UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

DEMANDA DE NUTRIENTES PELA SOJA E DIAGNOSE DE SEU ESTADO NUTRICIONAL

Carlos Hissao Kurihara
Doctor Scientiae

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2004

CARLOS HISSAO KURIHARA

DEMANDA DE NUTRIENTES PELA SOJA E DIAGNOSE DE SEU ESTADO NUTRICIONAL

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2004

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e Classificação da Biblioteca Central da UFV

T
K96d
2004

Kurihara, Carlos Hissao, 1967-
Demanda de nutrientes pela soja e diagnose de seu estado nutricional / Carlos Hissao Kurihara. . – Viçosa : UFV, 2004.
101p. : il.

Orientador: Víctor Hugo Alvarez Venegas
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa

1. Soja - Nutrição - Avaliação. 2. Soja - Adubação - Modelos matemáticos. 3. Soja - Matéria seca. 4. Solos - Fertilidade. I. Universidade Federal de Viçosa. II.Título.

CDD 20.ed. 633.34891

CARLOS HISSAO KURIHARA

DEMANDA DE NUTRIENTES PELA SOJA E DIAGNOSE DE SEU ESTADO NUTRICIONAL

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 11 de fevereiro de 2004.

Prof. Júlio César Lima Neves
(Conselheiro)

Prof. Roberto Ferreira de Novais
(Conselheiro)

Prof. Sebastião Alberto de Oliveira

Profª. Herminia Emilia Prieto Martinez

Prof. Víctor Hugo Alvarez V.
(Orientador)

DEDICATÓRIA

À Deus, força motriz que me conduz e me inspira.

À minha esposa Delma e minha filha Mariana, pelo amor e compreensão nos momentos mais importantes.

Aos meus pais, Segueiochi e Nobuko, que, mesmo com sacrifício, investiram na educação de seus filhos por acreditarem ser essa a melhor herança que poderiam lhes deixar.

Aos meus irmãos Alberto, Angela e Fernando, por fazerem parte da minha vida.

Aos meus tios Cyro e Maria Helena, que acreditaram em meus sonhos e viabilizaram a concretização deles.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa, pelo acolhimento e oportunidade de realizar o curso.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, por meio do Centro de Pesquisa Agropecuária Oeste – Embrapa Agropecuária Oeste, pela liberação e concessão de auxílio financeiro para a realização do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, entidade governamental brasileira promotora do desenvolvimento científico e tecnológico, pelo apoio financeiro na execução de parte do trabalho.

Ao professor Víctor Hugo Alvarez V., exemplo de profissionalismo e dedicação, pela orientação e amizade.

Aos professores Júlio César Lima Neves e Roberto Ferreira de Novais, pelo estímulo e participação efetiva na bagagem cultural assimilada em Viçosa.

Aos demais professores e funcionários do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, em especial nas pessoas de Carlos Fonseca, Jorge Orlando e Zélia, pelo convívio e auxílio nas atividades no Laboratório de Fertilidade do Solo.

Aos colegas da Embrapa Agropecuária Oeste, Luiz Alberto Staut, William Marra Silva, Eli de Lourdes Vasconcelos e Mauro Alves Junior, pelo suporte dado em diferentes etapas do trabalho.

Aos agricultores do Mato Grosso do Sul e Mato Grosso, que permitiram a coleta de amostras em suas lavouras.

Aos engenheiros agrônomos que prontamente auxiliaram na indicação das propriedades rurais, em especial na pessoa de Márcio Cicheleiro.

Aos amigos que, na estação Viçosa, embarcaram com bilhete permanente no vagão da primeira classe do trem da minha vida, em especial Margarida Andrade Gonçalves Freitas, Maria de Lourdes Saraiva (Lulu) e Henrique de Oliveira e seus respectivos familiares, bem como Elaine Trindade, João José de Miranda Milagres, Ignácio Aspiazú, Adilson de Oliveira Júnior e Marcos Valle Agostini.

BIOGRAFIA

CARLOS HISSAO KURIHARA, filho de Segueiochi Kurihara e Nobuko Kurihara, nasceu em Londrina, PR, em 29 de janeiro de 1967. É casado com Delma Batista Lucas Kurihara e pai de Mariana Neri Lucas Kurihara.

Graduou-se em Engenharia Agronômica pela Universidade Estadual de Londrina (UEL) em 1988. Obteve o título de Mestre em Solos e Nutrição de Plantas em 1991, na Escola Superior de Agricultura de Lavras (ESAL), atualmente Universidade Federal de Lavras (UFLA).

Atuou como bolsista do CNPq, na modalidade Desenvolvimento Científico Regional, na Embrapa Agropecuária Oeste, no período de 1991 a 1994, quando foi aprovado em concurso público como pesquisador. Em agosto de 2000, iniciou o curso de Doutorado em Solos no Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.

