulada. Sob baixa disponibilidade de cálcio e magnésio as cultivares apresentam maior eficiência na utilização destes nutrientes na produção de matéria seca. O feijoeiro em condições de elevada acidez reduz o diâmetro radicular às custas do crescimento em comprimento como meio de encontrar os nutrientes de maneira mais eficiente.

---

Palavras - chave: *Phaseolus vulgaris*, doses de calcário, sistema radicular, nutrientes.

**ROOT GROWTH AND MINERAL NUTRITION OF BEAN AS AFFECTED BY  
LIMING.**

**Botucatu, 2002. 70 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) Faculdade de  
Ciência Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.**

**Author: LAERTE MARQUES DA SILVA**

**Adviser: LEANDRO BORGES LEMOS**

**Co-adviser: CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL**

**SUMMARY**

The cultivation bean in Brazil has low production of grain due the exploration of marginal area and deficit use of agricultural fertilizer, and finally the faculty of study on developing root system in different condition of acidity soil in continuation with plant nutrition. The proposal of work was study the correlation of use the lime in answering of bean cultivar radicular growth, air part and plant nutrition. The experiment was made in pot bean of 13 l contained L.V. D. soil characterized with 68% sand, 15% silt and 16% clay in condition of greenhouse. Localized in department of Crop Production of UNESP, Botucatu city, Brazil. The arrangement experimental was "entirely" random with four reps following a factorial model 4x4 with four bean cultivars (Campeão 1, Carioca, FT-Bonito and Pérola) and three doses of lime in soil (dose 2 – 1,59; dose 3 – 3,18 e dose 4 – 4,48 t ha<sup>-1</sup>) with the objective of increase the base saturation to 3, 18, 33 and 45%, respectively. The behaviour of cultivar was equal at the radicular growth. There is differential behaviours of cultivar

between absorption capacity and nutrition transport to Carioca. The liming increased radicular growth and air part of a and also accumulated of “macronutrients”. The cultivale showed greater efficiency in the use the elements Ca and Mg on production of dry material with low available these elements in soil. The bean crop in high acidity in soil reduced the adicular diameter due the radicular growth to find efficient the nutritions.

---

Keyword: *Phaseolus vulgaris*, doses lime, root system, nutrition

## 1. INTRODUÇÃO

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é cultivado em todo território nacional, sendo uma das principais fontes de proteína para a população brasileira. No entanto, em nível nacional, apresenta baixa produtividade de grãos, em torno de 700 kg ha<sup>-1</sup> (Yokoyama, 1999), porém, com potencial de 3000 a 3500 kg ha<sup>-1</sup> (Vieira, 1992; Portes, 1996). Dentre as várias causas para a baixa produtividade destacam-se a exploração da cultura em áreas marginais em termos de fertilidade natural do solo, associado ao pouco investimento em insumos agrícolas como o uso de corretivos e fertilizantes.

Associado a tudo isso, faz necessário um programa de seleção de cultivares com capacidade produtiva em solos de baixa fertilidade e alta acidez, apesar da existência da cultivar Carioca (Vicente et al., 2000). No Brasil a maioria dos solos, apresentam altos teores de alumínio tóxicos para as plantas, o que pode influenciar no desenvolvimento

radicular e, conseqüentemente, na absorção e utilização de nutrientes de forma mais eficiente, interferindo na produtividade de grãos.

Embora, saiba-se que o crescimento radicular seja controlado geneticamente é necessário que as características físicas, químicas e biológicas do solo estejam favoráveis, o que demonstra a grande importância da correção da acidez dos solos, a diminuição da toxidez de alumínio, a elevação dos teores de cálcio e magnésio no solo, e a não ocorrência de camadas compactadas.

Portanto, o conhecimento individual da distribuição e do padrão de crescimento do sistema radicular de cultivares de feijão é de fundamental importância para um eficiente aproveitamento da adubação acarretando em maior absorção de nutrientes. Além disso, cultivares com sistema radicular mais desenvolvidos e vigorosos tem a probabilidade de apresentar maior estabilidade de produção e melhor adaptação à áreas marginais quanto a fertilidade do solo.

Desta forma, o objetivo do presente trabalho foi estudar o crescimento radicular, o desenvolvimento e a nutrição mineral das plantas de cultivares e feijão em reposta a calagem.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

Na maioria dos solos brasileiros, o teor de alumínio (Al) freqüentemente apresenta-se em níveis tóxicos para as plantas. Esta toxicidade é, geralmente, o fator mais limitante ao aumento da produtividade das culturas. O efeito danoso do Al pode manifestar-se pela limitação do desenvolvimento radicular, bem como por interferência na absorção, transporte e utilização de nutrientes (Silva et al., 1984). O excesso de alumínio no solo inibe o crescimento das raízes, afeta a divisão celular, causa a precipitação do fósforo tanto no solo como no interior das células, inibindo a formação de nódulos (Pavan & Oliveira, 1997).

Segundo Vilela & Anghinoni (1994) a presença de altas concentrações de alumínio tóxico no solo provocam diminuição no comprimento e engrossamento do sistema radicular da soja. Horst et al. (1991) observaram que o efeito do alumínio leva a inibição

severa no crescimento das raízes de soja devido à diminuição dos processos fisiológicos e bioquímicos.

O sistema radicular do feijoeiro caracteriza-se por ser bastante superficial, sendo que na floração, mais de 83% da biomassa radicular esta concentrada nas camadas superficiais do solo de 0 a 20 cm (Inforzato & Miyasaka, 1963). No entanto, Guimarães et al. (1996) constataram que há variabilidade genotípica entre cultivares de feijão, sendo essa evidenciada pelo trabalho de Sponchiado et al. (1989), onde raízes de feijoeiro tolerantes a seca atingiram profundidade de 1,3 m, enquanto as sensíveis a este fator, apenas 0,8 m, sendo essas diferenças associadas ao crescimento e produção de grãos.

Lynch & Beem (1993) observaram que genótipos de feijoeiro, com maior eficiência nutricional, apresentam sistema radicular mais ramificado com numerosas raízes basais. Guimarães et al. (1996) estudando o sistema radicular do feijoeiro, observaram diferenças genotípicas no comprimento e massa radicular, número de raízes basais e de meristema radicular, profundidade de penetração de raízes e maior densidade radicular nas camadas mais profundas do solo

Embora o padrão de enraizamento esteja sob controle genético, o crescimento das raízes é influenciado por fatores químicos e físicos do solo (Taylor & Arkin, 1981), além de biológicos.

Inforzato & Miyasaka (1963) avaliando características físicas do solo, quanto à distribuição em profundidade do sistema radicular do feijoeiro, verificaram que tipos de solo influenciam substancialmente no aprofundamento das raízes. Alves et al. (2001) estudando o sistema radicular de duas cultivares de feijão (Pérola e Aporé), observaram que

crecentes graus de compactação do solo, reduziram o crescimento da parte aérea e do sistema radicular, resultando em redução linear do número de vagens/planta.

Adams & Person (1970) avaliando as características químicas do solo relataram que altos níveis de alumínio tóxico no solo (6 ppm), reduziram o desenvolvimento radicular do amendoim. Rheinheimer et al. (1994) submetendo plantas de fumo à indução temporária de estresse por alumínio, verificaram a ocorrência de morte de raízes jovens, bem como, redução do comprimento radicular e aumento do raio médio das raízes, enquanto que, plantas submetidas ao estresse permanente, as raízes tornaram-se enegrecidas, curtas e grossas.

No estudo realizado por Sousa Júnior et al. (1998), avaliando duas cultivares de feijão (Milionário e Mulatinho) na presença de alumínio e doses de cálcio e magnésio em solução nutritiva, observaram aumento na produção de matéria seca do sistema radicular com aumento dos teores de cálcio.

Apesar dos sintomas de toxicidade de alumínio se manifestarem primeiramente no sistema radicular, a determinação somente da massa seca de raiz não é uma estimativa adequada para avaliar o efeito tóxico desse elemento, é interessante estimar o comprimento das raízes, bem como a produção de raízes grossas e finas (Dias et al., 1995 e Silva et al., 1993).

Na cultura da soja Martini & Mutters (1989) verificaram que níveis adequados de calcário proporcionaram redução na toxicidade de alumínio e manganês, resultando num sistema radicular mais longo e fino, enquanto que o excesso de calcário inibiu o crescimento radicular e levou à deficiência de fósforo.

Segundo Richey et al. (1982) o cálcio tem papel predominante no crescimento radicular. Na cultura do algodão Rosolem et al. (2000) verificaram que a calagem



proporcionou maior crescimento radicular e produção da matéria seca das raízes até 50% de saturação por base. Em outro trabalho, Rosolem et al. (1998) verificaram decréscimo no sistema radicular do algodão quando a saturação do solo por base foi elevada de 52% para 67%. Os autores atribuíram o menor crescimento radicular observado na maior saturação por base a possível deficiência do Zn nas raízes em função da calagem. Adans & Moore (1983), verificaram que o crescimento radicular de raízes de algodão foi inibido quando a saturação em Ca foi menor que 17%. No entanto, Caires & Rosolem (1991) trabalhando com amendoim e Rosolem et al. (1998) com soja observaram resposta no crescimento radicular mesmo quando o solo apresentava  $15 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de cálcio.

A eficiência de absorção de nutrientes pelas plantas pode ser melhorada através da seleção de cultivares com maior superfície radicular. Plantas com estas características possuem maior capacidade para absorção de nutrientes do solo (Teo et al., 1995). Vários autores relataram que a capacidade de absorção de nutrientes está relacionado com o comprimento radicular (Barber, 1994; Teo et al., 1995 e Rosolem et al., 1999). No entanto, alguns nutrientes se movimentam com relativa liberdade em solos úmidos, como o nitrogênio na forma de nitratos e neste caso torna-se pouco importante à proximidade da superfície radicular para absorção do nutriente. Porém para nutrientes com baixas taxas de difusão no solo, como o fósforo, a proximidade entre a superfície de absorção da raiz e o nutriente é muito importante (Harper et al., 1991 e Rosolem, 1995).

Neste último caso o sistema radicular precisa explorar o solo em busca do nutriente imóvel e fazer uso do mesmo de maneira otimizada. Segundo Harper et al. (1991) o crescimento em extensão e a ramificação profusa provavelmente representam estratégias alternativas na exploração de volume do solo e na aquisição dos recursos encontrados pelos

sistemas radiculares. Portanto um sistema radicular pouco ramificado, com grande crescimento em extensão, não consegue fazer uso otimizado do recurso encontrado, enquanto que sistemas radiculares muito ramificados não podem descobrir novos recursos, pois tal estratégia adaptativa geralmente envolve menor crescimento em extensão, para que se mantenha praticamente inalterado a quantidade de fotoassimilados destinada ao sistema radicular.

Tiffney & Niklas (1985) relatam que os sistemas radiculares podem, portanto, alterar sua configuração geométrica de forma a adquirir a habilidade para explorar o solo em busca de recursos (grande crescimento em extensão às custas de menor ramificação), ou a habilidade de adquirir os recursos encontrados de maneira eficiente (sistema radicular profusamente ramificado às custas de menor crescimento em extensão).

Dessa forma, tem-se verificado maior relação matéria seca radicular/matéria seca parte aérea, provavelmente, como estratégia da planta para aumentar a capacidade de absorção de nutrientes em condições de baixa disponibilidade de nutrientes. Assim, os fotoassimilados produzidos na parte aérea são carregados para o sistema radicular a fim de aumentar a superfície de exploração (Rosolem et al., 1999; Araújo, 2000 e Crusciol, 2001).

Devido à extrema complexidade da estrutura geométrica de um sistema radicular, aliada à sua plasticidade, ou seja, habilidade de mudar sua configuração em relação ao ambiente físico, químico e biológico do solo, as ferramentas analíticas e quantitativas para caracterização e interpretação são ainda insatisfatórias (Robinson, 1996), fazendo com que novas idéias e abordagens críticas sejam mais importantes que avanços

tecnológicos que permitam a obtenção mais detalhada de atributos do sistema radicular (Robinson, 1991).

Na cultura do feijoeiro um dos maiores problemas é seu cultivo em solos ácidos com elevado teor de alumínio e manganês trocáveis, que prejudicam o desenvolvimento das plantas. Uma das técnicas mais importantes para a solução deste problema é o uso adequado dos corretivos agrícolas (Quaggio, 1985).

A calagem esta entre as práticas mais econômicas e fundamentais para a obtenção de altas produtividades (Barbosa Filho & Silva, 1994; Dourado Neto & Fancelli, 2000), devido a grande sensibilidade do feijoeiro a toxidez de alumínio e manganês. O controle da acidez do solo é de fundamental importância, em decorrência da redução da toxidez causada por alumínio e manganês e do aumento da saturação por base no solo (Vieira, 1976).

Rosolem (1996) salientou a importância da calagem na cultura do feijão, pois promove modificação no sistema radicular, além de fornecer Ca e Mg como nutrientes, com a liberação de hidroxilas no solo e o aumento do pH, que por sua vez, interfere na disponibilidade de nutrientes. Por outro lado, se a calagem for excessiva, embora não se tenham encontrado trabalhos específicos com a cultura do feijoeiro, é previsível a ocorrência de deficiência de boro, manganês, zinco e eventualmente até cobre, em solos menos férteis.

Desta forma, é importante que o feijoeiro seja cultivado em solos com pH em H<sub>2</sub>O na faixa de 6,0 a 6,5, para maior eficiência do aproveitamento da fixação simbiótica, para evitar fitotoxicidade de alumínio e de manganês e prevenir a deficiência de micronutrientes, sendo ainda, de fundamental importância, o efeito da calagem no crescimento

radicular, o que torna a planta mais apta a produzir quando as condições hídricas são adversas (Rosolem, 1996).

Vale (1994) trabalhando com calagem na cultura do feijão, verificou resposta linear no crescimento do sistema radicular, até a saturação por base de 47%. Observou também que os teores de nitrogênio foram crescentes até a saturação de 36%, mantendo-se constante mesmo com aplicações de maiores doses de calcário.

Já Rosolem et al. (2000) verificaram na cultura do algodão que a calagem proporcionou uma maior produção de massa seca da parte aérea, bem como, aumento nos teores de Ca e Mg e, concomitantemente, redução nos teores de Mn na parte aérea em resposta ao aumento da saturação por base.

Na cultura do feijão, o aumento na disponibilidade de cálcio através da calagem elevou a produção de matéria seca da parte aérea (Siqueira & Oliveira, 1986), bem como nos teores de Ca e Mg (Quaggio et al., 1985; Pereira et al., 1992; Rosolem, 1996; Faquim et al., 1998; Vieira, 1998 e Barbosa Filho & Silva, 2000;), de N (Vale, 1994 e Barbosa Filho & Silva, 2000) e uma diminuição nos teores de Zn (Galon et al., 1996 e Barbosa Filho & Silva, 2000) e de Mn (Feitosa et al., 1980; Galon et al., 1996; Faquin et al., 1998 e Vieira, 1998).

Barbosa & Silva (2000) trabalhando num Latossolo Vermelho Escuro com cinco cultivares de feijão (Aporé, Carioca, Novo Jalo, MA 534657 e MA 534666-2) e seis doses de calcário (0, 3, 6, 9, 12 e 15 t/ha) incorporado ao solo, verificaram que a calagem aumentou a saturação por base do solo e conseqüentemente houve elevação na produtividade de grãos. No entanto, Moraes & Dynia, (1997) e Dynia & Moraes (1998) trabalhando com

calcário na cultura do feijão, observaram que a mesma não proporcionou aumento da produtividade de grãos.

Faquim et al. (1998) estudaram o efeito da calagem em quatro solos de várzea cultivados com feijão, cultivar Carioca, e constataram aumento de produtividade de grãos com elevação de doses de calcário. No entanto, Fageria (1999) trabalhando com doses de calcário na cultura do feijão, cultivar Aporé, verificou diferenças significativas na produtividade de grãos, obtendo resposta à calagem até 10 t/ha.

Vale (1998) avaliando em dois anos agrícolas o efeito da calagem em dois solos (Latosolo Vermelho Escuro e Terra Roxa Estruturada) cultivados com feijão, cultivar Aporé, verificou que o calcário proporcionou aumento no comprimento, no raio e na superfície radicular, bem como, na produção de massa seca da parte aérea e raízes, nos componentes de produção (número de vagens planta, número de grãos planta, massa de 100 grãos) e na produtividade de grãos.

Portanto, pela presente revisão de literatura fica clara a ausência de trabalhos de pesquisa envolvendo o crescimento radicular com a absorção de nutrientes em cultivares de feijão, motivo pelo qual utilizou-se a busca de informação em outras culturas, além de justificar a importância de tal estudo com os benefícios proporcionados pela calagem.

### **3. MATERIAL E MÉTODO**

#### **3.1. Instalação e condução do experimento**

O experimento foi desenvolvido em casa-de-vegetação da Faculdade de Ciências Agrônômicas - UNESP, Câmpus de Botucatu, no período de 14 de março a 6 de maio de 2001. O local apresenta, como coordenadas geográficas, Latitude de 22<sup>o</sup>51' LS, Longitude de 48<sup>o</sup>26' W Grw, e altitude de 740 m.

A terra utilizada foi proveniente da camada arável de um LATOSSOLO Vermelho Distrófico (Embrapa, 1999), com 68% de areia, 15% de silte e 16% de argila. Antes da instalação do experimento foi coletada uma amostra composta de solo para análise química, segundo metodologia proposta por Raij e Quaggio (1983), cujos resultados estão na Tabela 1 e 2.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com quatro repetições. O experimento foi instalado segundo um modelo fatorial 4x4, ou seja, com quatro cultivares feijão do grupo comercial carioca (Campeão 1, Carioca, FT-Bonito e Pérola) e quatro doses de calcário (dose 1 – 0; dose 2 – 1,59; dose 3 – 3,18 e dose 4 – 4,48 t ha<sup>-1</sup>). As doses foram aplicadas com a finalidade de elevar a saturação por base para 3; 18; 33 e 45%, respectivamente.

TABELA 1. Resultados da análise química do solo, utilizado no experimento. Botucatu (SP), 2001.

M. O.	pH	P <sup>(1)</sup>	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
g kg <sup>-1</sup>	CaCl <sub>2</sub>	mg dm <sup>-3</sup>	-----			mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	-----		(%)
22	4,0	2	0,5	2,0	0,2	97	2,7	96,7	3

(1) Fósforo extraído por resina.

