

***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Arroz e Feijão
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento***

NUTRIÇÃO MINERAL DO
FEIJOEIRO

*Nand Kumar Fageria
Luís Fernando Stone
Alberto Baêta dos Santos
Maria da Conceição Santana Carvalho*

Embrapa
Brasília, DF
2015

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:

Embrapa Arroz e Feijão

Rod. GO 462, km 12
Caixa Postal 179
CEP 75375-000
Santo Antônio de Goiás, GO
Fone: (62) 3533 2110
Fax: (62) 3533 2123
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

Unidade responsável pelo conteúdo

Embrapa Arroz e Feijão

Comitê Local de Publicações

Presidente

Pedro Marques da Silveira

Secretário-executivo

Luiz Roberto Rocha da Silva

Membros

Camilla Souza de Oliveira

Luciene Fróes Camarano de Oliveira

Flávia Rabelo Barbosa Moreira

Ana Lúcia Delalibera de Faria

Heloisa Célis Breseghello

Márcia Gonzaga de Castro Oliveira

Fábio Fernandes Nolêto

Embrapa Informação Tecnológica

Parque Estação Biológica (PqEB)
Av. W3 Norte (final)
CEP 70770-901 Brasília, DF
Fone: (61) 3448-4236
Fax: (61) 3448-2494
www.embrapa.br/livraria
livraria@embrapa.br

Unidade responsável pela edição

Embrapa Informação Tecnológica

Coordenação editorial

Selma Lúcia Lira Beltrão

Lucilene Maria de Andrade

Nilda Maria da Cunha Sette

Supervisão editorial

Erika do Carmo Lima Ferreira

Revisão de texto

Letícia Ludwig Loder

Normalização bibliográfica

Celina Tomaz de Carvalho

Projeto gráfico e editoração eletrônica

Júlio César da Silva Delfino

Tratamento de ilustrações

Sebastião Araújo

Capa

Júlio César da Silva Delfino

Foto da capa

Sebastião Araujo

1ª edição

1ª impressão (2015): 1.000 exemplares

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Informação Tecnológica

Nutrição mineral do feijoeiro / Nand Kumar Fageria ... [et al.]. – Brasília, DF : Embrapa, 2015.

394 p. : il. color. ; 16 cm x 22 cm.

ISBN 978-85-7035-431-0

1. Feijão. 2. Nutrição vegetal. 3. Produção vegetal. I. Fageria, Nand Kumar (1942-2014). II. Stone, Luís Fernando. III. Santos, Alberto Baêta dos. IV. Carvalho, Maria da Conceição Santana. V. Embrapa Arroz e Feijão.

CDD 635.652

© Embrapa 2015

Agradecimento

No dia 6 de julho de 2014, o mundo agrônômico perdeu um de seus maiores pesquisadores: Nand Kumar Fageria. Nascido em 10 de março de 1942, na cidade de Khidarsar, situada no Oeste da Índia, chegou ao Brasil em 18 de outubro de 1974 e se radicou em Goiânia, Goiás, onde iniciou suas atividades na então Empresa Goiana de Pesquisa Agropecuária (Emgopa). Fageria deixou esposa (Shanti Fageria), três filhos (Rajesh, Satya Pal e Savita) e três netos (Sofia, Maia e Anjit).

Graduou-se em Engenharia Agrônômica em 1965 e concluiu mestrado em Agronomia em 1967 na Agriculture University de Udaipur, na Índia, tendo sido agraciado com medalha de ouro pela colocação em 1º lugar no exame do curso. Em 1973, concluiu doutorado em Agronomia na Université Catholique de Louvain (UCL), na Bélgica. Em 1987, foi agraciado com bolsa de pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e, em 1988, realizou pós-doutorado no United States Department of Agriculture (USDA-ARS), em Berkeley/Beltsville, nos Estados Unidos. Foi bolsista do Indian Council of Agriculture Research (na Índia), da UCL (na Bélgica) e, desde 1989, era bolsista de produtividade em pesquisa pelo CNPq. Também era membro de corpo editorial dos periódicos *Journal of Plant Nutrition* (desde 2001) e da *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* (desde 2006). Além disso, contribuiu, como revisor convidado, com vários outros periódicos nacionais e internacionais.