ÍNDICE

Página

RESUMO vii

ABSTRACT ix

INTRODUÇÃO 1

CAPÍTULO 1. MODELOS MATEMÁTICOS PARA ACÚMULO DE MATÉRIA SECA E NUTRIENTES NA SOJA COMO VARIÁVEL DO POTENCIAL PRODUTIVO 10

1. INTRODUÇÃO 10

2. MATERIAL E MÉTODOS 12

2.1. PROCEDIMENTOS PARA A COLETA E PREPARO DE AMOSTRAS DE PLANTAS 12

2.2. EXTRAÇÃO E DETERMINAÇÃO DE NUTRIENTES 13

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO 15

4. CONCLUSÕES 41

CAPÍTULO 2. USO DE MÉTODOS DE DIAGNOSE DO ESTADO NUTRICIONAL NA DEFINIÇÃO DE VALORES DE REFERÊNCIA PARA NUTRIENTES EM SOJA 42

1. INTRODUÇÃO 42

2. MATERIAL E MÉTODOS 45

2.1. PROCEDIMENTOS PARA A COLETA E PREPARO DE AMOSTRAS DE TECIDO FOLIAR E GRÃOS 45

2.2. EXTRAÇÃO E DETERMINAÇÃO DE NUTRIENTES 45

2.3. FORMAÇÃO DO BANCO DE DADOS 46

2.4. MÉTODOS DE DIAGNOSE DO ESTADO NUTRICIONAL 46

2.4.1. Chance Matemática (ChM) 46

2.4.2. Índices Balanceados de Kenworthy (IBK) 47

2.4.3. Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) 48

2.4.4. Diagnose da Composição Nutricional (CND) 50

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO 52

3.1. CHANCE MATEMÁTICA (ChM) 52

3.2. ÍNDICES BALANCEADOS DE KENWORTHY (IBK) 52

3.3. SISTEMA INTEGRADO DE DIAGNOSE E RECOMENDAÇÃO (DRIS) 56

3.4. DIAGNOSE DA COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL (CND) 61

3.5. DEFINIÇÃO DE TEORES E FAIXA ÓTIMA DE NUTRIENTES NA FOLHA ÍNDICE 64

3.6. DEFINIÇÃO DE NORMAS ESPECÍFICAS POR CLASSE TEXTURAL, NO MÉTODO DRIS 66

4. CONCLUSÕES 75

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 76

APÊNDICE 83

RESUMO

KURIHARA, Carlos Hissao, D.S., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2004. **Demanda de nutrientes pela soja e diagnose de seu estado nutricional**. Orientador: Víctor Hugo Alvarez V. Conselheiros: Júlio César Lima Neves e Roberto Ferreira de Novais.

O critério atualmente adotado para a avaliação do estado nutricional e recomendação de adubação para a cultura da soja nos estados de Mato Grosso do Sul e Mato Grosso, baseado no estabelecimento de níveis críticos, tem permitido a obtenção de produtividades médias em torno de 3.000 kg/ha. Contudo, para a obtenção de produtividades mais elevadas e econômicas, sem prejuízos ao equilíbrio ambiental, deve-se visar à definição de modelos quantitativos que permitam estimar a demanda por nutrientes em função do potencial de produção almejado, associado ao estabelecimento e manutenção do balanço nutricional das plantas. A partir de um banco de dados formado pelo monitoramento nutricional de lavouras comerciais de soja cultivadas no sistema plantio direto, nos estados de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás, foram estabelecidos modelos matemáticos para a estimativa da demanda nutricional em função do potencial produtivo almejado e dos teores de nutrientes na folha índice, no estádio de florescimento pleno, ou então, em função da produtividade e do coeficiente de utilização biológica (CUB) estimado para os diferentes órgãos da planta. Os métodos de diagnose do estado nutricional Chance Matemática (ChM), Índices Balanceados de Kenworthy (IBK), Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) e Diagnose da Composição Nutricional (CND) mostraram-se concordantes em indicar que o teor ótimo de nutrientes na folha índice é a própria média da população de referência. Já os teores ótimos de Ca, S, Mn e Zn na folha índice permanecem praticamente inalterados em produtividades inferiores a 3.600 kg/ha e aumentam a partir deste potencial produtivo. E os teores ótimos de N, P, K, Mg, B, Cu e Fe não variaram mesmo para produtividades superiores a 4.800 kg/ha. Constatou-se que os valores de referência para a diagnose do estado nutricional são influenciados pelo tipo de folha índice amostrado (terceiro trifólio com ou sem pecíolo). O limbo foliar apresenta teores maiores de N, P, Cu, Fe, Mn

e Zn e menores de K, em relação aos pecíolos. A predição dos teores de nutrientes na planta em função dos teores na folha índice, e da máxima produção de matéria seca em função do acúmulo de nutrientes na folha índice, podem ser efetuadas de forma adequada com os teores do terceiro trifólio associado ou não ao pecíolo, desde que a amostragem seja realizada no estádio de florescimento pleno. Verificaram-se diferenças na sensibilidade do DRIS em diagnosticar o estado nutricional de N, P e S em solos muito argilosos, e de P em solos arenosos, em razão da adoção de normas gerais ou específicas para a classe textural.