TABELA 2. Teores de Al<sup>+3</sup>, saturação por Al e teores de micronutrientes (Cu, Zn, Fe e Mn) do solo utilizado no experimento. Botucatu (SP), 2001.

Al	M	Cu	Zn	Fe	Mn	
mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	(%)	-----			mg dm <sup>-3</sup>	-----
29	30	0,5	0,6	22	0,4	

A cultivar Campeão 1 apresenta hábito de crescimento indeterminado (tipo III), ciclo de 92-93 dias, sementes de coloração creme com listas de cor havana, resistência a ferrugem e antracnose e moderada resistência ao crestamento bacteriano e mancha angular (Barelli et al., 1997).

Já a cultivar Carioca apresenta hábito decrescimento indeterminado (tipo III), ciclo médio de 90 dias, sementes de coloração castanho claro com estrias de cor havana, resistência ao mosaico comum e a ferrugem e moderada resistência ao crestamento bacteriano e antracnose (Vicente et al. 2000).

Quanto a cultivar FT-Bonito, está apresenta hábito de crescimento indeterminado (tipo II), ciclo variando de 88 a 100 dias, sementes de coloração creme com listas de cor havana, resistência ao mosaico comum e moderada resistência oídio, ferrugem e mosaico dourado (FT Sementes, 1999).

Com relação a cultivar Pérola, apresenta hábito de crescimento indeterminado (tipo II e III), ciclo médio de 90 dias, sementes de coloração bege clara com rajás marrom-claras, resistência a ferrugem e ao mosaico dourado (Embrapa, 2002).

A terra coletada no campo, em quantidade suficiente para preencher 64 vasos de 13 L, foi peneirada em malha de 4 mm, seca ao ar e colocada em sacos plásticos. Foi realizada a calagem, com calcário dolomítico com PRNT = 91%, e em seguida realizado a adubação com  $100 \text{ mg dm}^{-3}$  de P,  $100 \text{ mg dm}^{-3}$  de K na forma de fosfato monoâmônico e cloreto de potássio, respectivamente. O calcário e os adubos foram misturados à terra contida nos sacos plásticos e transferidos para os vasos. Em seguida a terra dos vasos foi posta em incubação, com umidade de aproximadamente 80% da capacidade de retenção de água do solo, por 30 dias. Após o período de incubação, foi coletada uma amostra composta de terra em cada tratamento de doses de calcário, para análise química, segundo metodologia proposta por Raij e Quaggio (1983), cujos resultados estão contidos na Tabela 3 e 4.

TABELA 3. Resultados da análise química da terra em função da calagem (30 dias após incubação). Botucatu (SP), 2001.

Doses de calcário	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
$\text{t ha}^{-1}$	$\text{CaCl}_2$	$\text{g kg}^{-1}$	-----			$\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$	-----		(%)
0	4,0	114	3,6	5	0,8	87	9	96	10
1,59	4,3	108	3,4	12	3,2	68	18	86	21
3,18	4,9	108	3,1	21	6,6	53	31	84	36
4,48	5,1	109	3,5	25	8,0	45	36	81	44



TABELA 4. Teores de  $Al^{+3}$ , saturação por Al e teores de micronutrientes (Cu, Zn, Fe e Mn) em função da calagem (30 dias após a incubação). Botucatu (SP), 2001.

Doses de calcário	Al	m	Cu	Zn	Fe	Mn
$t\ ha^{-1}$	$mmol_c\ dm^{-3}$	(%)	----- $mg\ dm^3$ -----			
0	24	25	2,7	1,4	43	0,7
1,59	18	20	1,9	1,2	39	0,7
3,18	13	15	2,3	1,1	36	0,5
4,48	11	13	2,3	1,1	32	0,5

Na adubação de semeadura foi aplicado 3  $mg\ Zn\ dm^{-3}$  e 50  $mg$  de N  $dm^{-3}$ , na forma de sulfato de zinco e uréia, respectivamente. A semeadura foi realizada no dia 24/04/2001, utilizando seis sementes por vaso. Junto com as sementes aplicou-se fungicida thiram (150 ml/100kg sementes), visando o controle preventivo da antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) e podridão radicular (*Rhizoctonia solani*). Após uma semana a emergência das plântulas de feijão, foi realizado o desbaste, deixando três plantas por vaso. Aos 25 dias após a emergência foi realizada a adubação de cobertura com 100  $mg$  de N  $dm^{-3}$  para cada unidade experimental (vaso) na forma de uréia.

O controle fitossanitário foi realizado através de duas pulverizações aos 27 dias após a emergência, com inseticida triazophos (0,9 l  $ha^{-1}$ ) para o controle da mosca minadora (*Liriomyza* sp) e do ácaro branco (*Polyphagotarsonemus latus*), e aos 33 dias após emergência, com fungicida óxido cuproso (1100g  $ha^{-1}$ ) para o controle do oídio (*Erysiphe polygoni*).

As condições climáticas foram controladas, fixando-se temperaturas em 22°C e 29°C, respectivamente, como mínima e máxima, e o fornecimento de água foi realizado periodicamente, avaliando-se a necessidade através de pesagem de quatro vasos para cada dose de calcário, colocando-se à quantidade suficiente para elevar a 100% da capacidade de campo (CC) sempre que o nível atingia 80% da CC.

Aos 43 dias após a emergência, quando as maiorias das plantas encontravam-se no estágio fenológico de floração ( $R_6$ ) foi realizado a colheita do experimento. As plantas foram seccionadas no colo separando a parte aérea do sistema radicular.

### **3.2. Parâmetros avaliados**

#### **3.2.1. Avaliação do sistema radicular**

Na colheita do experimento, as raízes foram separadas do solo por lavagem em água corrente sobre peneiras de 0,5 mm. Do material lavado e separado foi tomada uma amostra de aproximadamente 30% do sistema radicular, sendo acondicionado em coletor universal, com solução de 30% de álcool + 70% de água comum, e em seguida levado à geladeira a temperatura de 4<sup>0</sup>C, onde foi mantida até o momento da avaliação das variáveis.

As avaliações foram realizadas em Scanner, desenvolvido para este fim, acoplado a um computador dotado do Software WinRhizo, que utiliza como princípio a metodologia proposta por Tennant (1975). Neste equipamento, determinou-se o comprimento ( $m\ planta^{-1}$ ), a superfície ( $cm^2\ planta^{-1}$ ), o volume ( $cm^3\ planta^{-1}$ ) e o diâmetro (mm) radicular.

#### **3.2.2. Número de nós por planta**

Em todas as plantas colhidas foram realizadas contagens do número de nós e posteriormente convertidos em número de nós por planta.

### **3.2.3. Produção de matéria seca e teores de nutrientes do sistema radicular e da parte aérea**

O sistema radicular e a parte aérea após lavagem foram secados separadamente em estufa com circulação forçada de ar, por três dias a 65<sup>0</sup>C, Posteriormente determinou-se a matéria seca, e as amostras de raízes e da parte aérea foram moídas e avaliadas quimicamente para determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg e Zn, segundo metodologia descrita por Bataglia et al. (1983).

### **3.2.4. Quantidade acumulada de nutrientes na raiz, parte aérea e absorvida por metro de raiz**

Através dos dados de produção de matéria seca e dos teores de nutrientes da raiz e da parte aérea, determinou-se a quantidade acumulada no sistema radicular e na parte aérea pela multiplicação dos valores de teores pelos valores de matéria seca. De posse dos resultados de acúmulo de nutriente na parte aérea, realizou-se a determinação das quantidades de nutrientes absorvidos por metro de raiz, através da razão: quantidade acumulada de nutrientes da parte aérea/comprimento radicular.

### **3.2.5. Eficiência de utilização de cálcio e de magnésio.**

A eficiência de utilização de cálcio e de magnésio foi determinada através da razão: matéria seca parte aérea/quantidade acumulada de cálcio e magnésio na parte aérea.

### **3.3. Análise estatística**

Os resultados foram submetidos a análise de variância e as médias de cultivares comparadas pelo teste Tukey a 5%. Para doses de calcário e para o desdobramento da interação doses de calcário dentro de cultivares adotou-se análise de regressão, sendo que a equação mais adequada foi definida da seguinte forma: primeiro pelo modelo com efeito significativo e segundo pelo ajuste através do maior valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Crescimento radicular e produção de matéria seca da raiz.**

Na Tabela 5 estão contidos os resultados da análise de variância referentes as variáveis do sistema radicular. Pode-se constatar efeito significativo de cultivares para superfície, volume e matéria seca radicular, da calagem verificou-se efeito em todas as variáveis, e da interação entre os fatores para comprimento, volume e matéria seca radicular. Os valores do coeficiente de variação foram elevados, sendo comumente observados em estudos de crescimento radicular (Rosolem et al. 1994; Rosolem et al. 2000; Crusciol, 2001).

Através do teste de comparação de médias (Tabela 5), constatou-se que a cultivar FT-Bonito produziu maior quantidade de matéria seca radicular diferindo das demais cultivares. Esse resultado pode ser decorrente do efeito sinérgico dos valores de

superfície e volume radicular, que foram maiores na cultivar FT-Bonito, culminando na diferença observada para variável matéria seca radicular.

TABELA 5. Valores médias de comprimento, diâmetro, superfície, volume e matéria seca do sistema radicular, no período de florescimento de cultivares de feijão em função de doses de calcário. Botucatu (SP)-2001.

Cultivares	Sistema radicular				
	Comprimento (cm pl <sup>-1</sup> )	Superfície (cm <sup>2</sup> pl <sup>-1</sup> )	Volume (cm <sup>3</sup> pl <sup>-1</sup> )	Diâmetro (mm)	Matéria seca (g pl <sup>-1</sup> )
Campeão 1	12714 a	3595 ab	50,48 b	0,09 a	1,23 b
Carioca	10997 a	3399 ab	47,49 b	0,09 a	1,15 b
FT-Bonito	12782 a	4185 a	99,44 a	0,09 a	1,60 a
Pérola	10943 a	3025 b	68,85 b	0,08 a	1,09 b
----- Valor de F -----					
Cultivar (C)	2,12 ns	3,61 *	14,71 **	1,61 ns	6,05 **
Dose de calcário (DC)	114,6 **	78,04 **	51,57 **	15,78 **	72,02 **
C x DC	4,43 **	1,85 ns	2,93 **	1,14 ns	2,31 *
----- Valor de F para análise de regressão do fator calagem -----					
R.L.		148,9 **		19,67 **	
R.Q.		48,67 **		23,03 **	
Cultivar Campeão 1					
R.L.	89,12 **		33,01 **		42,63 **
R.Q.	15,18 **		0,01 ns		8,89 **
Cultivar Carioca					
R.L.	48,69 **		20,65 **		34,89 **
R.Q.	28,16 **		0,31 ns		7,37 **
Cultivar FT-Bonito					
R.L.	125,73 **		63,95 **	12,34	95,15 **
R.Q.	1,07 ns		19,32 **		10,12 **
Cultivar Pérola					
R.L.	45,66 **		24,21 **		18,93 **
R.Q.	11,96 **		14,59 **		13,93 **
C.V. (%)	23,77	28,71	37,39	12,34	29,12

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

\*\*, \* e ns, significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente.

Nas Figuras 1, 3 e 5 estão os desdobramento das interações, doses de calcário dentro de cultivares, para comprimento, superfície e matéria seca radicular. Para a

variável comprimento radicular (Figura 1), notou-se que as cultivares apresentaram resposta positiva e quadrática as doses de calcário, exceto a FT-Bonito. Na ausência da calagem os maiores valores de comprimento radicular foi verificado nas cultivares FT-Bonito e Pérola.

A resposta do crescimento radicular as doses calcário pode estar relacionada ao aumento nos teores de Ca e, principalmente, Mg, considerados, no tratamento sem aplicação de calcário, respectivamente, médio e baixo (Raij et al., 1996), além da redução no teor de alumínio (Tabelas 3 e 4). A resposta do crescimento radicular ao aumento dos teores de Ca e Mg, proporcionados pela calagem, está na síntese da parede celular, uma vez que ambos participam da formação dos compostos denominados pectatos de cálcio e magnésio. Além disso, a presença de  $Al^{+3}$  promove atrofiamento do sistema radicular com o surgimento de raízes laterais pequenas e grossas, e deficientes em radículas.

Vários autores verificaram o efeito benéfico da calagem sobre o crescimento radicular de várias espécies anuais, tais como a soja (Rosolem & Marcello, 1998; Costa, 2000), o milho (Rosolem et al., 1994), o algodão (Rosolem et al., 2000) e o feijoeiro (Fageria et al., 1989; Vale, 1994; Vale, 1998).

Notou-se através da Figura 2 que a superfície radicular aumentou com o incremento das doses de calcário até  $3,7 \text{ t ha}^{-1}$ , apresentando resposta positiva e quadrática. A resposta para aumento da superfície radicular e devido ao maior comprimento radicular, respectivamente nas crescentes doses de calcário.

Quanto ao volume radicular (Figura 3), as cultivares FT-Bonito e Pérola apresentaram resposta positiva e quadrática as doses de calcário, e linear para Campeão 1 e Carioca. Na ausência a cultivar Pérola apresentou os maiores valores de volume radicular sendo os menores valores para a FT-Bonito. No entanto, as cultivares FT-Bonito e Pérola

apresentaram os maiores valores de volume radicular com o aumento das doses de calcário até aproximadamente  $3,3 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário.

O diâmetro radicular do feijoeiro (Figura 4) não foi afetado pela interação e sim por doses de calcário, apresentando reposta positiva e quadrática. Na ausência de calagem o diâmetro radicular, apresentou os menores valores, sendo que este resultado pode ser atribuído a uma habilidade adquirida às custas de crescimento em extensão, possibilitando encontrar os nutrientes de maneira mais eficiente (Tiffny & Niklas, 1985).

Através das equações (Figura 5) notou-se que a matéria seca radicular de todas as cultivares apresentaram resposta positiva e quadráticas as doses de calcário. Na ausência de calagem a cultivar Pérola apresentou maior produção de matéria seca radicular sendo os menores valores registrados para a FT-Bonito. Portanto, com o aumento das doses de calcário a maior produção de matéria seca foi verificada na cultivar FT-Bonito.

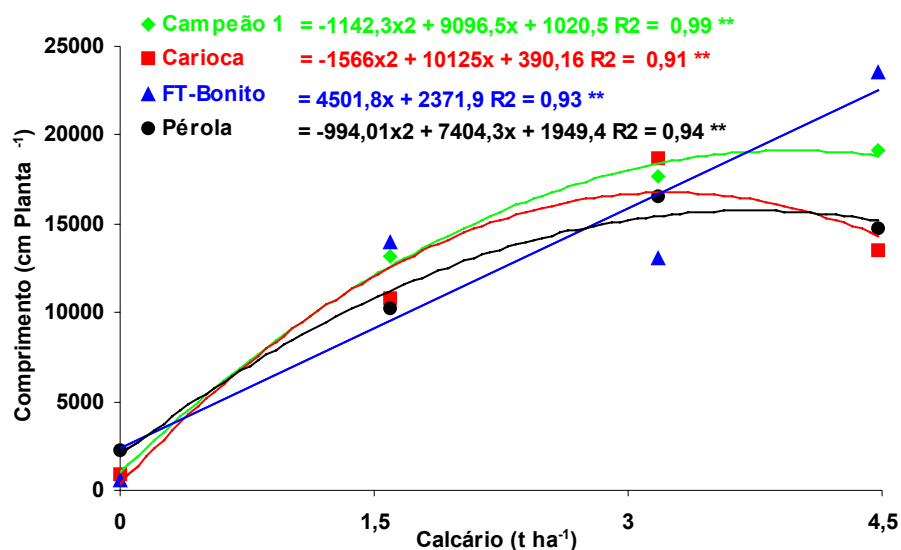


Figura 1. Comprimento radicular de cultivares de feijão em função de doses de calcário



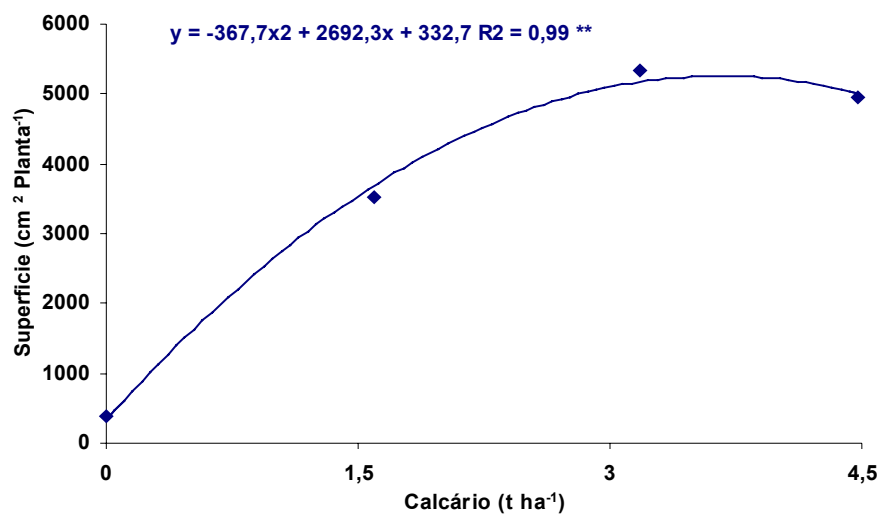


Figura 2. Superfície radicular de cultivares de feijão em função de doses de calcário

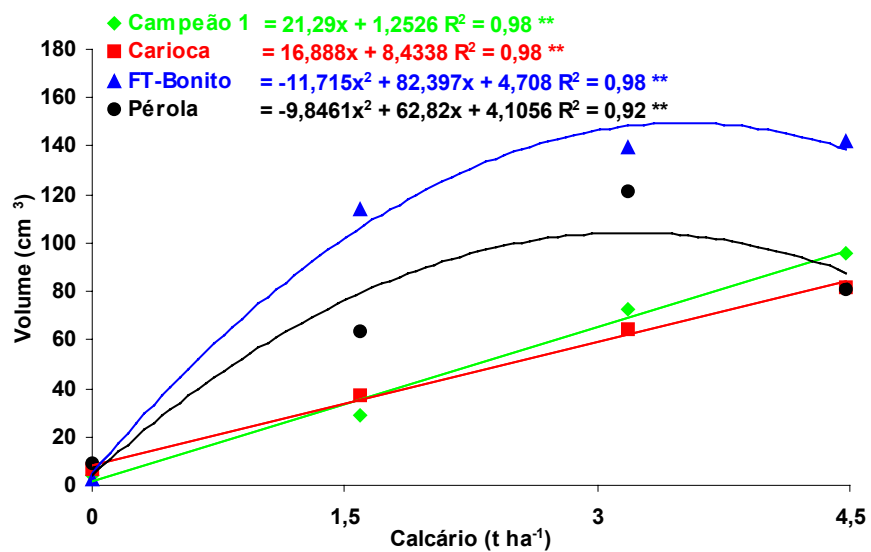


Figura 3. Volume radicular de cultivares de feijão em função de doses de calcário