Fageria atuava como pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) na Unidade Arroz e Feijão, sediada em Santo Antônio de Goiás, Goiás, desde 1º de julho de 1975. Nesse período, publicou 262 artigos completos em periódicos; 15 livros (em português e inglês), que foram usados como referências em âmbitos nacional e internacional; e 44 capítulos de livro. Proferiu palestras nas áreas de fertilidade do solo e nutrição de plantas no Brasil e em diversos outros países, como Estados Unidos, Canadá, Japão, Índia, China, Sri Lanka, Portugal, Austrália e Holanda.

Dedicou toda a sua vida aos estudos de fertilidade do solo e adubação, principalmente das culturas de arroz de terras altas, arroz irrigado e feijão, fazendo com que seu trabalho e suas ideias fossem transportados ao mundo todo, tornando-se, assim, um dos maiores expoentes em solos e nutrição de plantas. Como exemplo de contribuição aplicada, fruto de

tantos anos de dedicação à pesquisa na área, menciona-se o aumento na produtividade de arroz irrigado na região tropical em razão das suas recomendações de adubação.

Esta homenagem é uma manifestação pública de reconhecimento pelos inestimáveis serviços prestados ao Brasil pelo inesquecível amigo Fageria, que sempre será lembrado como exemplo de competência, conhecimento e companheirismo. Fageria dedicou-se, até os últimos dias de sua vida, com grande entusiasmo, às tarefas de contribuir para a Ciência Agrícola e atender aos estudantes de Agronomia, professores, pesquisadores, extensionistas, a toda comunidade científica e ao agronegócio brasileiro, engrandecendo o meio científico e, em especial, a Embrapa.

Apresentação

O feijão é a leguminosa mais importante para o consumo humano e a principal fonte de proteína para muitas populações da América Latina, Caribe, Ásia e África. No Brasil, junto com o arroz, forma a base da alimentação diária.

O feijão é alimento que apresenta alto significado social, pois, além de compor a dieta básica do brasileiro, é uma espécie tradicional da agricultura familiar e emprega grande quantidade de mão de obra no campo. Além de ser uma cultura de subsistência em pequenas propriedades, é um produto de alto valor de mercado, que atrai cada vez mais a atenção da agricultura empresarial. O Brasil é o maior produtor mundial de feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.), e suas áreas produtoras se estendem por regiões tropicais e subtropicais. Entretanto, a produtividade média de feijão no Brasil ainda é baixa. Entre os fatores que contribuem para isso estão a baixa fertilidade e a alta acidez dos solos. O uso racional de fertilizantes e corretivos de solo é um fator muito importante na agricultura moderna, pois, além de contribuir para o aumento da produtividade e a redução do custo da produção, diminui o risco de poluição do meio ambiente.

Este livro aborda temas relevantes sobre a cultura do feijoeiro, como o manejo de nutrientes, a caracterização dos solos onde se cultiva o feijão e a fisiologia da produção. A Embrapa Arroz e Feijão enaltece o esforço dos autores e de todos aqueles que contribuíram para a elaboração deste livro. Temos a convicção de que os conhecimentos nele contidos podem contribuir para aumentar a produtividade e a sustentabilidade da cultura do feijoeiro no Brasil.

Flávio Breseghello

Chefe-Geral da Embrapa Arroz e Feijão

Prefácio

A nutrição mineral é a prática de adição de adubos químicos e orgânicos no solo e sua transformação na forma de absorção e utilização pelas plantas. Esse processo é influenciado por clima, solo, plantas e suas interações. Por isso, a nutrição mineral das plantas é um assunto complexo, e seu manejo durante a produção das culturas necessita de cuidado especial. Além disso, a nutrição mineral está entre os importantes fatores tecnológicos de produção, como escolha de cultivares, disponibilidade de água, controle de doenças, pragas e plantas daninhas.

Nos últimos anos, tem-se verificado aumento dos custos dos fertilizantes, situação provavelmente irreversível graças ao reflexo dos custos mais elevados de energia, matérias-primas e transportes. Os fertilizantes passam, assim, a exigir mais investimento daqueles que se dedicam a atividades agrícolas, merecendo, portanto, atenção especial com referência ao seu uso com vistas a um melhor aproveitamento pelas culturas. Alguns dos principais fatores que determinam a produtividade das culturas são a fertilidade do solo e a nutrição mineral. A maioria dos solos onde se cultiva o feijoeiro no Brasil é ácida e apresenta baixa fertilidade.