ABSTRACT

KURIHARA, Carlos Hissao, D.S., Universidade Federal de Viçosa, February 2004. **Soybean nutrient demand and diagnose of its nutritional status**. Advisor: Víctor Hugo Alvarez V. Committee members: Júlio César Lima Neves and Roberto Ferreira de Novais.

The currently adopted criterion for an evaluation of the nutritional state and fertilization recommendation for soybean culture in the States of Mato Grosso do Sul and Mato Grosso, based on the establishment of critical levels, has allowed the determination of mean productivities of around 3,000 kg/ha. To obtain higher and more economical productivities, however, without affecting the environmental balance, the quantitative models that allow an estimation of the nutrient demand must be defined in relation to the target production potential, associated to the establishment and maintenance of the nutritional plant balance. Based on a data bank fed by the nutritional monitoring of commercial soybean plantations grown in a no-tillage system, mathematic models were established for the States Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, and Goiás. The models estimated the nutritional demand in function of the target productive potential and the nutrient contents of the index leaf (during full flowering period) or otherwise, in function of the productivity and the biological utilization coefficient (CUB) estimated for the different plant organs. The nutritional state diagnose methods Mathematical Chance (ChM), Kenworthy Balanced Index (IBK), Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS), and Compositional Nutrient Diagnosis (CND) similarly suggested that the optimum nutrient in the index leaf is the proper mean of the reference population. For productivities below 3,600 kg/ha, the optimum contents of Ca, S, Mn e Zn in the index leaf remained unaltered, however, and increased from this productive potential on upwards. Optimum N, P, K, Mg, B, Cu, and Fe contents did not vary, even for productivities above 4,800 kg/ha. The reference values are influenced by the kind of index leaf sampled for the nutritional state diagnosis (third trifoliate leaf with or without petiole). The trifoliate leaves presented higher N, P, Cu, Fe, Mn, and Zn and lower K contents, in relation to the petioles. The prediction of the plant nutrient contents in function of the index leaf contents, and the maximum dry matter

production in function of the nutrient accumulation in the index leaf can be established adequately by the third trifoliate leaf contents with or without the petiole, if sampled during the full flowering stage. We have verified differences in the sensitivity of the DRIS to diagnose the nutritional state of N, P, and S in very clayey soils, and of P in sandy soils, owing to the general or specific norms adopted for the texture class.

INTRODUÇÃO

A avaliação do estado nutricional das plantas normalmente é feita pela diagnose foliar, tendo-se em vista que a folha recém madura é o órgão que geralmente responde mais às variações no suprimento do nutriente, seja pelo solo, seja pelo fertilizante (Malavolta et al., 1997). Nas folhas, ocorrem as principais reações metabólicas, onde as alterações fisiológicas decorrentes de distúrbios nutricionais normalmente tornam-se mais evidentes (Martin-Prevel et al., 1984).

Em algumas situações porém, outros órgãos da planta podem propiciar diagnóstico mais adequado, tanto do ponto de vista do estado nutricional como também pela antecipação da época de amostragem. Para videiras, por exemplo, Bhargava & Raghupathi (1999) mencionaram a importância da determinação de teores totais de nutrientes em pecíolos associados à quinta folha, em torno de 40 d após o rompimento da gema lateral. Segundo esses autores, neste estádio de desenvolvimento, os pecíolos estão associados a folhas recém maduras e indicam o estado nutricional da planta com vistas à diferenciação da gema lateral. Em condições de nutrição adequada de N, P e K, a gema lateral dá origem a gavinhas, parte das quais, posteriormente, se diferenciam em inflorescências. Porém, quando há um desequilíbrio nutricional, as gavinhas tendem a permanecer como tal, resultando em maior proporção de ramos não frutíferos e, consequentemente, menor produtividade.

Trabalhos desenvolvidos por Sanz et al. (1994) e Sanz & Montañés (1995) indicaram a possibilidade de se avaliar o estado nutricional de plantas perenes a partir da análise química de flores, permitindo a detecção de deficiências, excessos e desequilíbrios nutricionais, em uma fase de desenvolvimento da planta anterior àquela normalmente recomendada para a coleta de amostras de folhas. Em cafeeiros e frutíferas, por exemplo, a época de amostragem de folhas normalmente recomendada é compreendida pelo período entre 80 e 120 dias após a floração plena; nesta fase de desenvolvimento da planta, no entanto, não há mais a possibilidade de se proceder a algum tipo de correção de deficiência ou desequilíbrio nutricional porventura detectado pela análise foliar, visto que as perdas em produtividade ou qualidade dos frutos já seriam irreversíveis (Bouranis et al., 2001; Wojcik, 2002 e Martinez et al., 2003). Outra vantagem relacionada à análise floral refere-se à diagnose do estado nutricional para situações em que os

teores foliares não refletem a magnitude da fração fisiologicamente ativa, como nos casos de detecção de deficiências de Fe em pomares de laranjeira em solos alcalinos (Pestana et al., 2001) e de Fe, Mn e Zn em cafeeiros (Martinez et al., 2003).