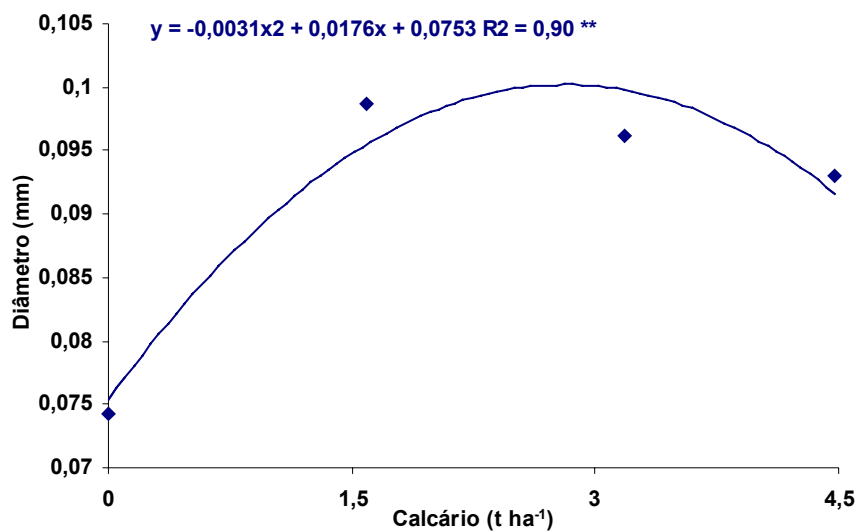


Figura 4. Diâmetro radicular de cultivares de feijão em função de doses de calcário

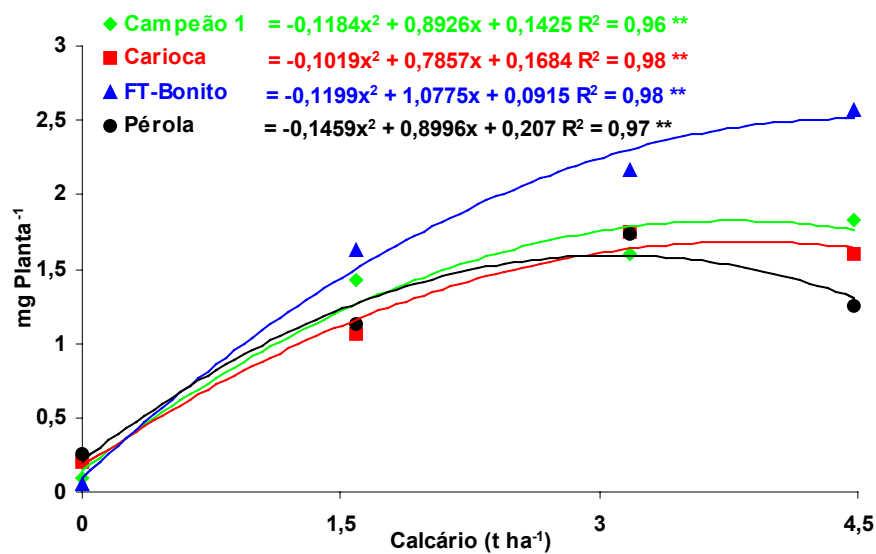


Figura 5. Matéria seca radicular de cultivares de feijão em função de doses de calcário

O aumento do comprimento das raízes decorrente da calagem e, conseqüentemente, da superfície radicular do feijoeiro torna-se interessante, uma vez que, com

maior superfície de contato, as raízes têm melhores condições de absorção de nutrientes do solo, podendo resultar em estabilidade de produção.

#### **4.2. Produção de matéria seca da parte aérea e total, e número de nós por planta.**

Na Tabela 6 estão contidos os resultados da análise de variância da matéria seca da parte aérea, total e número de nós por planta. Pode ser observado que as cultivares apresentaram diferenças significativas para matéria seca total e número de nós por planta. A FT-Bonito obteve os maiores valores de matéria seca total diferindo da Pérola, e para a variável número de nós por planta a Carioca foi a que apresentou os melhores resultados, bem como, os menores valores foi observado na Pérola que tem habito de crescimento diferente (tipo II-III) das cultivares estudadas (tipo III). As doses de calcário afetaram as produções de matéria seca da parte aérea e total e, o números de nós por planta. Contudo, somente a variáveis número de nós por planta foi influenciado pela interação entre os fatores.

Assim, a calagem proporcionou aumentos significativos nas variáveis matéria seca da parte aérea e matéria seca total, que responderam de forma quadrática às doses de calcário, atingindo os valores máximos a partir da dose 3,3 até 3,1 t ha<sup>-1</sup> do corretivo (Figuras 6 e 7 ). Os resultados obtidos no ganho de matéria seca da parte aérea corroboram com os verificados por Fageria et al. (1989), Vale (1994) e Vale (1998).

O aumento nos valores das duas variáveis decorrente da calagem está diretamente relacionado com o crescimento radicular (Figuras 1, 2, 3 e 5), uma vez que com o maior desenvolvimento de raízes, provavelmente, ocorreu incremento na absorção de nutrientes, acarretando em desenvolvimento da parte aérea.

TABELA 6. Valores médias de matéria seca parte aérea, matéria seca total e número de nó por planta, no período de florescimento de cultivares de feijão em função de doses de calcário. Botucatu (SP)-2001.

	Matéria seca		Nós n <sup>0</sup> planta <sup>-1</sup>
	Parte Aérea -----g planta <sup>-1</sup> -----	Total -----	
Cultivares			
Campeão 1	3,19 a	4,43 ab	8,37 b
Carioca	3,43 a	4,59 ab	10,10 a
FT-Bonito	3,35 a	5,06 a	7,66 bc
Pérola	3,06 a	4,26 b	7,12 c
	----- Valor de F -----		
Cultivar (C)	1,19 ns	4,05 *	19,94 **
Dose de calcário (DC)	299,12 **	276,51 **	135,19 **
C x DC	1,91 ns	1,07 ns	4,52 **
	----- Valor de F para análise de regressão do fator calagem -----		
R.L.	622,81 **	624,94 **	
R.Q.	264,59 **	204,12 **	
	Cultivar Campeão 1		
R.L.			67,35 **
R.Q.			51,65 **
	Cultivar Carioca		
R.L.			25,99 **
R.Q.			16,75 **
	Cultivar FT-Bonito		
R.L.			110,62 **
R.Q.			71,81 **
	Cultivar Pérola		
R.L.			80,64 **
R.Q.			10,04 **
C.V. (%)	14,87	14,93	13,97

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

\*\*, \* e ns, significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente.

Quanto ao número de nós por planta (Figura 8), notou-se que todas as cultivares apresentaram resposta positivas e quadráticas as dose de calcário. Na ausência da calagem a Carioca apresentou os melhores valores e as menores respostas foi observado na FT-Bonito, demonstrando ser uma cultivar ineficiência em solos pobres. Com o aumento das

doses de calcário a cultivar Carioca foi a que apresentou os melhores resultados até a dose de  $3,0 \text{ t ha}^{-1}$ .

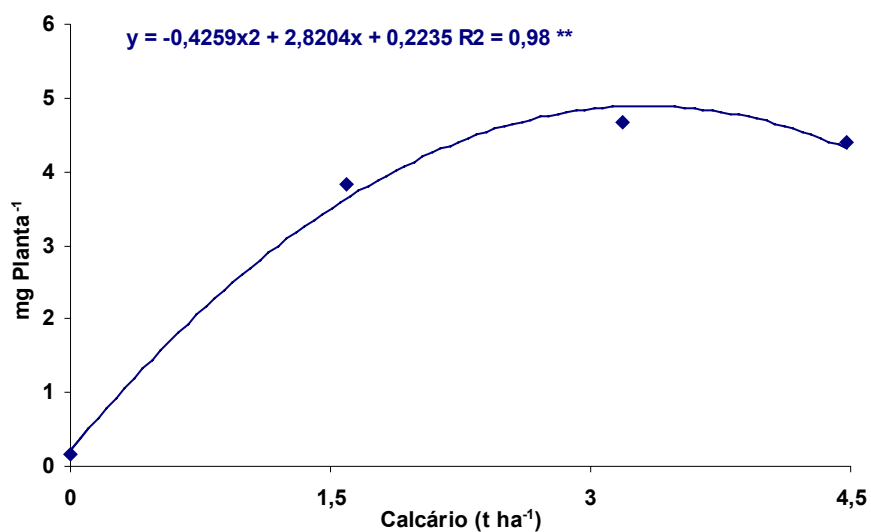


Figura 6. Matéria seca parte aérea de cultivares de feijão em função de doses de calcário

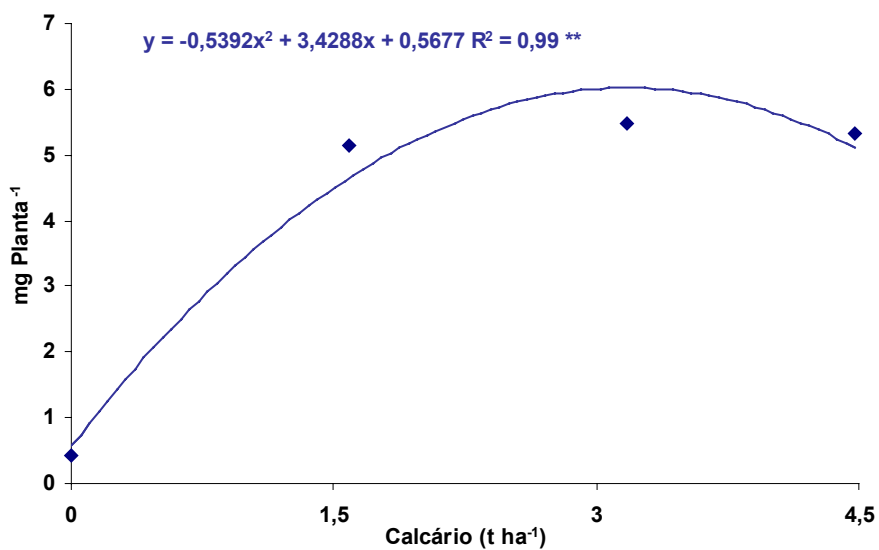


Figura 7. Matéria seca total de cultivares de feijão em função de doses de calcário.

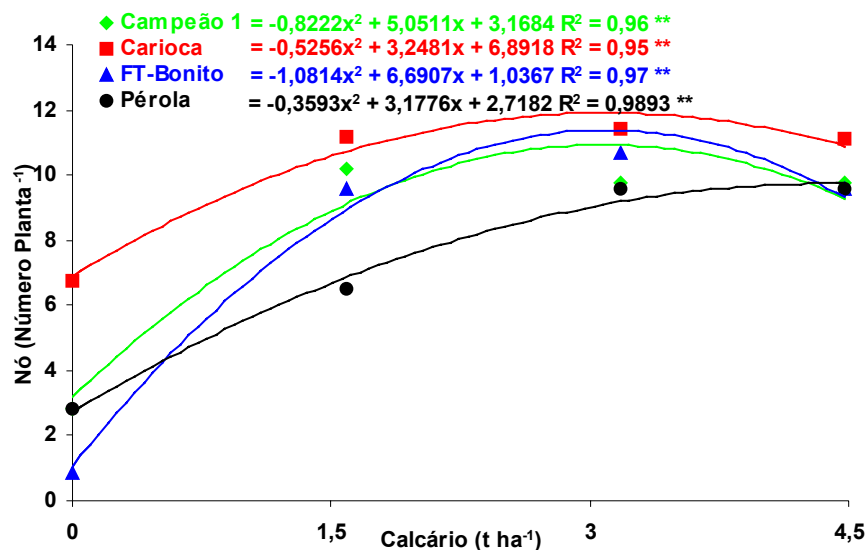


Figura 8. Quantidade de nó por planta de cultivares de feijão em função de doses de calcário

#### 4.3. Teores de nutrientes na raízes e na parte aérea.

Na Tabela 7 estão contidos os resultados da análise de variância para teores de nutrientes no sistema radicular do feijoeiro. Verificou-se que houve efeito significativo de cultivares para todos os nutrientes com exceção para P e Mg. Nota-se ainda, efeito significativo para doses de calcário e da interação entre os fatores para N, P, Ca, Mg e Zn.

Quanto aos teores de nutrientes na matéria seca da parte aérea os resultados estão contidos na Tabela 8. Constatou-se que houve efeito significativo de cultivares exceto para K, e para doses de calcário e da interação entre os fatores para N, P, K, Ca e Zn.

Sendo assim, a manutenção das letras nas média de cultivares teve o propósito de analisar a eficiência de absorção de nutrientes pelo sistema radicular e de transporte dos mesmos para a parte aérea.

TABELA 7. Teor de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e zinco em raízes, no período de florescimento de cultivares de feijão em função de doses de calcário. Botucatu (SP)-2001.

Cultivares	N	P	K	Ca	Mg	Zn
	-----g kg <sup>-1</sup> -----					mg kg <sup>-1</sup>
Campeão 1	3,57 ab	2,17 a	13,78 a	7,99 b	1,24 a	96,72 ab
Carioca	3,42 ab	2,05 a	12,98 ab	8,74 b	1,28 a	62,25 c
FT-Bonito	3,41 b	2,18 a	10,81 b	9,12 b	1,35 a	86,62 b
Pérola	3,84 a	2,21 a	10,91 b	10,83 a	1,49 a	99,06 a
	-----Valor de F-----					
Cultivar (C)	3,13 *	1,68 ns	5,12 **	14,31 **	2,40 ns	35,74 **
Dose de calcário (DC)	9,44 **	44,21 **	72,39 **	26,95 **	100 **	1494 **
C x DC	5,35 **	10,18 **	0,91 ns	10,23 **	2,74 *	39,88 **
	-----Valor de F para análise de regressão do fator calagem-----					
R.L.			191,31 **			
R.Q.			14,35 **			
			Cultivar Campeão 1			
R.L.	30,23 **	34,76 **		7,7 **	58,05 **	1032 **
R.Q.	0,41 ns	11,86 **		3,47 ns	2,15 ns	481 **
			Cultivar Carioca			
R.L.	6,57 *	0,18 ns		23,89 **	80,04 **	210 **
R.Q.	0,52 ns	7,24 **		4,57 *	1,81 ns	82 **
			Cultivar FT-Bonito			
R.L.	1,16 ns	15,52 **		0,42 ns	133,98 **	831 **
R.Q.	2,67 ns	2,89 ns		10,12 **	0,12 ns	370 **
			Cultivar Pérola			
R.L.	5,37 *	89,25 **		23,77 **	38,13 **	1118 **
R.Q.	14,78 **	9,13 **		76,72 **	2,79 ns	460 **
C.V. (%)	12,78	9,95	21,76	13,85	20,57	13,07

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

\*\*, \* e ns, significativo a 1% e 5%, e não significativo, respectivamente.

Dessa forma, analisando simultaneamente as Tabelas 7 e 8, constatou-se que a cultivar Pérola apresentou maior teor N na raiz diferindo da FT-Bonito que junto com a Carioca demonstraram maior eficiência de transporte de N para a parte aérea diferindo da Pérola. Para o P e Mg não houve diferenças entre as cultivares na eficiência de absorção pelo sistema radicular sendo que na parte aérea a cultivar Campeão 1 demonstrou mais eficiente no

transporte destes nutrientes diferindo da FT-Bonito. No entanto, as cultivares mais eficientes na absorção de K foram Carioca e Campeão 1, sendo para Ca a Pérola e para o Zn a Pérola e Campeão 1. Já quanto a eficiência de transporte constatou-se que não houve diferenças entre as cultivares para K, e as mais eficientes para Ca foram a Carioca e Pérola e para o Zn a FT-Bonito que diferiu da Carioca.

TABELA 8. Teor de nitrogênio, cálcio, magnésio, potássio, fósforo e zinco na parte aérea, no período de florescimento de cultivares de feijão em função de doses de calcário. Botucatu (SP)-2001.

Cultivares	N	P	K	Ca	Mg	Zn
	-----g kg <sup>-1</sup> -----					mg kg <sup>-1</sup>
Campeão 1	54,23 ab	9,6 a	22,66 a	8,92 b	3,82 a	83,81 ab
Carioca	54,86 a	8,28 ab	21,78 a	10,68 a	3,49 ab	65,54 b
FT-Bonito	55,53 a	7,61 b	23,54 a	9,24 b	3,24 b	95,87 a
Pérola	51,11 b	8,88 ab	22,1 a	10,59 a	3,46 ab	76,54 ab
	-----Valor de F-----					
Cultivar (C)	4,2 *	7,23 **	2,35 ns	8,77 **	6,06 **	4,53 **
Dose de calcário (DC)	70,81 **	20,59 **	26,87 **	373 **	330,30**	366 **
C x DC	5,57 **	4,68 **	10,91 **	7,2 **	0,77 ns	5,74 **
	-----Valor de F para análise de regressão do fator calagem-----					
R.L.					832,87 **	
R.Q.					130,82 **	
			Cultivar Campeão 1			
R.L.	8,66 **	34,35 **	55,39 **	184,64 **		198,3 **
R.Q.	0,01 ns	0,28 ns	88,48 **	16,12 **		94,55 **
			Cultivar Carioca			
R.L.	37,59 **	0,99 ns	12,54 **	402,96 **		89,89 **
R.Q.	10,19 **	2,05 ns	3,17 ns	12,71 **		39,72 **
			Cultivar FT-Bonito			
R.L.	112,29 **	4,74 *	0,93 ns	384,11 **		292,11 **
R.Q.	33,24 **	0,09 ns	0,19 ns	1,58 ns		146,28 **
			Cultivar Pérola			
R.L.	42,62 **	39,52 **	8,05 **	164,35 **		151,07 **
R.Q.	6,92 *	10,24 **	0,62 ns	6,35 *		70,56 **
C.V. (%)	7,9	14,68	8,30	12,46	11,09	29,89

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

\*\*, \* e ns, significativo a 1% e 5% e não significativo, respectivamente.