Neste livro, são abordados, em 14 capítulos, temas relevantes sobre a cultura do feijoeiro (como o manejo de nutrientes, a caracterização dos solos onde se cultiva essa leguminosa e a fisiologia da produção). Ademais, são discutidos resultados mais recentes de pesquisa desenvolvidos na região do Cerrado, que apresenta a maior área cultivada com o feijoeiro.

Esperamos que este livro sirva como referência para professores, pesquisadores, estudantes de agronomia e extensionistas interessados nos assuntos tratados e, com isso, propicie a melhoria da produtividade do feijoeiro, a redução dos custos de produção e do impacto ambiental decorrentes da atividade e a melhoria da qualidade de vida dos produtores e de suas famílias.

Autores

Sumário

- Capítulo 1 • Solos e diagnose do estado nutricional, **15**
- Capítulo 2 • Fisiologia da produtividade, **41**
- Capítulo 3 • Calagem, **55**
- Capítulo 4 • Nitrogênio, **95**
- Capítulo 5 • Fósforo, **153**
- Capítulo 6 • Potássio, **191**
- Capítulo 7 • Cálcio e magnésio, **215**
- Capítulo 8 • Enxofre, **231**
- Capítulo 9 • Zinco, **241**
- Capítulo 10 • Boro, **259**
- Capítulo 11 • Cobre, **281**
- Capítulo 12 • Manganês, **295**
- Capítulo 13 • Ferro, **309**
- Capítulo 14 • Molibdênio, **323**
- Referências, **335**

Capítulo 1

Solos e diagnose do estado nutricional

INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é considerado a leguminosa mais importante para o consumo humano nos países em desenvolvimento. Em escala mundial, o feijão é a terceira cultura mais importante para nutrição humana e animal, após soja e amendoim (SINGH, 1999). Embora as leguminosas, tomadas individualmente, forneçam mais nutrientes minerais do que os cereais (WELCH et al., 2000), o feijão tem seu valor nutricional aumentado especialmente se consumido junto com cereais e outros alimentos ricos em carboidratos (FAGERIA, 2002b). É o que ocorre na América Latina, em que o feijão, junto com o arroz, compõe a dieta básica de todos os segmentos da população.

Na América Latina, o consumo de feijão fornece de 8% a 27% do potássio (K) necessário diariamente para a população (PENNINGTON; YOUNGT, 1990). O feijão contém até três vezes mais K do que a banana (LIMA et al., 2006). Beebe et al. (1993) relataram teor de K de até 21,25 g kg⁻¹ em sementes de feijão. Poersch et al. (2011) relataram teor de K na faixa de 6,0 g kg⁻¹ a 14,9 g kg⁻¹ em sementes de feijão, dependendo dos genótipos. Além disso, o feijão contém baixos teores de gordura e sódio (Na) e é livre de colesterol (HOSFIELD, 1991; MORROW, 1991). Possui altos teores de manganês (Mn), que atua como antioxidante na produção de enzimas responsáveis pela desativação de radicais livres, e de ferro (Fe), um dos componentes da hemoglobina. O alto teor de substâncias antioxidantes encontrado em feijão-preto é comparável ao encontrado na uva. Outro fator nutricional que qualifica o feijão como alimento é sua riqueza em fibras, tanto as que atuam na redução do colesterol como as que agem no combate ao diabetes (ANTUNES et al., 2007).

O feijoeiro é cultivado em diversas regiões agroclimáticas, mas sua maior concentração está em áreas de climas tropical e subtropical. Em âmbito mundial, a maior produção está nas Américas do Sul e Central, no Caribe, na Ásia e na África. A América do Norte e a Europa também cultivam o feijão, mas em menor escala. O feijão, rico em proteína (de 20% a 25%), é a principal fonte de alimento das populações das Américas do Sul e Central, do Caribe e da África. O feijão apresenta cerca de metade do teor de proteína da soja, porém é de melhor digestibilidade proteica (79%) (PIRES et al., 2006). Embora a proteína do feijão seja deficiente nos aminoácidos essenciais sulfurados metionina e cistina, fornece