Porém, independentemente do órgão utilizado na avaliação do estado nutricional da planta, a determinação dos teores de nutrientes como critério de diagnose baseia-se na premissa de existir uma relação significativa entre o suprimento destes e os seus teores no tecido amostrado e, também, entre os teores e as produções das culturas (Evenhuis & Waard, 1980). Contudo, a relação entre os teores de um dado nutriente e a produção de matéria seca pode não ser tão simples e nem tão direta, como sugere esta definição (Bataglia et al., 1992), pois sob condições de severa deficiência, o aumento na disponibilidade do nutriente no solo resulta em aumento na produção de matéria seca de forma proporcionalmente mais acentuada do que a quantidade do elemento absorvida ou transportada, resultando em um decréscimo em seu teor. Quando a deficiência é moderada, o fornecimento do nutriente à planta inicialmente tende a não alterar o teor deste nos tecidos, visto que o incremento no acúmulo do nutriente é proporcional ao acúmulo de matéria seca. Posteriormente, ocorre o aumento na taxa de absorção do nutriente, com o conseqüente incremento no seu teor na planta, até se atingir o nível crítico, a partir do qual existe pequena probabilidade de resposta em produção de matéria seca; e caso o suprimento do nutriente continue, pode ocorrer o incremento do seu teor nos tecidos (consumo de luxo), sendo que a partir de um certo limite, o crescimento ou a produção da planta é prejudicado, porque o acúmulo torna-se excessivo (toxicidade), afetando a absorção de outros nutrientes.

O conceito de nível crítico fisiológico-econômico foi inicialmente definido por Malavolta & Cruz (1971), como o teor de um dado nutriente na folha, abaixo do qual a produção é limitada e acima do qual o uso de fertilizantes não é mais econômico. Como trata-se de um critério econômico, o nível crítico pode variar de acordo com a relação entre o preço do produto colhido e o custo da adubação (Malavolta, 1999). Ressalta-se porém, que o critério econômico pode limitar a aplicabilidade do nível crítico, visto que para uma situação extrema em que o produto colhido apresenta grande valor de venda e a adubação resulta em custo relativamente reduzido, poderia se induzir o consumo de luxo de um nutriente. Por

outro lado, numa situação oposta, em que o produto colhido apresenta reduzido valor de venda e a adubação resulta em custo elevado, não haveria como conciliar a resposta em produção e a economicidade do uso do insumo.

Malavolta et al. (1997) também definiram o nível crítico como o teor do nutriente nas folhas que está associado à máxima atividade de um determinado processo fisiológico relacionado à produção da cultura, como por exemplo, a atividade fotossintética.

No entanto, mais comumente, o nível crítico é conceituado como o teor foliar abaixo do qual a taxa de crescimento, a produção e, ou, a qualidade da planta é significativamente diminuída. Em geral, é estabelecido como o teor correspondente a uma produção relativa que pode variar entre 80 e 95 % da produção ótima (Bates, 1971 e Bataglia et al., 1992).

No método dos níveis críticos, a interpretação do estado nutricional das plantas é feita comparando-se os resultados analíticos das determinações químicas efetuadas em amostras de tecido vegetal com valores previamente estabelecidos para a cultura. Como vantagem, pode-se mencionar a simplicidade na interpretação da diagnose do estado nutricional da cultura (Baldock & Schulte, 1996). Por outro lado, uma das limitações deste método consiste na forma como as faixas de teores são estabelecidas para as diferentes classes (deficiente ou muito baixo, baixo, suficiente ou médio, alto e excessivo ou muito alto). Normalmente, as faixas de teores são definidas a partir de ensaios de adubação, com diferentes tipos de solos, por vários anos. Nestes ensaios, o nutriente em estudo é aplicado em doses crescentes e os demais nutrientes e fatores de produção são supridos em quantidades adequadas (variáveis controladas constantes). Em outras situações, adotam-se como padrão os valores estabelecidos em trabalhos conduzidos em países diferentes, ou mesmo pela experiência pessoal de um pesquisador.

Para a cultura da soja, por exemplo, os níveis de suficiência adotados por Malavolta et al. (1997) e Embrapa (2002) são praticamente os mesmos em relação àqueles estabelecidos por Sfredo et al. (1986), a partir das médias dos teores definidas para seis regiões norte-americanas produtoras de soja (Indiana, Michigan, Minnesota, Missouri, Ohio e Wisconsin), apresentadas por Peck (1979). Portanto, é plausível esperar que estes níveis de suficiência apresentem limitações, considerando-se a existência de diferenças marcantes na eficiência em

absorver nutrientes e no potencial produtivo atualmente apresentado pelos cultivares, bem como no fator capacidade do solo. Em adição, mostra-se preocupante também o fato destes valores de referência apresentarem amplitude demasiadamente grande para a faixa de suficiência, em que o limite superior chega a ser cerca de cinco a sete vezes maior do que o limite inferior, no caso de Ca, Mn e Fe.