No sistema radicular (Figura 9) e na parte aérea (Figura 10) os teores de N reduziram em ambas as partes da planta com o aumento das doses de calcário exceto para a Pérola que aumentou seu teor na raiz. Na ausência de calagem a cultivar FT-Bonito apresentou maior teor de N na parte aérea, demonstrando ser o menos sensível a absorção do elemento em condições de elevada acidez. Esses resultados corroboram com os obtidos por Vale (1994; 1998), Quaggio et al. (1993) e Barbosa Filho & Silva (2000).

A aplicação de calcário reduziu os teores de P nas cultivares FT-Bonito e Pérola, tanto na raiz quanto na parte aérea, sendo o inverso observado para a Carioca (Figuras 11 e 12), que foi única responsiva, apesar do baixo coeficiente de determinação. Na ausência da calagem, a cultivar Pérola apresentou os maiores teores do elemento na raiz e na parte aérea. No entanto, com a calagem, a cultivar Pérola foi a que apresentou menor teor de P nas raízes e na parte aérea. Esse comportamento das cultivares permite inferir que a Carioca, provavelmente, apresenta melhor equilíbrio entre absorção e transporte de P, concomitantemente, ao crescimento, ou seja, ao maior acúmulo de matéria seca (Figuras 6 e 7), uma vez que não houve diluição dos teores de P com a calagem. Costa (2000) constatou o mesmo comportamento com a cultura da soja, ou seja, obteve aumento nos teores de P nas folhas com a calagem.

Quanto aos teores de K no sistema radicular (Figura 13), verificou-se que não foram afetados pela interação, sendo que na parte aérea (Figura 14) observou o contrario. No sistema radicular esse comportamento pode estar relacionado com a redução do  $Al^{+3}$  no solo (Tabela 4), uma vez que esse elemento interfere na absorção, no transporte e no uso do K (Foy, 1984; Carver & Ownby, 1995). Além disso, com o aumento do teor de Ca no solo (Tabela 3), em função da calagem, os teores de K na raiz podem ter sido incrementados,

já que é necessária concentrações suficientes de Ca para tornar máxima a absorção de K. Vale ressaltar ainda que, os teores de K no solo estiveram na faixa considerada como alta (Raj et al., 1996), ou seja, nas condições experimentais os teores desse elemento não foram limitantes para o desenvolvimento da planta.

Na parte aérea os teores de K apresentaram resposta positiva e linear nas cultivares Carioca e Pérola, quadrática para a Campeão 1 às doses de calcário. Essa resposta, em certo ponto é explicada através da produção de matéria seca da parte aérea (Figura 6), na qual, verificou-se resposta quadrática positiva. Assim, analisando as Figuras 6, 13 e 14, é possível inferir que com o aumento das doses de calcário houve incremento no teor de Ca no solo (Tabela 3), caracterizando assim efeito sinérgico entre o Ca e K favorecendo a absorção e o transporte do mesmo (K).

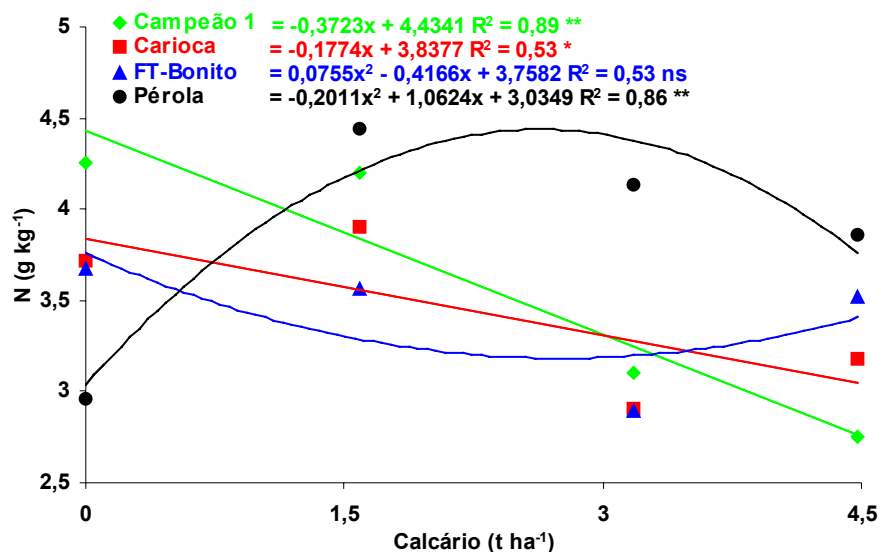


Figura 9. Teor de nitrogênio na matéria seca do sistema radicular de cultivares de feijão em função de doses de calcário.

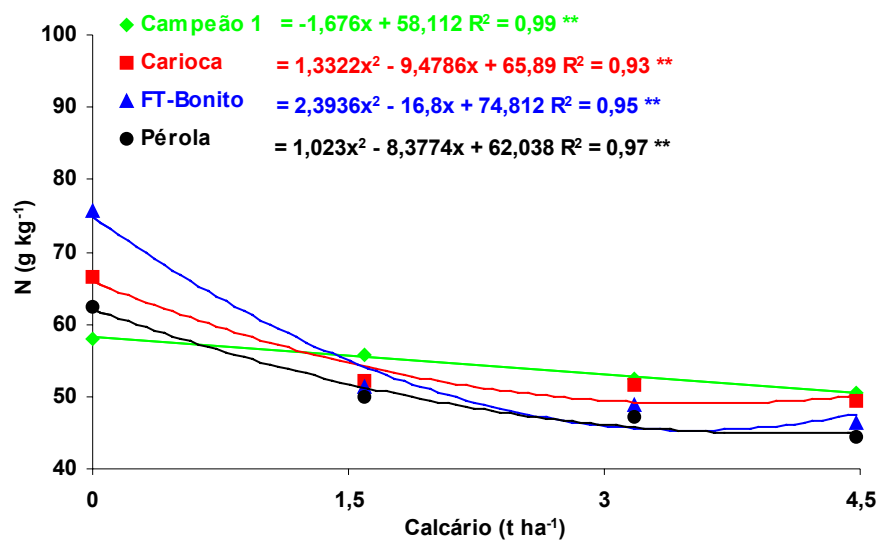


Figura 10. Teor de nitrogênio na matéria seca da parte aérea de cultivares de feijão em função de doses de calcário.

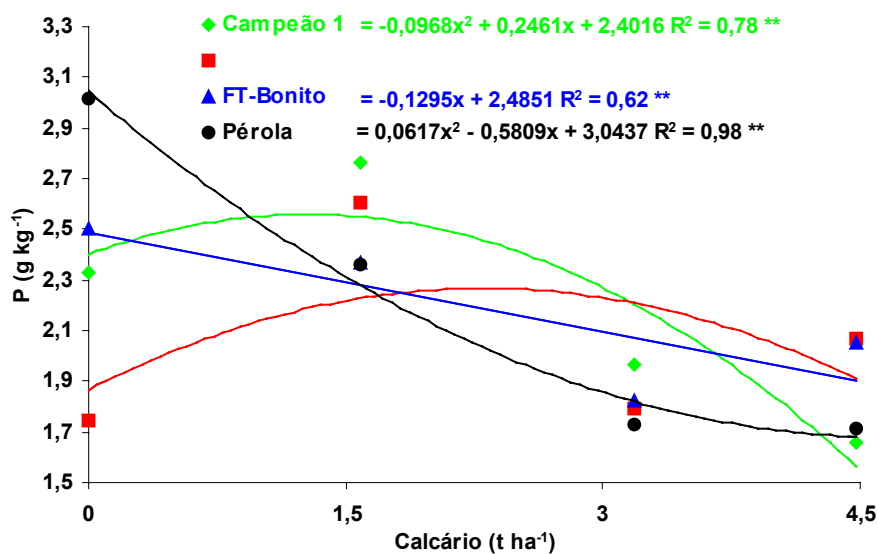


Figura 11. Teor de fósforo na matéria seca do sistema radicular de cultivares de feijão em função de doses de calcário.

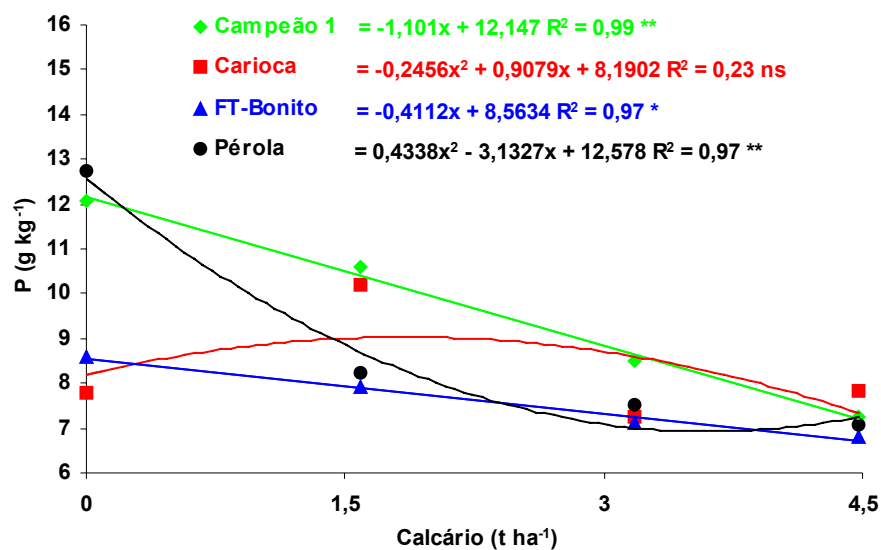


Figura 12. Teor de fósforo na matéria seca da parte aérea de cultivares de feijão em função de doses de calcário.

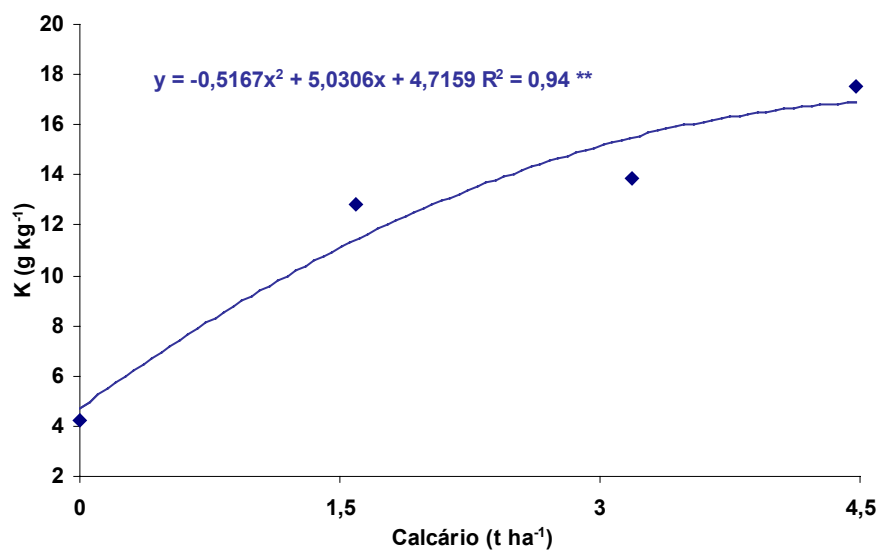


Figura 13. Teor de potássio na matéria seca do sistema radicular de cultivares de feijão em função de doses de calcário.

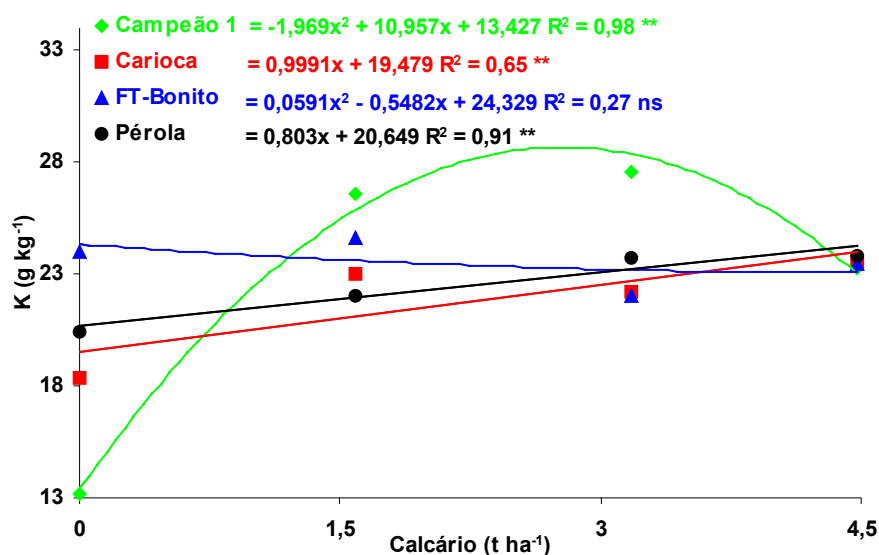


Figura 14. Teor de potássio na matéria seca da parte aérea de cultivares de feijão em função de doses de calcário.

Com relação ao Ca na raiz (Figura 15), a aplicação das doses de calcário proporcionou nas cultivares resposta negativa e quadrática. Apesar da calagem ter aumentado a disponibilidade de Ca no solo (Tabela 3) as concentrações do elemento na raiz de feijão não seguiram a mesma tendência, concordando com os resultados obtidos por Vale (1994 e 1998). Deve-se destacar que na ausência da calagem, a cultivar Pérola apresentou os maiores teores de Ca na raiz, tendo assim, maior comprimento radicular (Figura 1 e 5) e conseqüentemente melhor absorção do P (Figura 11) que é um elemento pouco móvel no solo. De uma forma geral, essa característica passa ser interessante nos cultivos em áreas marginais quanto à fertilidade do solo.

Os teores de Ca verificados no sistema radicular estiveram entre 6,8 e 16 g kg<sup>-1</sup>, sendo considerados superiores aos relatados por Oliveira & Thung (1988), que foram de 2,0 a 8,0 g kg<sup>-1</sup>.

Na parte aérea (Figura 16), em todas as cultivares, a adição das doses de calcário elevou significativamente os teores de Ca, com resposta linear para a FT-Bonito.

O efeito verificado no sistema radicular (Figura 15) e na parte aérea (Figura 16) permite inferir que a cultivar Carioca apresentou, em relação as demais, capacidade de absorção de Ca pelo sistema radicular suficiente para manter o mesmo patamar de transporte para a parte aérea, decorrendo em incremento dos teores na raiz e na parte aérea.

Outros autores relataram aumento dos teores de Ca na parte aérea do feijoeiro em função da calagem (Feitosa et al., 1980; Quaggio et al., 1985; Rosolem, 1996; Vieira, 1998 Faquim et al., 1998; Barbosa Filho & Silva, 2000; Pereira et al., 1992), no entanto, Vale (1994) obteve decréscimo na cultivar Carioca.

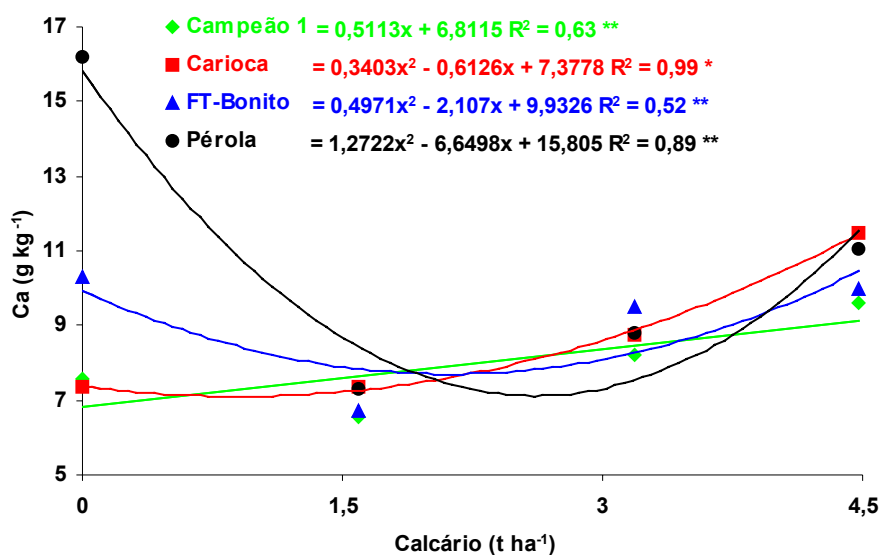


Figura 15. Teor de cálcio na matéria seca do sistema radicular de cultivares de feijão em função de doses de calcário.

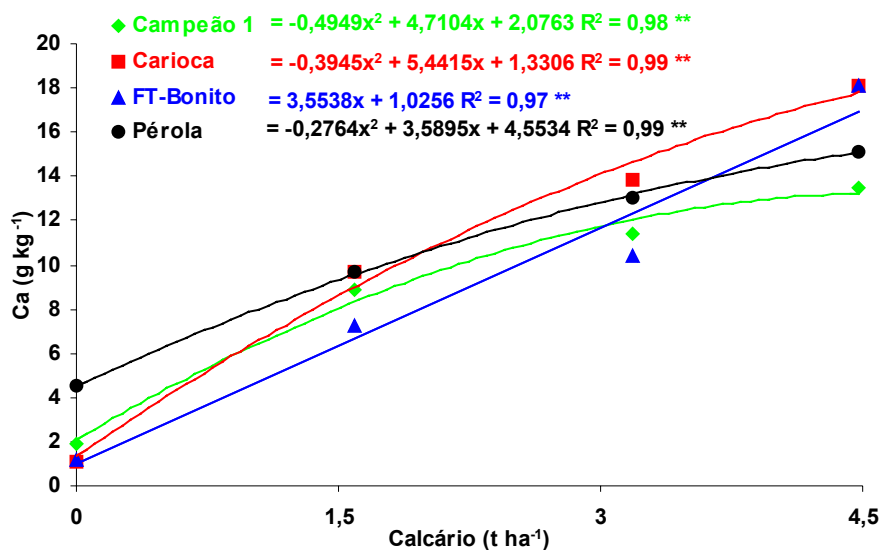


Figura 16. Teor de cálcio na matéria seca da parte aérea de cultivares de feijão em função de doses de calcário.