Deve-se considerar também, que não há consenso na literatura quanto ao procedimento na amostragem de folhas de plantas de soja, existindo a recomendação de coleta do terceiro trifólio a partir do ápice (Malavolta et al., 1997 e Embrapa, 2002), bem como deste acompanhado de pecíolos (Raij, 1991; Borkert et al., 1994; Bataglia et al., 1996 e CFSEMG, 1999), sendo que a época de coleta é definida para os estádios de início de floração (Sfredo et al., 1986 e Embrapa, 2002), floração plena (Souza & Carvalho, 1985; Raij, 1991 Bataglia et al., 1996 e CFSEMG, 1999) ou início da formação de vagens (Malavolta et al., 1997).

Os níveis críticos adotados pelos autores mencionados são os mesmos, não obstante os teores nos limbos foliares diferirem quando estes são coletados junto com os respectivos pecíolos. Como exemplo, pode-se citar o K, cujo teor é maior no pecíolo, devido à sua elevada concentração no tecido que serve de conexão do mesmo ao caule, denominado pulvino (Hanway & Weber, 1971d). Por outro lado, nutrientes como o N e o P, que se acumulam no limbo foliar, podem estar presentes em menores concentrações caso a amostra inclua o pecíolo.

Em adição, Lopes & Carvalho (1991), Bataglia et al. (1992), Baldock & Schulte (1996) e Malavolta et al. (1997) citam ainda que o método do nível crítico considera os nutrientes isoladamente, desprezando as interações entre os mesmos, não obstante o incremento no suprimento de um nutriente no solo poder influenciar a absorção ou a utilização de outros nutrientes pelas plantas. Segundo Fageria (2001), as interações entre nutrientes podem ocorrer na superfície das raízes ou dentro das plantas, seja pela formação de precipitados e complexos, seja pela competição por sítios de adsorção, absorção ou transporte (entre os nutrientes com semelhança de raio iônico, carga, geometria de coordenação e configuração dos elétrons). Caso esta interação resulte em incremento na absorção de outro nutriente e uma resposta de produção superior à soma dos efeitos individuais dos nutrientes envolvidos, tem-se um efeito sinérgico; do contrário, tem-se efeito antagônico. Em ampla revisão de literatura, Fageria (2001)

mencionou diferentes possibilidades de ocorrência de interações entre macronutrientes, entre micronutrientes e entre ambos, que podem induzir à diminuição ou ao incremento do teor de outros nutrientes, por efeitos diretos e indiretos de diluição ou concentração.

Diante destas limitações, é lícito pensar que as recomendações de adubação originadas a partir da interpretação do estado nutricional pelo método do nível crítico, em complementação aos resultados da análise de solo, podem estar ocorrendo de forma inadequada. Por esta razão, tem-se desenvolvido no Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa um modelo para cálculo do balanço nutricional e recomendação de fertilizantes. Este modelo, denominado genericamente de FERTICALC®, baseia-se na estimativa da demanda nutricional da cultura para uma determinada produtividade esperada e do suprimento de nutrientes pelo solo e pelos resíduos orgânicos da cultura antecessora. Porém, uma das limitações constatadas durante o desenvolvimento deste modelo quantitativo refere-se à escassez de informações sobre os valores de referência para teores foliares de nutrientes em soja, condizentes com as condições edafoclimáticas da região dos Cerrados, responsável por grande parte da produção desta oleaginosa no Brasil.

Os trabalhos de estabelecimento de marcha de acúmulo de matéria seca e nutrientes, bem como de quantificação da extração e exportação de nutrientes pela planta de soja foram realizados, em grande parte, até meados da década de 80 (Hanway & Weber, 1971a,b,c,d; Mascarenhas, 1972; Egli & Leggett, 1973; Bataglia & Mascarenhas, 1977; Cordeiro, 1977; Cordeiro et al., 1979; Mascarenhas et al., 1980; Moraes, 1983; Como a planta..., 1997 e Padovan, 2002). Esses trabalhos têm indicado que o acúmulo máximo de matéria seca da parte vegetativa e de nutrientes ocorre entre os estádios de desenvolvimento R5 e R6, correspondentes às fases de início de formação de sementes e grãos cheios (vagens contendo grãos verdes), respectivamente. Já o acúmulo de matéria seca de vagens e grãos aumenta até os estádios R6 ou R7 (início da maturação). Porém, as determinações das quantidades de nutrientes extraídas e exportadas pela cultura refletem basicamente as características relativas à eficiência de absorção e utilização de nutrientes, que as cultivares apresentavam na época em que os trabalhos foram conduzidos. Em trabalho mais recente, Padovan (2002) procedeu a avaliações para macronutrientes em uma cultivar e somente até a fase de grãos cheios, visto

que objetivava caracterizar a soja para fins de adubação verde, e não para a produção de grãos.