No tocante aos teores de Mg no sistema radicular (Figura 17), houve incremento em função das doses de calcário decorrente dos teores do elemento no solo (Tabela 3), sendo verificado resposta positiva linear. Na ausência de calagem a cultivar Pérola, obteve os maiores teores de Mg no sistema radicular e de P e Ca em ambas as partes da planta, tendo como resposta para estes valores o maior comprimento radicular (Figura 1).

Na parte aérea (Figura 18) os teores de Mg não foram afetados pela interação, assim apresentando resposta positiva e quadrática as doses de calcário até  $4,0 \text{ t ha}^{-1}$ . Resultados semelhante quanto a parte aérea, também foram obtidos por outros autores (Quaggio et al., 1985; Rosolem, 1996; Vieira, 1998; Pereira et al., 1992; Faquim et al., 1998; Barbosa Filho & Silva, 2000).

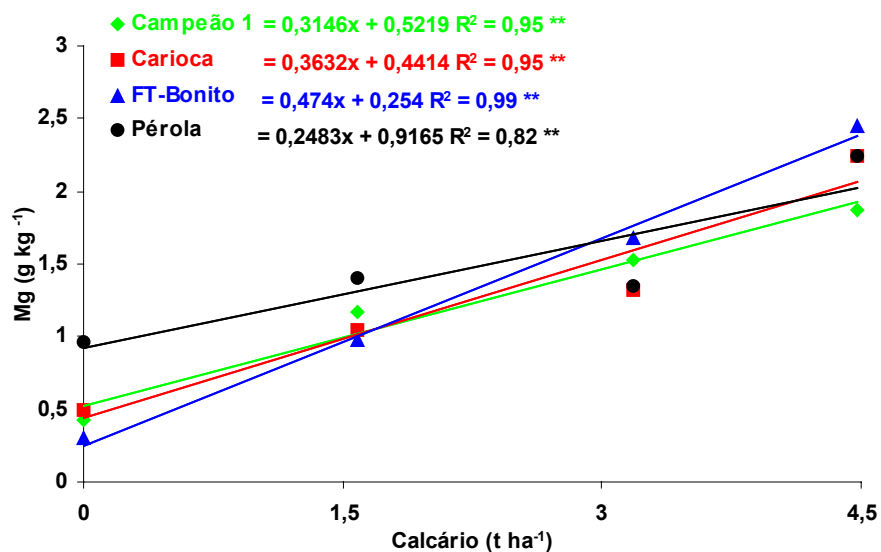


Figura 17. Teor de magnésio na matéria seca do sistema radicular de cultivares de feijão em função de doses de calcário.

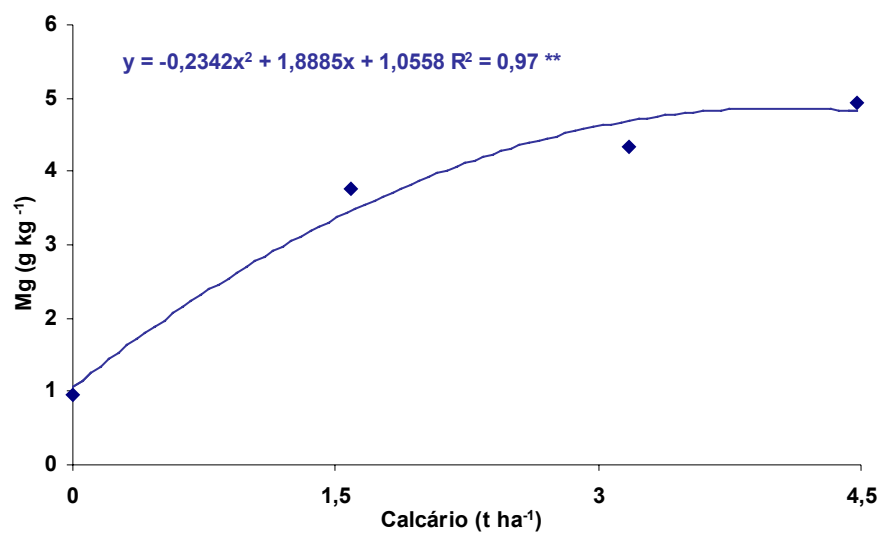


Figura 18. Teor de magnésio na matéria seca da parte aérea de cultivares de feijão em função de doses de calcário.



Os teores de Zn, tanto no sistema radicular quanto na parte aérea, foram reduzidos com o incremento das doses de calcário (Figura 19 e 20). De maneira geral, a redução verificada em ambas as partes das cultivares é decorrente do aumento de Ca e principalmente pelo Mg. Estes resultados corroboram com os obtidos por Galon et al. (1996) e Barbosa Filho & Silva (2000).

Segundo Oliveira & Thung (1988), as concentrações de zinco em raízes variam de 60,0 a 185,0 mg kg<sup>-1</sup>, sendo que no presente trabalho a aplicação de calcário promoveu redução, acarretando em teores abaixo dos supracitados.

Na cultura do feijão o efeito da calagem sobre os teores de N, Ca, Mg e Zn foram constatados por Feitosa et al. (1980) e Vale (1994 e 1998).

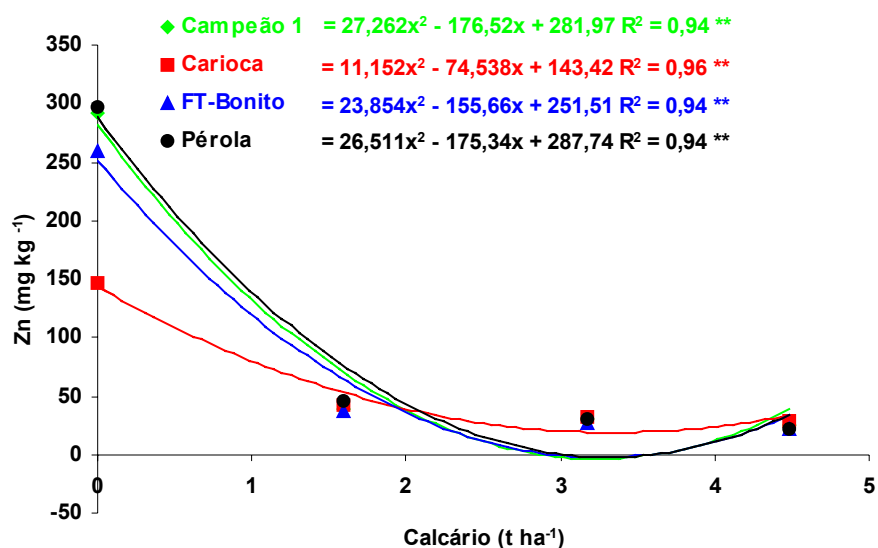


Figura 19. Teor de zinco na matéria seca do sistema radicular de cultivares de feijão em função de doses de calcário.

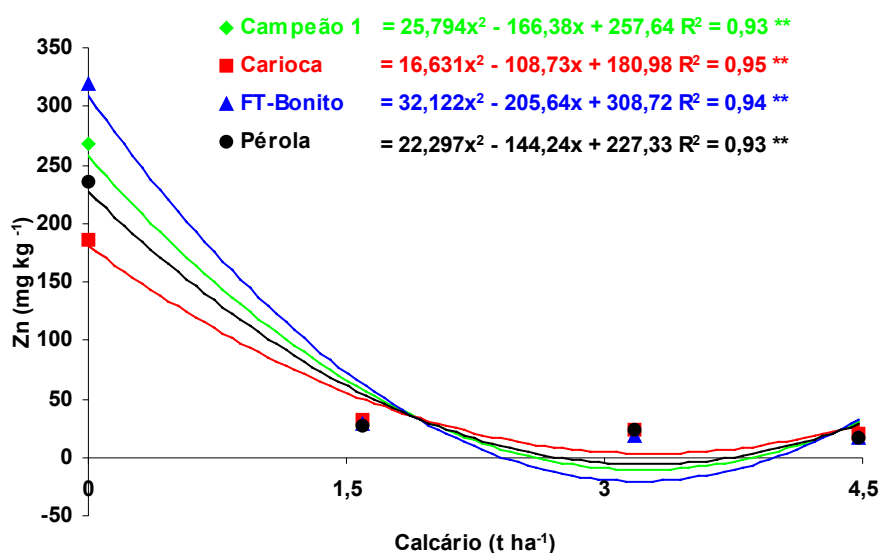


Figura 20. Teor de zinco na matéria seca da parte aérea de cultivares de feijão em função de doses de calcário.

#### 4.4. Quantidade acumulada de nutrientes nas raízes e na parte aérea

As quantidades acumuladas de nutrientes na matéria seca do sistema radicular e da parte aérea estão contidas nas Tabelas 9 e 10, respectivamente.

No sistema radicular houve efeito das cultivares para as quantidades acumuladas de N, P, K, Ca e Mg. Notou-se ainda efeito significativo das doses de calcário, e para a interação entre fatores exceto para o Zn.

Na parte aérea com exceção do K verificou-se efeito significativo para as cultivares sobre a quantidade acumulada de nutrientes, das doses de calcário para todos as variáveis e da interação entre os fatores para o N, K, Ca e Zn.

De maneira geral, deve-se destacar que a FT-Bonito apresentou as maiores quantidades acumuladas na raiz de P, K e Mg, e também para o N e Ca diferindo da Carioca e Pérola, respectivamente, sobressaindo-se também quanto ao Zn, apesar que para este

elemento não houve diferença entre cultivares (Tabela 9). Esse comportamento está diretamente relacionado com a produção de matéria seca radicular constatada nessa cultivar (Tabela 5).

TABELA 9. Quantidades acumuladas de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e zinco na raiz, no período de florescimento de cultivares de feijão em função de doses de calcário. Botucatu (SP)-2001.

Cultivares	N	P	K	Ca	Mg	Zn
	----- mg planta <sup>-1</sup> -----					ug pl <sup>-1</sup>
Campeão 1	4,05 ab	2,55 b	10,11 b	20,91 a	1,89 b	60,12 a
Carioca	3,78 b	2,36 b	10,73 b	17,52 ab	1,78 b	52,98 a
FT-Bonito	5,28 a	3,25 a	13,99 a	20,36 a	2,85 a	71,59 a
Pérola	4,35 ab	2,11 b	10,06 b	13,58 b	1,74 b	53,79 a
	----- Valor de F -----					
Cultivar (C)	3,93 *	9,24 **	11,84 **	8,69 **	9,07 **	2,26 ns
Dose de calcário (DC)	62,96 **	85,58 **	194,13 **	131,76 **	92,44 **	39,44 **
C x DC	3,27 **	5,03 **	5,58 **	2,75 *	4,31 **	1,75 ns
	----- Valor de F para análise de regressão do fator calagem -----					
R.L.						86,5 **
R.Q.						31,83 **
			Cultivar Campeão 1			
R.L.	18,67 **	27,96 **	123,97 **	118,42 **	49,71 **	
R.Q.	18,17 **	36,48 **	3,83 ns	7,19 *	0,72 ns	
			Cultivar Carioca			
R.L.	22,46 **	42,6 **	145,07 **	79,54 **	56,67 **	
R.Q.	6,81 *	11,23 **	1,99 ns	9,13 **	0,26 ns	
			Cultivar FT-Bonito			
R.L.	84,59 **	118,62 **	279,99 **	149,42 **	174,91 **	
R.Q.	4,41 *	11,77 **	8,5 **	0,45 ns	2,03 ns	
			Cultivar Pérola			
R.L.	24,97	8,84 **	55,82 **	45,79 **	30,22 **	
R.Q.	23,08	17,77 **	5,27 *	4,11 *	1,18 ns	
C.V. (%)	29,95	24,82	19,36	25,13	33,81	38,28

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

\*\* , \* e ns, significativo a 1% e 5% e não significativo, respectivamente.

A cultivar Carioca apresentou maior acúmulo de Ca na parte aérea decorrente do teor desse elemento na mesma (Tabela 8), uma vez que não houve diferença na produção de matéria seca (Tabela 6). Ainda quanto ao acúmulo N e K na parte aérea, a cultivar Carioca apresentou os maiores valores diferindo da Pérola.

TABELA 10. Quantidades acumuladas de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e zinco na parte aérea, no período de florescimento de cultivares de feijão em função de doses de calcário. Botucatu (SP)-2001.

Cultivares	N	P	K	Ca	Mg	Zn
	----- mg planta <sup>-1</sup> -----					ug pl <sup>-1</sup>
Campeão 1	168,24 a	28,02 a	81,88 a	35,93 b	14,98 a	81,25 ab
Carioca	176,47 a	29,07 a	78,56 a	47,41 a	14,83 a	95,71 a
FT-Bonito	163,47 ab	24,45 a	78,35 a	39,54 b	13,53 a	76,03 b
Pérola	143,49 b	23,31 a	71,31 b	39,24 b	13,02 a	76,14 b
	----- Valor de F -----					
Cultivar (C)	6,45 **	3,23 *	1,97 ns	5,88 **	3,14 *	4,36 **
Dose de calcário (DC)	346,03 **	114,72 **	251,8 **	238,2 **	325,1 **	57,94 **
C x DC	2,48 *	2,06 ns	2,87 **	2,19 *	1,22 ns	2,39 *
	----- Valor de F para análise de regressão do fator calagem -----					
R.L.		172,88 **			838,51 **	
R.Q.		150,29 **			133,94 **	
			Cultivar Campeão 1			
R.L.	178,74 **		130,5 **	116,8 **		6,21 *
R.Q.	95,88 **		88,83 **	9,78 **		0,57 ns
			Cultivar Carioca			
R.L.	163,11 **		119,9 **	227,4 **		4,53 *
R.Q.	100,01 **		48,28 **	7,78 **		90,11 **
			Cultivar FT-Bonito			
R.L.	142,94 **		111,6 **	193,9 **		2,66 ns
R.Q.	129,32 **		73,38 **	0,32 ns		8,74 **
			Cultivar Pérola			
R.L.	169,79 **		152,6 **	1,64 **		1,19 ns
R.Q.	52,39 **		30,92 **	8,21 **		8,55 **
C.V. (%)	13,55	23,49	16,36	19,79	15,46	21,5

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

\*\*, \* e ns, significativo a 1% e 5% e não significativo, respectivamente.

Através do desdobramento da interação doses de calcário dentro de cultivares pode observar resposta positiva ao acúmulo de nutrientes nas raízes para N (Figura 21), P (Figura 23), K (Figura 25), Ca (Figura 27) e Mg (Figura 29) e na parte aérea para N (Figura 22), K (Figura 26), Ca (Figura 28) e Zn (Figura 32).

Com relação as quantidade acumuladas de Zn na parte aérea (Figura 32), as cultivares apresentaram resposta positiva e quadrática as doses de calcário exceto a Campeão 1 que foi linear. Verificou-se ainda que, a cultivar Carioca apresentou o maior acúmulo de Zn na parte aérea com o aumento das doses de calcário até  $2,4 \text{ t ha}^{-1}$ , sendo que, estes resultados estão diretamente relacionados com o comportamento dos teores em função da calagem (Figura 20).

A cultivar FT-Bonito apresentou as maiores quantidades de N, P, K, Ca e Zn acumulado nas raízes na dose em torno de  $4,3 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário, sendo que estes resultados podem estar em relacionados com a maior produção de matéria seca observado para esta cultivar (Figura 5 e 6). Já na parte aérea a cultivar Carioca apresentou os maiores acúmulos de N, Ca e Zn e a Campeão 1 para K com o aumento das doses de calcário.

Com relação as quantidades acumuladas do Zn (Figura 31) no sistema radicular e na parte aérea para P (Figura 24) e Mg (Figura 22) não houve efeito da interação entre os fatores, observando assim efeito significativo para doses de calcário, pelo qual, proporcionou incremento de forma positiva e quadrática nas quantidades acumuladas destes nutrientes. O comportamento das cultivares com relação a quantidade acumulada de nutrientes discutidos acima estão diretamente relacionado ao acúmulo de matéria seca na raiz e na parte aérea (Figura 5 e 6).

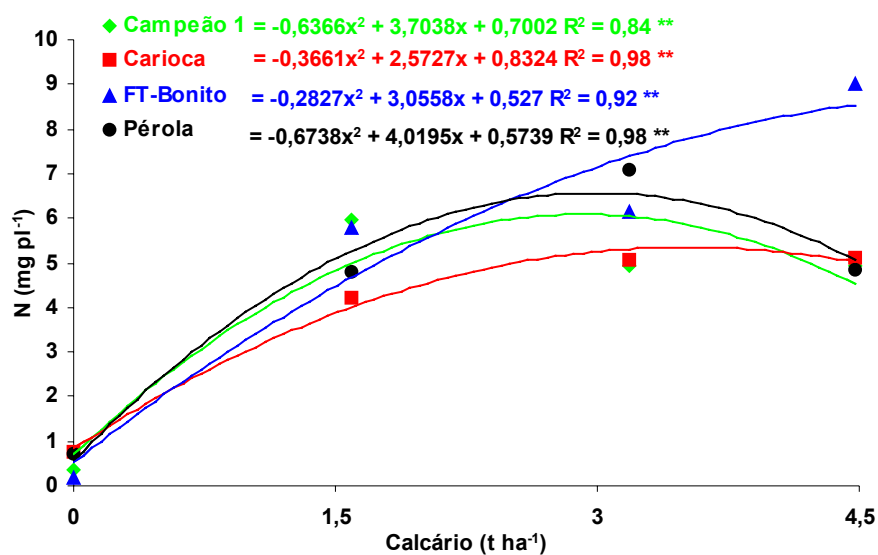


Figura 21. Nitrogênio acumulado no sistema radicular de cultivares de feijão em função de doses de calcário.