Uma vez estabelecidos os modelos para predição de acúmulo de matéria seca em função do potencial produtivo, torna-se necessário definir os teores ótimos de nutrientes, relacionados a uma condição de equilíbrio nutricional. Mais recentemente, têm surgido alternativas aos experimentos de calibração para a adequação dos valores de níveis críticos, aproveitando-se de banco de dados provenientes de amostragens realizadas em talhões de fazendas, onde são avaliados, entre outras variáveis, os teores de nutrientes nas folhas e o rendimento da cultura, em grãos, fibras ou matéria seca da parte aérea. A partir deste banco de dados, são aplicadas abordagens distintas dos princípios de métodos de diagnose do estado nutricional (Oliveira & Cassol, 1995; Wadt et al., 1998b; Oliveira, 1999; Khiari et al., 2001a,b; Silva, 2001 e Reis Jr. et al., 2002), no intuito de se estimarem valores de referência associados a um dado potencial produtivo e, ou, condição de equilíbrio nutricional.

Neste contexto, um dos métodos propostos denomina-se Chance Matemática (Novais et al., 1994; Wadt et al., 1995; Wadt, 1996 e Wadt et al., 1998a,b), que consiste na classificação dos teores foliares de um dado nutriente em ordem crescente e no relacionamento destes com a produtividade obtida nos respectivos talhões onde as amostragens foram realizadas. Por meio de um conjunto de procedimentos de cálculos, estima-se a faixa de teor do nutriente em que se espera maior probabilidade de resposta em produtividade. Este método não evita todas as limitações decorrentes de um método de diagnose univariado. Contudo, permite a determinação de faixas de suficiência (correspondente às classes de teores com maior chance matemática) e níveis ótimos (mediana da faixa ótima) sem a necessidade de instalação e condução de uma rede de experimentos de adubação. E, dependendo da quantidade de informações disponíveis no banco de dados, podem-se estabelecer valores padrão específicos para potenciais de produtividade e faixas de fator capacidade tampão do solo.

Outra ferramenta de diagnose do estado nutricional bastante utilizada denomina-se Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS), que apresenta como vantagens a possibilidade de: identificação dos casos em que os desequilíbrios nutricionais limitam a produtividade, mesmo quando nenhum nutriente está abaixo de seu nível crítico; hierarquização dos nutrientes quanto à

ordem de limitação; obtenção de um índice de equilíbrio nutricional médio (IENm) que permite discriminar nutrientes limitantes (por falta ou excesso) e não limitantes; e minimização dos efeitos de diluição ou concentração de nutrientes nas amostras, resultantes do maior ou menor acúmulo de matéria seca (Baldock & Schulte, 1996 e Wadt, 1996).

A estimativa dos valores de referência é feita por meio do relacionamento do teor foliar com o respectivo índice do nutriente (Oliveira & Sousa, 1993; Oliveira & Cassol, 1995; Wadt et al., 1998b e Oliveira, 1999) ou vice-versa (Silva, 2001 e Reis Jr., 2002), tomando-se como base o fato de que o teor ótimo corresponde ao valor do índice DRIS que representa o equilíbrio nutricional, ou seja, zero. E a faixa ótima é obtida pela definição de uma amplitude de desvios padrão em torno deste valor ideal.

Destaca-se ainda que uma simples relação de equilíbrio entre nutrientes pode não ter uma relação direta com a produtividade das culturas, tendo em vista que outros fatores limitantes de natureza não nutricional podem estar afetando o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Assim, tem-se que uma lavoura de alta produtividade necessariamente apresenta uma nutrição equilibrada; o inverso, porém, pode não ocorrer. O mérito do DRIS é justamente permitir a discriminação dos casos em que apenas os fatores nutricionais estão influenciando o desenvolvimento das plantas, uma vez que as normas são calculadas a partir de uma subpopulação de referência. Esta subpopulação, em geral de alta produtividade, representa as condições adequadas ou desejáveis da cultura.

Como desvantagem, Soltanpour et al. (1995) e Baldock & Schulte (1996) mencionaram o fato da dependência entre os índices permitir que o teor de um nutriente, quando muito elevado, influencie negativamente o valor dos índices de outros nutrientes. Neste caso, o DRIS pode induzir um diagnóstico de deficiência para um nutriente que se encontra em níveis adequados. Ressalta-se ainda que a eficiência de absorção e utilização de nutrientes, notadamente P, S e Zn, podem ser influenciados de forma significativa pelo teor e mineralogia da argila. Espera-se que em solos muito argilosos ou argilosos (com predomínio de minerais de argila de baixa atividade) os teores foliares de P (Muniz et al., 1985), S (Alvarez V. et al., 1983) e Zn (Couto, 1985) tendam a ser menores, para um mesmo potencial produtivo. Desta forma, fica um questionamento sobre a magnitude da importância do efeito das variáveis citadas sobre as relações duais que envolvem estes

nutrientes e, conseqüentemente, sobre a diagnose do estado nutricional pelo DRIS.