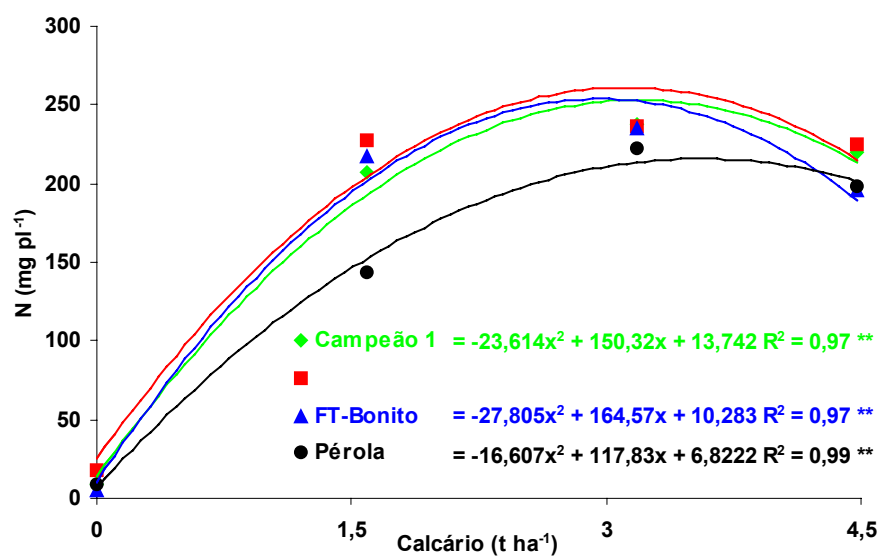


Figura 22. Nitrogênio acumulado na parte aérea de cultivares de feijão em função de doses de calcário.

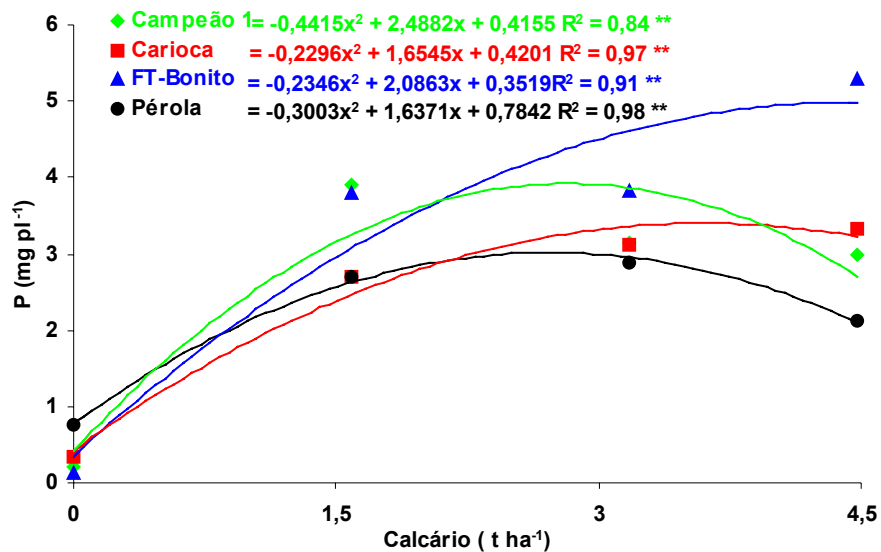


Figura 23. Fósforo acumulado no sistema radicular de cultivares de feijão em função de doses de calcário.

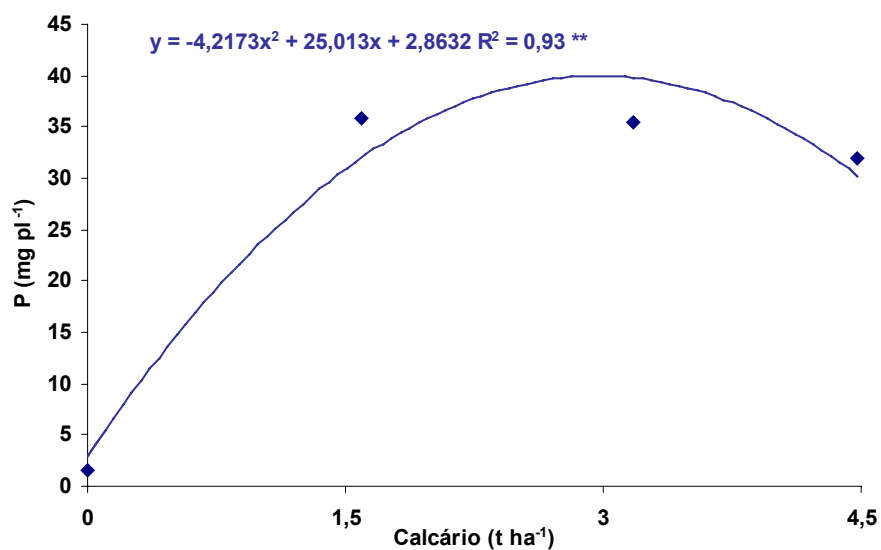


Figura 24. Fósforo acumulado na parte aérea de cultivares de feijão em função de doses de calcário.

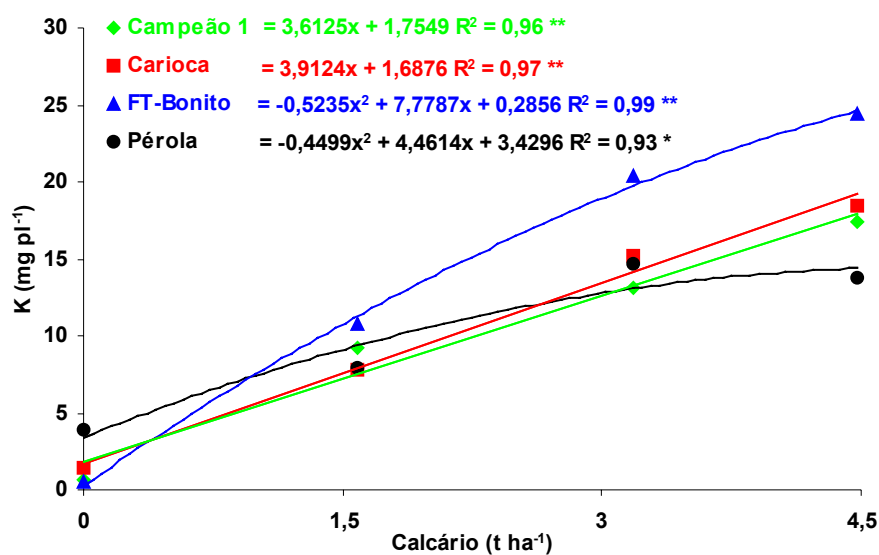


Figura 25. Potássio acumulado no sistema radicular de cultivares de feijão em função de doses de calcário.

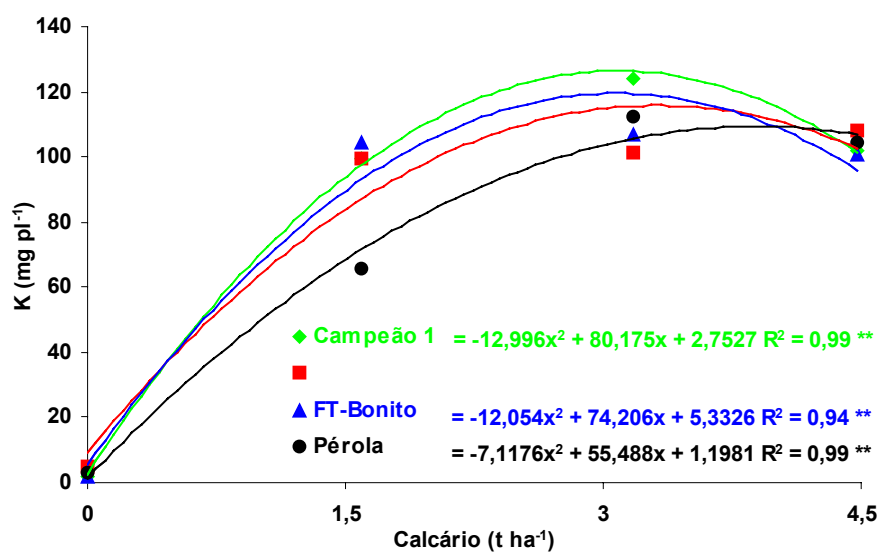


Figura 26. Potássio acumulado na parte aérea de cultivares de feijão em função de doses de calcário.



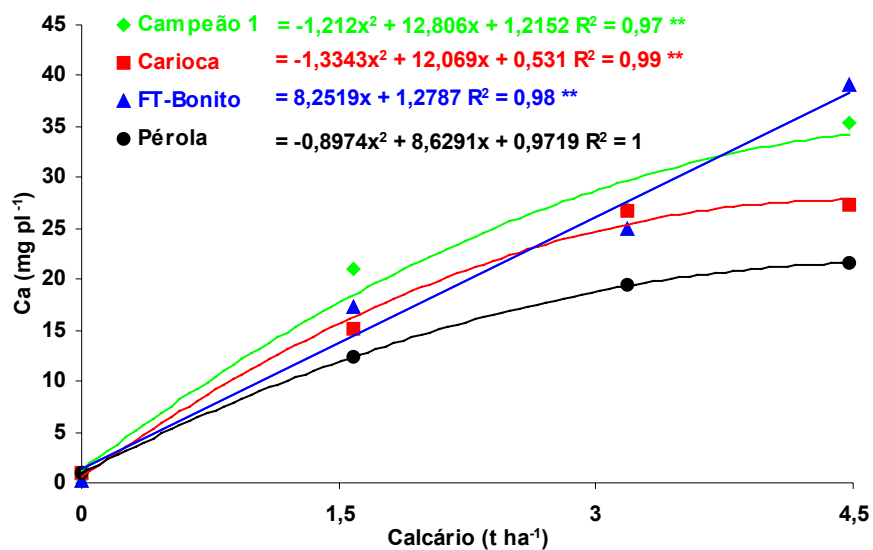


Figura 27. Cálcio acumulado no sistema radicular de cultivares de feijão em função de doses de calcário.

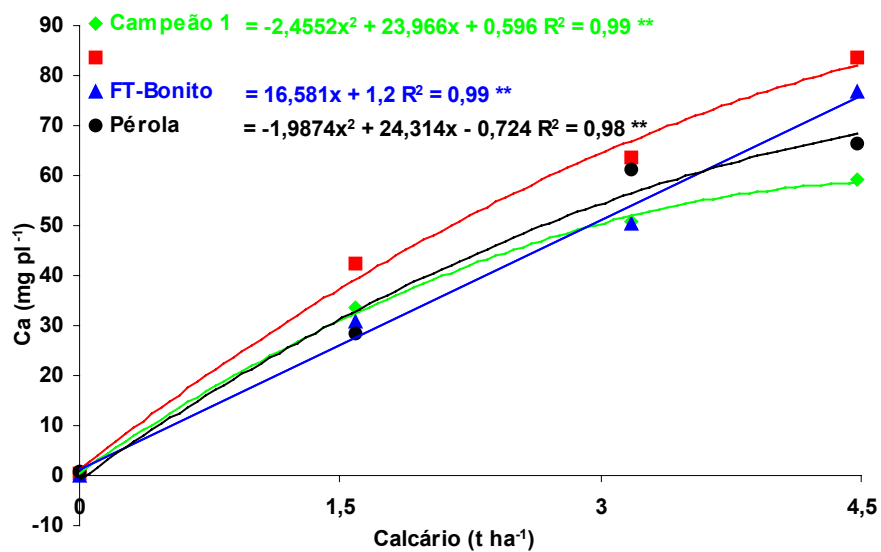


Figura 28. Cálcio acumulado na parte aérea de cultivares de feijão em função de doses de calcário.

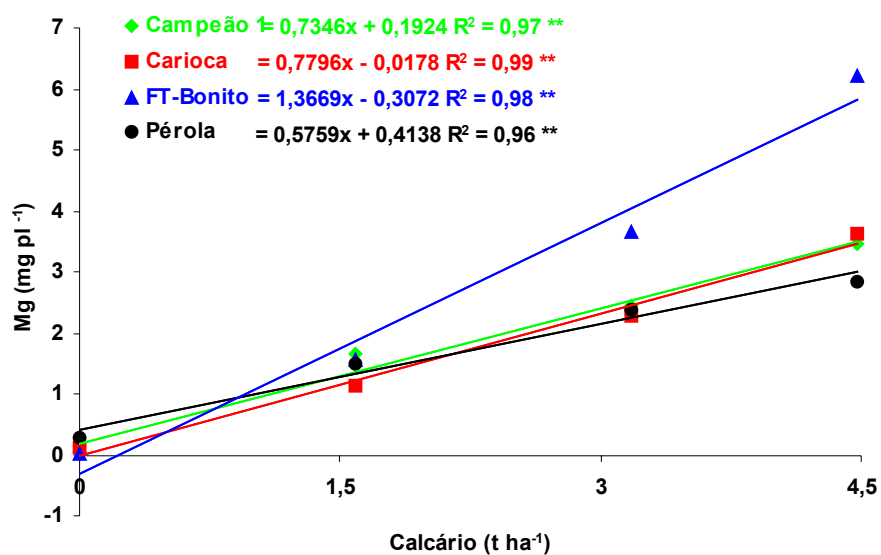


Figura 29. Magnésio acumulado no sistema radicular de cultivares de feijão em função de doses de calcário.

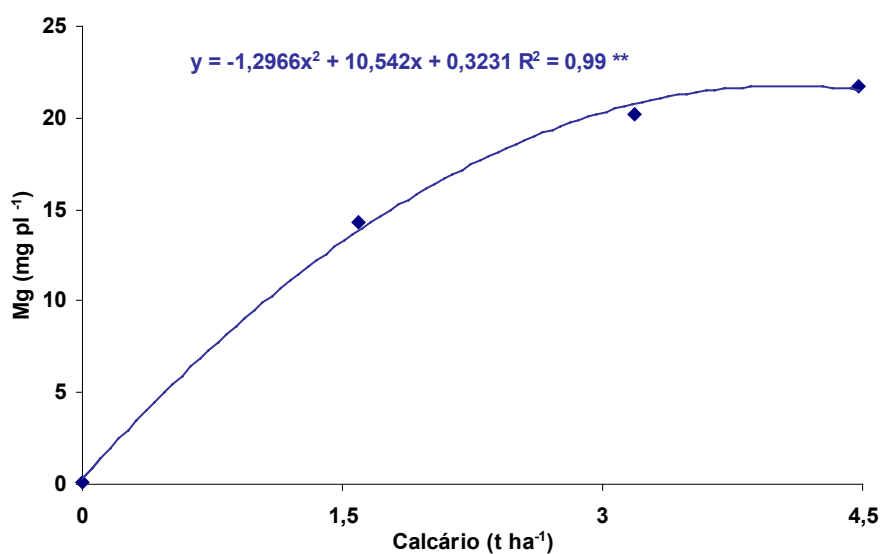


Figura 30. Magnésio acumulado na parte aérea de cultivares de feijão em função de doses de calcário.

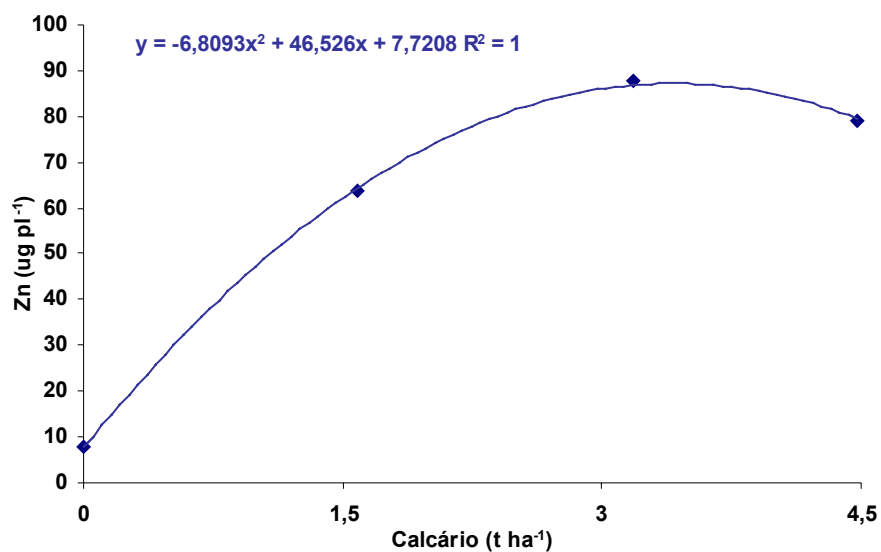


Figura 31. Zinco acumulado no sistema radicular de cultivares de feijão em função de doses de calcário.

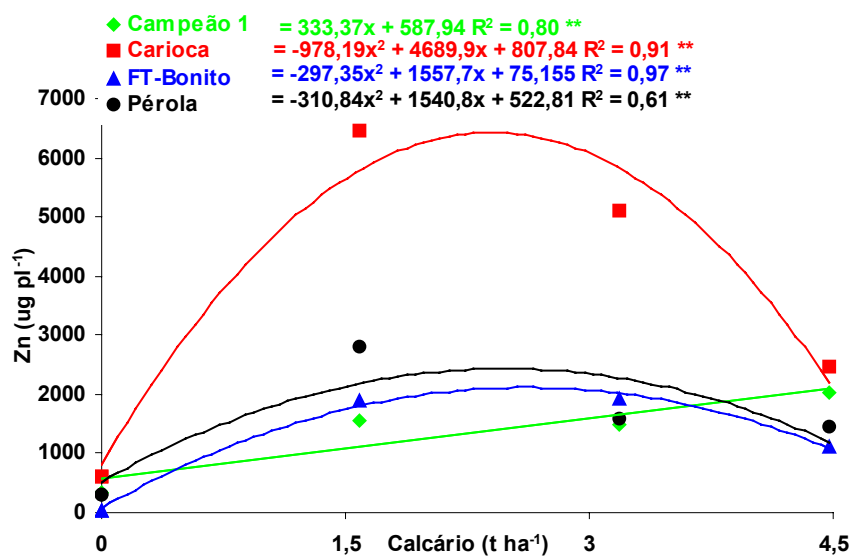


Figura 32. Zinco acumulado na parte aérea de cultivares de feijão em função de doses de calcário.

Os resultados constatados, referentes a parte aérea, corroboram com os obtidos por Rosolem et al. (1994), que verificaram na cultura do milho aumento no acúmulo de N, P, K, Ca e Mg em função de doses crescentes de calcário.

#### **4. 5. Quantidade absorvida de nutrientes, na parte aérea, por metro de raiz**

Os resultados da análise de variância para absorção de nutrientes por metro de raiz estão contidos na Tabela 11. Verificou-se efeito significativo para cultivares exceto para Mg. Com relação a calagem e a interação entre os fatores, houve efeito significativo para todos os nutrientes.