Diferentes trabalhos de pesquisa têm demonstrado que em solos mais intemperizados, com maior capacidade tampão, ocorrem menores concentrações de P na solução, resultando na diminuição na taxa de absorção deste nutriente e do seu acúmulo nos vacúolos das células, na forma inorgânica (Muniz et al., 1985; Novais et al., 1993 e Mello et al., 1993). Conseqüentemente, a concentração foliar crítica será menor e a eficiência de utilização será maior em solos com maior fator capacidade tampão. Por esta razão, esses autores recomendaram que os níveis críticos de P, no solo e na planta, sejam definidos em função de uma variável que estime o fator capacidade, como o P remanescente (P da solução de equilíbrio após 1 h de agitação do solo com solução de $CaCl_2$ 10 mmol/L com 60 mg/L de P, na relação 1:10 cm^3/mL). De acordo com ALVAREZ V. (1996), o P remanescente apresenta também boa capacidade preditiva do nível crítico de S disponível, da declividade do S disponível de acordo com S adicionado e, de forma indireta, do número de sítios de adsorção de Zn no solo.

O método da Diagnose da Composição Nutricional (CND) também tem sido utilizado para a definição de valores de referência (Khiari et al., 2001a,b) e difere do DRIS pelo fato de o teor de cada nutriente na amostra (x_i) ser corrigido em função da média geométrica da composição nutricional (G), resultando na variável multinutriente (V_i), conforme Parent & Dafir (1992) e Parent et al. (1993). Em seguida, ela é estudentizada, ou seja, calcula-se o índice da variável multinutriente (I_{vi}), a partir da diferença entre o valor de V_i da amostra e a respectiva média para a população de referência (v_i), dividida pelo desvio padrão desta variável [$I_{vi} = (V_i - v_i)/s_{vi}$]. Em suma, além da diferença no enfoque no equilíbrio nutricional, bivariado e multivariado, para o DRIS e o CND, respectivamente, estes métodos distinguem-se pelo fato de que, no primeiro, é calculada a média aritmética das relações duais transformadas em variáveis normais reduzidas. No CND, calcula-se a média geométrica do produto dos teores de nutrientes e de um valor de complemento (denominado R), para depois se proceder à transformação em variável normal reduzida. Contudo, apesar do método CND basear-se nas interações múltiplas que ocorrem entre todos os nutrientes sob diagnose, também se considera que o nutriente está em equilíbrio nutricional quando o índice da variável multinutriente (I_{vi}) é igual a zero.

O objetivo deste trabalho foi estabelecer modelos matemáticos para a estimativa da demanda nutricional pela soja como variável do potencial produtivo e dos teores ótimos de nutrientes na folha índice, estimados por diferentes métodos de diagnose do estado nutricional.

CAPÍTULO 1

MODELOS MATEMÁTICOS PARA ACÚMULO DE MATÉRIA SECA E NUTRIENTES NA SOJA COMO VARIÁVEL DO POTENCIAL PRODUTIVO

1. INTRODUÇÃO

No Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, estão sendo desenvolvidos sistemas de recomendação de corretivos e fertilizantes, baseados no balanço entre a quantidade de nutrientes demandada pelas plantas, para um dado potencial produtivo, e a quantidade que deverá ser suprida pelo solo e pelos resíduos orgânicos da cultura antecessora.

Estes sistemas, denominados genericamente de FERTCALC®, implicam o desenvolvimento de modelos que permitam, entre outros fatores, as estimativas da produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes nos diferentes órgãos da planta, no intuito de se predizer as quantidades de nutrientes necessárias à obtenção do potencial produtivo estabelecido.

Partindo-se do pressuposto de que todas as premissas inclusas na formulação do sistema estejam corretas, é lícito pensar que a dose de fertilizante recomendada a partir do mesmo propicie a otimização de uso deste, pela minimização de perdas de nutrientes por volatilização, lixiviação ou fixação, e do acúmulo excessivo destes nos tecidos vegetais. Fica evidente, contudo, que este raciocínio seja válido para as condições em que os nutrientes são aplicados adequadamente em relação à fonte, época e forma, e o potencial produtivo almejado esteja coerente com possíveis limitações impostas pelos fatores não nutricionais (clima, nível tecnológico do agricultor, sistema de manejo do solo e da cultura, entre outros) característicos para a região ou para a propriedade agrícola.

Para a cultura da soja, diferentes modelos foram estabelecidos por Santos (2002) a partir de levantamentos bibliográficos, resultando em um sistema com embasamento teórico que permite maior confiabilidade nas recomendações técnicas para a fertilização da lavoura. No entanto, pela própria natureza dos modelos, é possível visualizar o sistema biológico em estudo de uma forma ampla,

permitindo a detecção das lacunas de informação que demandam trabalhos de pesquisa. Assim, as predições tornam-se mais eficientes à medida que os valores considerados aceitáveis são substituídos por outros, originados a partir de avaliações a campo, em condições de lavouras comerciais.