Analisando os resultados de comparação de médias entre cultivares, constatou-se apenas diferença para N, P, K, Ca e Zn, na qual a Carioca apresentou maior absorção por metro de raiz para todos os nutrientes citados (Tabela 11).

A quantidade absorvida de N (Figura 33), P (Figura 34) e K (Figura 35) por unidade de comprimento de raiz aumentou significativamente com a aplicação de calcário apresentando resposta positiva e quadrática, exceto para N na cultivar Carioca que respondeu de forma negativa e linear, atingindo os máximos valores nas doses em torno de 2,5; 2,1 e 2,7 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

A absorção de Ca (Figura 36) e Mg (Figura 37) apresentaram o mesmo comportamento, porém, resposta positiva e quadrática para todas as cultivares, com exceção da Carioca que foi linear. O aumento na eficiência de absorção de nutrientes em função da calagem é explicada pelo maior crescimento radicular que ocorreu com essa prática, tendo também comportamento quadrático (Figura 1), além de ter elevado os teores de Mg e Ca no solo (Tabela 3), justificando os valores máximos em doses superiores as relatadas para N, P e K.

Na ausência de calagem a cultivar Carioca apresentou maior absorção de nutrientes por metro de raiz sendo que o menor valor foi verificado na Pérola como pode ser observado nas Figuras 33, 34, 35 e 37. Através destes resultados pode se inferir que o sistema radicular da Carioca é mais eficiente na absorção e no transporte de N, P, K, Ca e Mg em comparação as demais cultivares, sendo que a Pérola demonstrou ser a menos eficiente tanto na absorção quanto no transporte de nutrientes (Figuras 1 e 5).

TABELA 11. Quantidade de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e zinco absorvidos por metro de raiz, no período de florescimento de cultivares de feijão em função de doses de calcário. Botucatu (SP)-2001.

Cultivares	N	P	K	Ca	Mg	Zn
	----- mg m <sup>-1</sup> -----					μg m <sup>-1</sup>
Campeão 1	1,31 b	0,23 ab	0,56 ab	0,22 b	0,09 a	1,73 ab
Carioca	1,82 a	0,28 a	0,72 a	0,35 a	0,11 a	2,09 a
FT-Bonito	1,33 b	0,19 b	0,59 ab	0,24 b	0,09 a	1,46 ab
Pérola	1,15 b	0,19 b	0,55 b	0,29 ab	0,09 a	0,86 b
	----- Valor de F -----					
Cultivar (C)	5,95 **	5,05 **	3,42 *	6,49 **	2,57 ns	3,71 *
Dose de calcário (DC)	4,33 **	10,18 **	23,06 **	62,28 **	65,96 **	40,54 **
C x DC	3,06 **	2,78 *	3,24 **	2,86 **	3,34 **	3,11 **
	-----Valor de F para análise de regressão do fator calagem-----					
R.L.						
R.Q.						
				Cultivar Campeão 1		
R.L.	0,00 ns	2,22 ns	5,12 *	19,31 **	25,4 **	38,49 **
R.Q.	1,86 ns	2,64 ns	15,74 **	4,93 *	12,89 **	14,95 **
				Cultivar Carioca		
R.L.	3,25 ns	0,15 ns	1,39 ns	81,66 **	50,01 **	16,09 **
R.Q.	0,62 ns	1,48 ns	0,32 ns	0,92 ns	3,67 ns	18,36 **
				Cultivar FT-Bonito		
R.L.	0,00 ns	0,32 ns	2,11 ns	31,64 **	20,84 **	22,08 **
R.Q.	13,47 **	13,97 **	26,06 **	9,93 **	36,76 **	6,29 *
				Cultivar Pérola		
R.L.	7,82 **	5,29 *	24,34 **	48,4 **	47,72 **	1,57 ns
R.Q.	5,59 *	5,31 *	8,93 **	4,08 *	11,43 **	0,19 ns
C.V. (%)	33,72	34,09	27,92	32,14	27,44	69,76

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

\*\*, \* e ns, significativo a 1% e 5% e não significativo, respectivamente.

Quanto ao Zn (Figura 38), a aplicação de calcário reduziu significativamente a eficiência de absorção nas cultivares Campeão 1, Carioca e FT-Bonito. Esse resultado é decorrente da redução dos teores do elemento na parte aérea (Figura 20), que provavelmente foi proporcionalmente maior que o incremento que a calagem acarretou ao comprimento radicular (Figura 1). Vale ressaltar, ainda, que na ausência da calagem, a cultivar Carioca apresentou maior eficiência em relação as demais, sendo o triplo da verificada para a Pérola.

Rosolem et al. (2000) verificaram que a calagem na cultura do algodão promoveu aumento significativo na absorção por metro de raiz de P, Ca e Mg. Dessa forma, os resultados obtidos no presente trabalho corroboram com os verificados pelos autores supracitados.

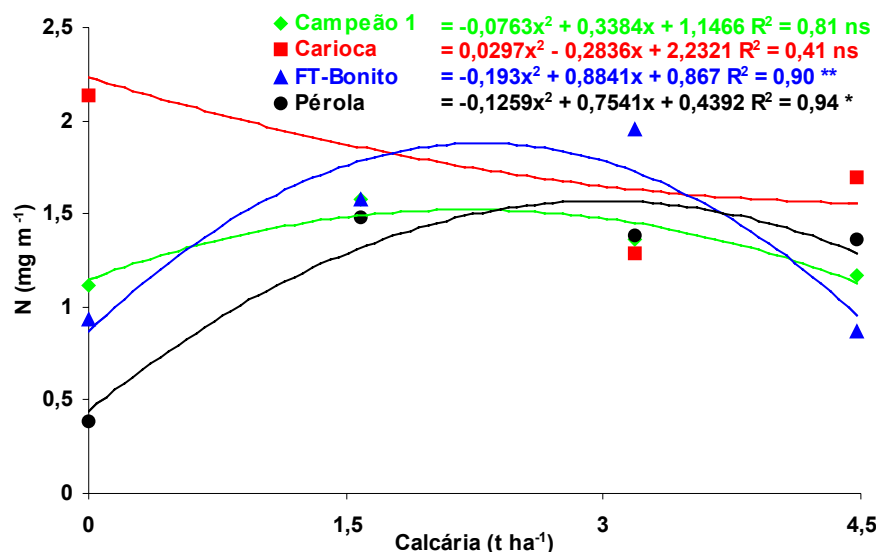


Figura 33. Nitrogênio absorvido por metro de raiz de cultivares de feijão em função de doses de calcário.

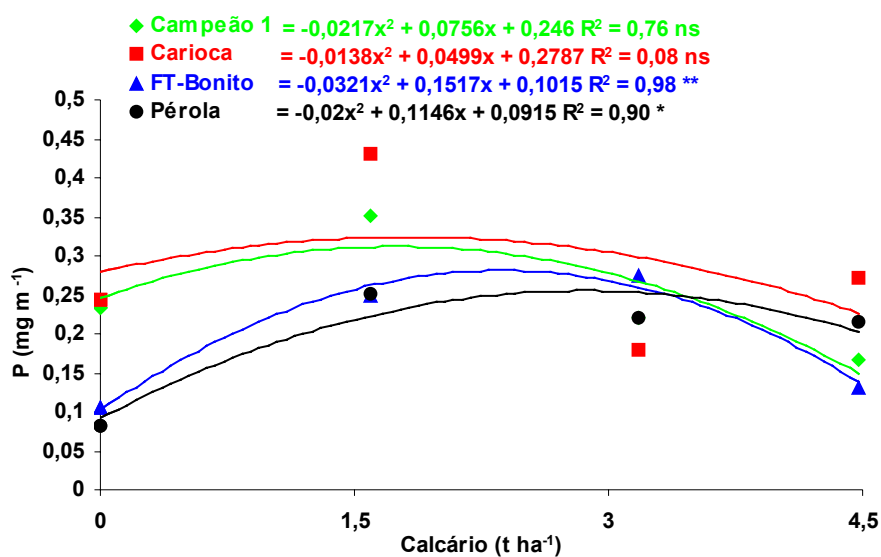


Figura 34. Fósforo absorvido por metro de raiz de cultivares de feijão em função de doses de calcário.

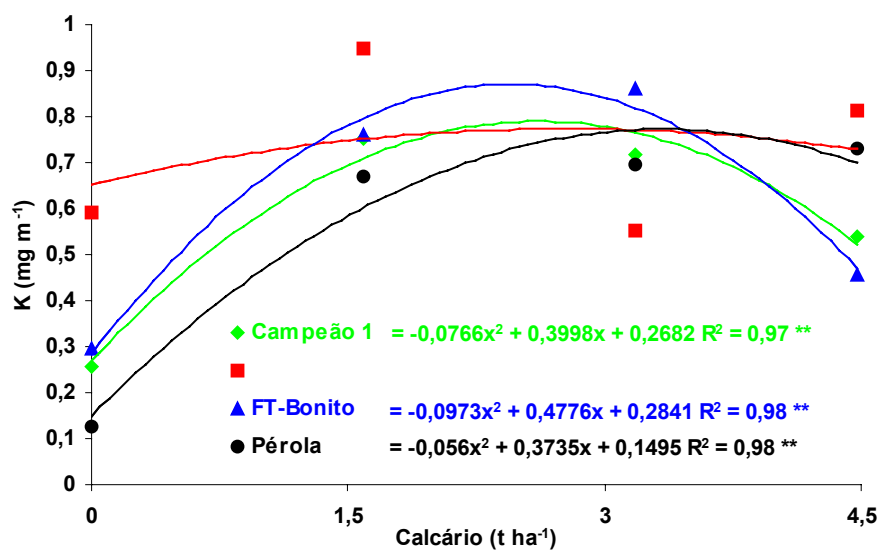


Figura 35. Potássio absorvido por metro de raiz de cultivares de feijão em função de doses de calcário.

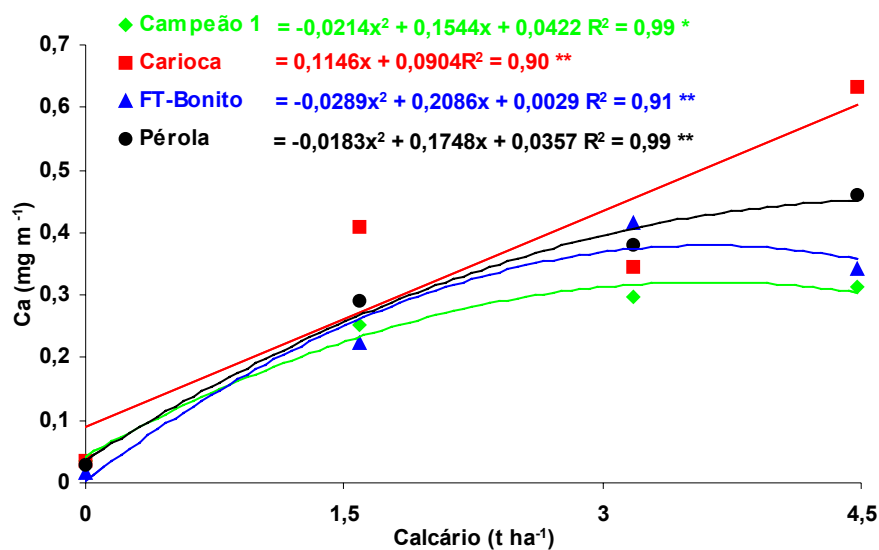


Figura 36. Cálcio absorvido por metro de raiz de cultivares de feijão em função de doses de calcário.

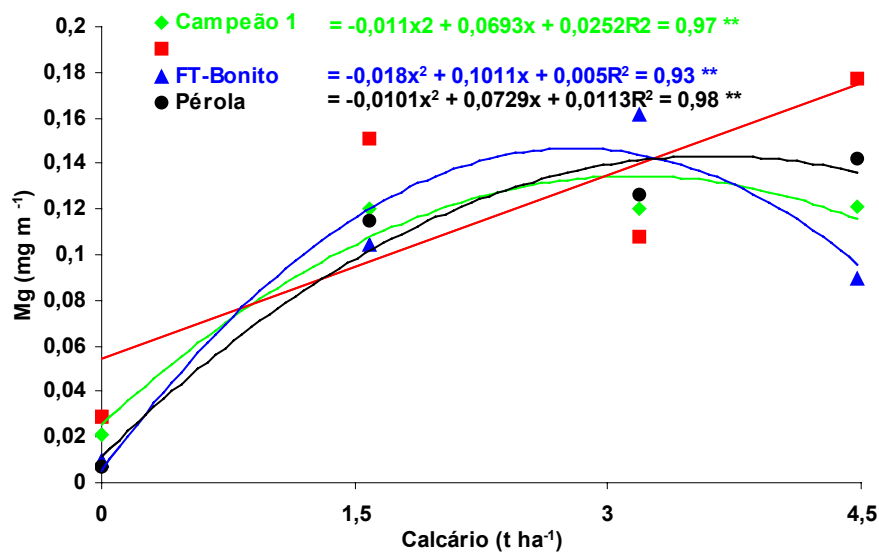


Figura 37. Magnésio absorvido por metro de raiz de cultivares de feijão em função de doses de calcário.



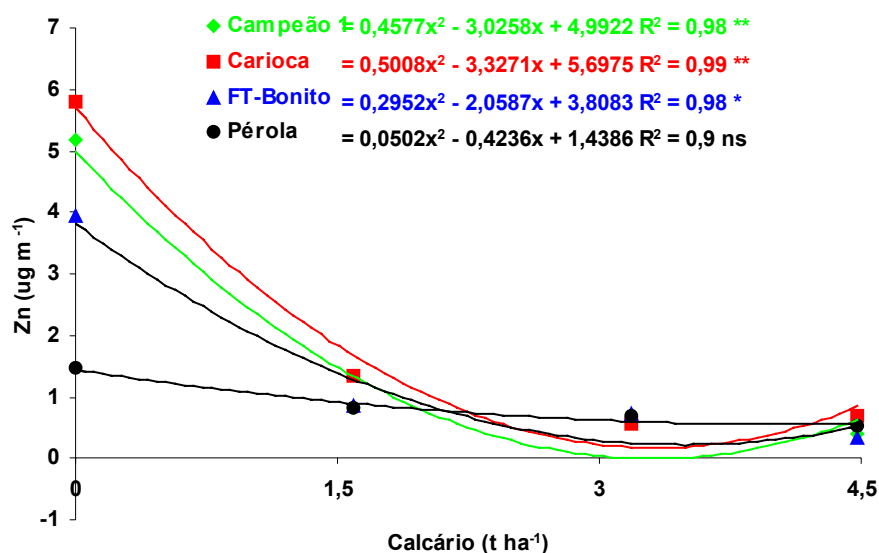


Figura 38. Zinco absorvido por metro de raiz de cultivares de feijão em função de doses de calcário.

#### 4. 6. Eficiência de utilização do cálcio e magnésio

Com relação a eficiência de utilização do cálcio, verificou-se que houve efeito dos fatores e da interação (Tabela 12). Desdobrando a interação doses dentro de cultivares (Figura 39), constatou-se que na ausência de calagem a Carioca e a FT-Bonito apresentaram maior eficiência na utilização de Ca. Contudo, com o aumento das doses de calcário a eficiência de todas as cultivares foi reduzida, sendo mais acentuado nas cultivares mencionadas acima.

Quanto ao Mg (Tabela 12), verificou-se efeito significativo, apenas, para o fator doses de calcário. Entretanto, através do teste de comparação de médias, mesmo não havendo diferenças significativas entre as cultivares, a Campeão 1 apresentou menor eficiência na utilização desse nutriente. Já a calagem reduziu a eficiência de utilização do Mg (Figura 40)

Pode se inferir que plantas sob baixa disponibilidade de cálcio e magnésio aumentam a eficiência na produção de matéria seca por unidade do elemento, lançando mão, assim de uma estratégia de sobrevivência. Esses resultados corroboram com os observados por Crusciol (2001), que verificou maior eficiência de utilização de P por cultivares de arroz sob baixa disponibilidade do elemento.

TABELA 12. Valores médias da relação quantidade de matéria seca acumulada/unidade de cálcio acumulado (MSPA/Ca) e para relação quantidade de matéria seca acumulada/unidade de magnésio acumulado (MSPA/Mg), no período de florescimento de cultivares de feijão em função de doses de calcário. Botucatu (SP)-2001.

Cultivares	MSPA/Ca	MSPA/Mg
	-----mg MSPA/mg de nutriente-----	
Campeão 1	208,52 b	391,01 a
Carioca	288,45 a	454,06 a
FT-Bonito	281,08 a	501,79 a
Pérola	117,74 c	468,54 a
	-----Valor de F -----	
Cultivar (C)	43,84 **	2,14 ns
Dose de calcário (DC)	520,25 **	191,41 **
C x DC	43,12 **	0,98 ns
	-----Valor de F para análise de regressão do fator calagem-----	
R.L.		399,65 **
R.Q.		164,27 **
		Campeão 1
R.L.	196,54 **	
R.Q.	78,73 **	
		Carioca
R.L.	634,71 **	
R.Q.	278,71 **	
		FT-Bonito
R.L.	516,21 **	
R.Q.	185,27 **	
		Pérola
R.L.	21,79 **	
R.Q.	5,01 *	
C.V. (%)	21,43	27,95

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

\*\*, \* e ns, significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente.

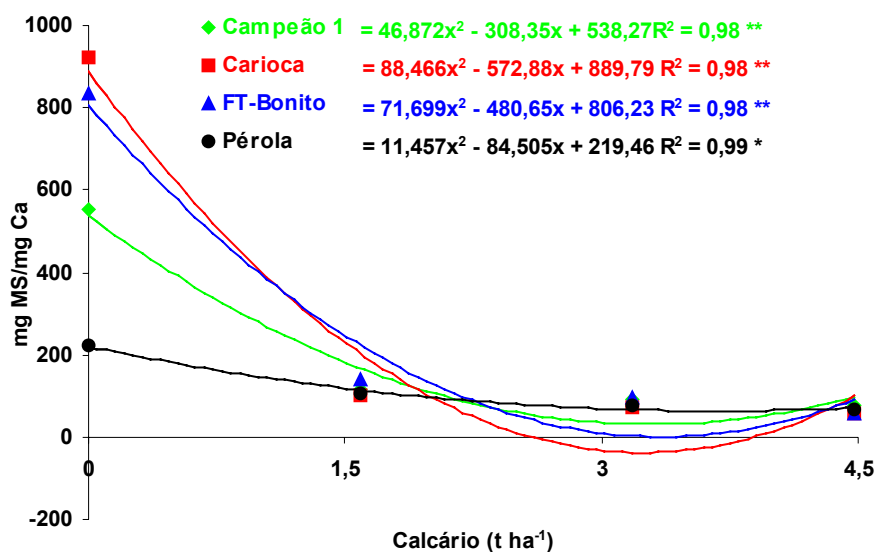


Figura 39. Relação quantidade de matéria seca acumulada/unidade de cálcio (MSPA/Ca), em função de doses de calcário.

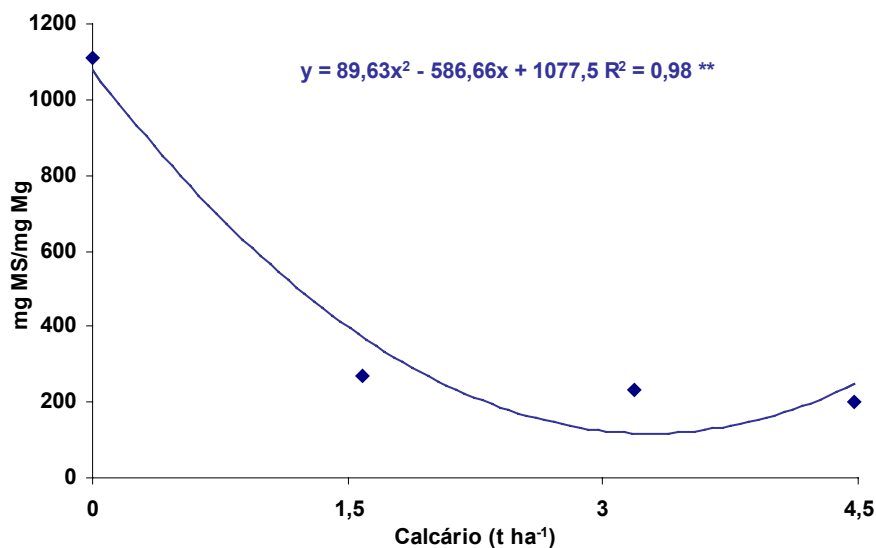


Figura 40. Relação quantidade de matéria seca acumulada/unidade de magnésio (MSPA/Mg), em função de doses de calcário.

## 5. CONCLUSÕES

- As cultivares de feijão apresentaram comportamentos diferentes quanto ao crescimento radicular;
- Existe comportamento diferencial das cultivares quanto a capacidade de absorção e transporte de nutrientes, destacando-se a Carioca em relação a N, P, K Ca e Zn;
- Na ausência de calagem a cultivar Carioca apresenta melhor capacidade de absorção e transporte de N, P, K Ca Mg e Zn;
- A calagem promove aumento do sistema radicular e da parte aérea das cultivares, bem como da quantidade de nutrientes acumulados;
- Sob baixa disponibilidade de cálcio e magnésio as cultivares apresentam maior eficiência na utilização destes nutrientes na produção de matéria seca;

- O feijoeiro em condições de elevada acidez reduz o diâmetro radicular às custas do crescimento em comprimento como meio de encontrar os nutrientes de maneira mais eficiente.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, F., MOORE, B. L. Chemical factors affecting root growth in subsoil horizons of costal plant. **Soil Sci.**, v.47, p.99-102, 1983.

ADAMS, F., PERSON, R. W. Differential response of cotton and peanuts to subsoil acidit. **Agron. J.**, v.62, p.9-12, 1970.

ALVES, V. G., ANDRADE, M. J. B., CORRÊA, J. B.D., MORAES, A. R. SILVA, M. V. Crescimento e produção de vagens do feijoeiro em diferentes graus de compactação e classes de solos. **Cênc. Agrotec.**, v.25, n.5, p.1051-1062, 2001.

ARAÚJO, A. P. Eficiência vegetal de absorção e utilização de fósforo, com especial referência ao feijoeiro. In: NOVAIS, R. F., ALVAREZ, V. V. H., SCHAEFER, C. E. G. R. (Eds.). **Tópicos em ciência do solo. Viçosa: SBCS**, v.1, 2000. p.163-212.

BABER, S. A. **Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach**. Wilelley Inerscience Publishers, New York, 1984.

BARBOSA FILHO, M. P., SILVA, Q. F. Adubação e calagem para cultura do feijoeiro irrigados em solos do cerrado. **Pesqui. Agropec. Bras.**, v.35, n.7, p.1317-1324, 2000.

BARBOSA FILHO, M. P., SILVA, Q. F. Aspectos agro-econômicos da calagem e da adubação nas culturas de arroz e feijão irrigados por aspersão. **Pesqui. Agropec. Bras.**, v.29, n.9, p.1657-1667, 1994.

BARELLI, M. A. A., VIDIGAL, M. C. G., JÚNIOR, A. T. A., VIDIGAL FILHO, P. S., SCAPIM, C. A. Combining ability among six common bean cultivar adapted to the North West region of Paraná State, Brazil. **Bragantia**, v.59, n.2, p.159-164, 2000.

BATAGLIA, O. C., FURLANI, A. M. C., TEIXEIRA, J. P. F., FURLANI, P. R., GALLO, J. R. Métodos de análise química de plantas. **Instituto Agronômico**, n.78, p.1-48, 1983.

CAIRES, E. F., ROSOLEM, C. A. Root growth of peanut cultivares and soil acidity. In: WRIGHT, R. J., BALIGAR, V. C., MURRMANN, R. P. (Ed.), **Plant and Soil**, 1991, p.239-244.

CRUSCIOL, C. A. C. **Crescimento radicular, nutrição e produção de cultivares de arroz de terras altas em função da disponibilidade hídrica e de fósforo**. Botucatu, 2001, 111p, Dissertação (Livre-Docência em Agricultura), Faculdade de Ciência Agrônômica, Universidade Estadual Paulista, “Júlio de Mesquita Filho”.

DIAS, L. E., CARVALHO, L. J. C. B., RITCHEY, K. D. Avaliação da deficiência de Ca em diferentes solos do cerrado, por meio de crescimento radicular. **Ceres**, v.33, p.102- 109, 1985.

DOURADO NETO, D., FANCELLI, A. L. **Produção de feijão**. Guaíba: Agropecuária. 2000, p.386.

DYNIA, J. F., MORAES, J. F. V. Calagem, adubação com micronutrientes e produção de arroz irrigado e feijoeiro em solos de várzea. **Pesqui. Agropec. Bras.**, v.6, n.6, p.831-838, 1998.

**EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA**. Centro nacional de pesquisa de solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: 1999, 421p.



**EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA.** In:

Cultivares de feijão: (<<http://www.cnpaf.embrapa.br/pesquisa/perola.htm>). Acesso em: 10 de abril de 2002.

FAGERIA, N. K., BALIGAR, V. C., WRIGHT, R. J. Growth and nutrient concentrations of alfalfa and bean as influenced by soil acidity. **Plant and Soil**, p.331-334, 1989.

FAGERIA, N. K. Níveis adequados de calcário e de saturação por base na produção de feijão em solos de terra alta. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO. 6, 1999. Salvador, BA., **Resumos**. Santo Antônio de Goiás, EMBRAPA/Arroz e Feijão, 1999, p.829-841.

FAQUIN, V., ANDRADE, C. A. B., FURLANI NETO, A. E., ANDRADE, A. T., CURTI. Resposta do feijoeiro a aplicação do calcário em solos de várzea. **Rer. Bras. Ciênc. Solo**. v.22, n.3, p.651-660, 1998.

FEITOSA, C. T., ROZELLI JÚNIOR, P., ALMEIDA, L. D.A., VEIGA, A. A., HIROCE, R., JORGE, J. P. N. Adubação NP para o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) na presença e na ausência de calcário. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v.4, n.3, p.156-159, 1980.

FT PESQUISA E SEMENTES. **O agricultor produz mais e a dona de casa ganha mais qualidade**. Ponta Grossa- PR, 1999. (Folheto).

GALON, J. A., BELLINGIERI, J. C., ALCARDE, J. C. Efeito de modos e épocas de aplicação de gesso e calcário sobre a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Carioca-80. **Sci. Agr.**, v.54, n.1, p.119-125, 1996.

QUAGGIO, J. A., MASCARENHAS, H. A. A., BATAGLIA, O. C. Resposta da soja à aplicação de doses crescentes de calcário em Latossolo Roxo distrófico de cerrado- Efeito residual. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v.5,n. 1, p.113-118, 1982.

QUAGGIO, J. A., RAIJ, B. van, GALLO, P. B. Resposta da soja á aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesqui. Agropec. Bras.**, v.28, n. 3, p.375-383, 1993.

QUAGGIO, J. A., SAKAI, M., ISHIMURA, I., SAES, L. A., BATAGLIA, O. C. Calagem para rotação feijão milho verde em solos orgânicos do vale do rio Ribeira de Iquape (SP). **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v.9, n.3, p.255-262, 1985.

GUIMARÃES, C. M., BRUNINI, O., STONE, L. F. Adaptação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca. Densidade e eficiência radicular. **Pesqui. Agropec. Bras.**, v.31, n.6, p.393-399, 1996.

HARPER, J. L., JONES, M., SACKVILLE-HAMILTON, N. R. The evolution of roots and the problems of analysing their behaviour. In: ATKINSON, D. (Ed.). **Plant root growth: na ecological perspective**, 1991. p.3-22.

HIROCE, R., GALLO, J., MASCARENHAS, H. A. A. Analise foliar em feijoeiro. II Diagnose da nutrição fosfatada. **Bragantia**, v.29: VII-XII, 1970 (nota 2).

HORST, W. J., ASHER, C. J., CAKMAK, J., SZULKIEWCZ, P., WISSEMEIER, A. H. Short-term response of soybean roots to aluminium. In: WRIGHT, J. R., BALIGAR, V. C., MURRMANN, R. P. (Ed.) **Plant-soil interactions at low pH**, 1991, p.733-739.

INFORZATO, R., MIYASAKA, S. Sistema radicular do feijoeiro em dois tipos de solo do Estado de São Paulo. **Bragantia**, v.22, n. 2, p.477-481, 1963.

SOUSA JUNIOR, J. O., NASCIMENTO, C. W. A., MARTINEZ, H. E. P. Resposta do feijoeiro em solução nutritiva a níveis de cálcio e magnésio na presença de alumínio. **Pesqui. Agropec. Bras.**, v.33, n.7, p.284-296, 1998.

LYNCH, J., BEEM, J. J. Growth and architecture of seedling roots of common bean genotypes. **Crop Sci.**, v.33, p.1165-1171, 1995.

MARTINI, J. A., MUTTERS, R. G., Soybean root growth and nutrient uptake as affected by lime rates and plant age: Al, Mn and S. **Turrialba**, v.39, p.18-24, 1989.

MORAES , J. F. V., DYNIA, J. F. Adubação, calagem, disponibilidade de nutrientes e produção de arroz e feijão em solos nivelados. **Pesqui. Agropec. Bras.**, v.33, n.9, p.1443-1449, 1998.

OLIVEIRA, I. P., THUNG, M. D. T. Nutrição mineral. In: ZIMMERMANN, M. J. O., ROCHA. M., YAMADA, T. (Ed.). **Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade**, Potafós. Piracicaba. 1988, p.185-212.

PAVAM, M. A., OLIVEIRA, E. L. **Manejo da acidez do solo**. Londrina: IAPAR, 1997, p.86. (IAPAR. Circular, n.95)

PEREIRA, E. B., PAULA, M. B., NOGUEIRA, F. D., JUNQUEIRA NETO, A., MESQUITA, H. A. Calagem para a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência Prática**, v.16, n.1, 1992.

PORTES, T. A. Ecofisiologia. In: ARAUJO, R. S., RAVA, C. A., STONE, L. F., ZIMMERMANN, N. J. O. (Coord.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba, Potafós. 1996, p. 101-137.

RAIJ, B., QUAGGIO, J. A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1983. 31 p. (Boletim técnico, 81).

RHEINHEIMER, D. S., PETRY, C., KAMINSKI, J., BARTZ, H. R. Influência do estresse de alumínio em plantas de fumo: I. Efeito no sistema radicular na absorção de fósforo e cálcio e no acúmulo de massa seca. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v.18, n. 1, p.63-68, 1984.

RITCHEY, K. D., SILVA, J. E., COSTA, U. F. Calcium deficiency in clayey b horizons of savanna oxisols. **Soil Sci.**, v.133, p.378-382, 1982.

ROBINSON, D. Roots and resource fluxes in plants and communities. In: ATKINSON, D. (Ed.). **Plant root growth: na ecological perspective**, 1991. p.103-130.

ROBINSON, D. Variation, co-ordination and compensation in root systems in relation to soil variability. **Plant Soil**, v.178, p.57-66, 1996.

ROSOLEM, C. A. Calagem e adubação mineral. In: ARAUJO, R. S., RAVA, C. A., STONE, L. F., ZIMMERMANN, M. J. O. (Coord.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, 1996, p.353-385.

ROSOLEM, C. A. **Relação solo-planta na cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 1995, 53p.

ROSOLEM, C. A., GIOMMO, G. S., LAURENTI, R. L. B. Crescimento radicular e nutrição de cultivares de algodão em resposta a calagem. **Pesqui. Agropec. Bras.**, v.35, n.4, p.827-833, 2000.

ROSOLEM, C. A., VALE, L. S. R., GRASSI FILHO, H., ORAES, M. H. Sistema radicular do milho em função da calagem e da compactação do solo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v.18, n. 4, p.491-497, 1994.

ROSOLEM, C. A., MARCELO, C. S., Crescimento radicular e nutrição de soja em função da calagem e adubação fosfatada. **Sci. Agr.**, v.55, n. 3, p.448-455, 1998.

ROSOLEM, C. A., SCHIOCHET, M. A., SOUSA, L. S., WITACHER, J. P. T. Root growth and cotton nutrition as by liming and soil compaction. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.29, n.1/2, p.169-177, 1998.

ROSOLEM, C. A., WITACHER, J. P. T., VANZOLINE, S., RAMOS, V. J. The significance of root growth on cotton nutrition in na acidic low-P soil. **Plant and Soil**. v.212, p.185-190, 1999.

SILVA, J. B. C., ALVARENGA, R. C., VENEGAS. V. H. A., SOARES, P. C. Localização de fósforo e de cálcio no solo e seus efeitos sobre o desenvolvimento inicial de milho. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v.17, n. 3, p.203-209, 1983.

SILVA, J. B. C., NOVAIS, R.F., SEDIYAMA, C. S., Comportamento de genótipos de soja em solo com alta saturação de alumínio. **Pesqui. Agropec. Bras.**, v.19, n.3, p.287-289, 1984.

SIQUEIRA, J. O., OLIVEIRA, E. Crescimento, absorção de nutrientes e colonização micorrízica em dois cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) na presença e na ausência de calcário. **Ciência Prática**, v. 10, n.2, p.220-225, 1996.

SPONCHIADO, B. N., WHITE, J. W., CASTILHO, J. A., JONES, P. G. Root growth of four common bean cultivars in relation to drought tolerance in environments with contrasting soil types. **Exp. Agric.**, v.25, p.249-257, 1989.

TAYLOR, D., ARKIN, G. F. Root zone modification fundamentals and alternatives. In: TAYLOR, D., ARKIN, G. F. (Ed.) **Modifying the root environment to reduce crop stress**. St. Joseph: ASAE, 1981, p.3-16.

TENNANT, D. A. A test of a modified lime intersect method of estimating root length. **J. Ecol.**, v.63, p.995-1001. 1975.

TEO, Y. H., BEYROUTY, C. A., NORMAN, R. J., GBUR, E. E. Nutrient uptake relationship to root characteristics of rice. **Plant Soil**, v.171, p.297-302, 1995.

TIFFNEY, B. H., NIKLAS, K. J. Clonal growth in land plants: a palaeobotanical perspective. In: JACKSON, J. B. C., BUSS, L. W., COOK, R. E. (Ed.). **Population biology and evolution of clonal organisms**. New Haven: Yale University Press, 1985. p.35-66.

VALE, L. S. R. **Doses de calcário, desenvolvimento da planta, componentes de produção, produtividade de grãos e absorção de dois cultivares de feijão ( *Phaseolus vulgaris* L.)**. Botucatu, 1994, 71p. Dissertação (Mestrado em Agricultura), Faculdade de Ciência Agronômica, Universidade Estadual Paulista, “Júlio de Mesquita Filho”.

VALE, L. S. R. **Doses e efeito residual de dois calcário em dois solos cultivados com feijão ( *Phaseolus vulgaris* L.)**. Botucatu, 1998, 116p, Dissertação (Doutorado em Agricultura), Faculdade de Ciência Agronômica, Universidade Estadual Paulista, “Júlio de Mesquita Filho”.

VICENTE, J. R., ALMEIDA, L. D`A., GONÇALVES, J. S., SOUZA, S. A. M. Feijão Carioca: Impactos do cultivar gerado pela pesquisa paulista. In: DIA DE CAMPO DE FEIJÃO, 16, 2000, Capão Bonito, SP. **Anais**. Campinas: Instituto Agronômico – IAC, 2000. p. 63-77.

VIEIRA, C. Adubação mineral e calagem. In: VIEIRA, C., PAULA JUNIOR, T. J., BORÉM, A. (Ed.). **Feijão, Aspectos gerais e cultura no Estado de Minas Gerais**, Viçosa, UFV. 1998, p.123-151.

VIEIRA, C. **Cultura do feijão**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1976. 120p.

VIEIRA, C. Leguminosas de grãos: importância na agricultura e na alimentação humana. Leguminosas. **Inf. Agropec.** v. 16, n. 174, p. 5-11, 1992.



VILELA, L., ANGHINONI, I. Morfologia do sistema radicular e cinética de absorção de fósforo em cultivares de soja afetados pela interações alumínio fósforo. **Rev. Bras. Ciên. Solo**, v.8, n.1, p.91-96, 1984.

YOKOYAMA, L. P. Aspectos conjunturais da cultura do feijão no período de 1988/89 a 1997/98. In: REUNÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 6, 1999. Salvador, Ba, **Resumos**. Santo Antonio de Goias, EMBRAPA/Arroz e Feijão, 1999. p.709-712.