Uma das lacunas de conhecimento detectadas refere-se à escassez de trabalhos sobre a marcha de acúmulo de nutrientes e matéria seca pelos diversos órgãos da planta de soja, para as condições edafoclimáticas e o potencial produtivo característico dos produtores rurais da região dos Cerrados. Os trabalhos de quantificação da extração e exportação de nutrientes pela planta de soja foram realizados, em grande parte, até meados da década de 80 (Hanway & Weber, 1971a,b,c,d; Mascarenhas, 1972; Egli & Leggett, 1973; Bataglia & Mascarenhas, 1977; Cordeiro, 1977; Cordeiro et al., 1979; Mascarenhas et al., 1980; Moraes, 1983; Como a planta..., 1997 e Padovan, 2002).

Este trabalho foi conduzido com o objetivo de se determinar a quantidade de matéria seca produzida e as quantidades de nutrientes acumuladas e exportadas pela soja, a partir de avaliações efetuadas em 28 lavouras comerciais da região sul do Mato Grosso do Sul. As avaliações efetuadas também almejaram a definição da melhor época de coleta de amostras foliares e o tipo de folha índice mais adequado para a diagnose do estado nutricional, bem como estabelecer modelos que permitam estimar o acúmulo de matéria seca e de nutrientes de acordo com o potencial produtivo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. PROCEDIMENTOS PARA A COLETA E PREPARO DE AMOSTRAS DE PLANTAS

Foi efetuada coleta de amostras de plantas de soja no ano agrícola 2001/2002, em 28 lavouras comerciais cultivadas no sistema plantio direto, nos municípios de Dourados, Maracajú, Rio Brilhante e Ponta Porã, na região sul do Mato Grosso do Sul. Em cada talhão, procedeu-se a demarcação de uma área representativa com cerca de 2.500 m² (50 x 50 m), onde foram amostradas 30 plantas nos estádios de desenvolvimento R2, R4, R6 e R8 (Fehr & Caviness, 1977), correspondentes às fases de pleno florescimento (flores abertas em um dos dois nós superiores do caule), de vagem formada (vagem com dois centímetros de comprimento em um dos quatro nós superiores do caule), de semente cheia (vagens com sementes verdes que preenchem totalmente sua cavidade, em um dos quatro nós superiores do caule) e de maturidade completa (pelo menos 95 % das vagens apresentam-se maduras), respectivamente.

No estádio R8, o rendimento de grãos foi determinado a partir da amostragem de três linhas de cultivo, com 2 m de comprimento cada, em quatro locais determinados aleatoriamente. Desta forma, a área de amostragem variou entre 2,40 e 2,82 m², conforme o espaçamento entre linhas da lavoura (entre 40 e 47 cm). Após a secagem ao ar livre e trilhagem do material coletado, efetuaram-se as determinações da umidade e da produção de matéria seca de grãos. O valor determinado para o rendimento de grãos foi corrigido para umidade de 13 %.

Em laboratório da Embrapa Agropecuária Oeste, em Dourados, MS, cada amostra de planta foi separada em caule, pecíolo, trifólio, terceiro pecíolo e terceiro trifólio (nos estádios R2 e R4), flor (R2), vagem (R4, R6 e R8) e grãos (R6 e R8). O material vegetal foi submetido à lavagem seqüencial com água, solução ácida (HCl 0,1 mol/L) e água destilada e, após a secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65 ºC por 72 h, procedeu-se a pesagem e moagem em moinho tipo Wiley, passando-se a amostra em peneira com malha de 20 mesh (0,85 mm).

2.2. EXTRAÇÃO E DETERMINAÇÃO DE NUTRIENTES

Para a extração dos nutrientes em amostras de plantas, no laboratório do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, pesou-se 0,50 g de matéria seca, adicionaram-se 9,0 mL de mistura nítrico-perclórica, na proporção de 3,5:1 (v/v) e procedeu-se a uma pré-digestão em temperatura ambiente por uma noite. A digestão das amostras foi efetuada em chapa aquecedora, aumentando-se gradativamente a temperatura até atingir 160 ºC, mantendo-a pelo período necessário para que o volume fosse reduzido à metade. Em seguida, aumentou-se a temperatura até 200 ºC, mantendo-a até a eliminação de fumaça branca e densa e o extrato tornar-se incolor. Após o resfriamento dos frascos de vidro, adicionou-se cerca de 2 mL de água ultrapura e o extrato foi transferido para balão volumétrico de 50 mL, completando-se o volume também com água ultrapura. A solução de leitura foi homogeneizada e transferida para frascos de vidro e deixada em repouso por uma noite, para proporcionar a decantação da sílica amorfa. Foram determinados os teores de P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn por espectrometria de emissão ótica em plasma induzido (ICP-OES), Perkin Elmer, modelo Optima 3300 DV, regulado para potência de 1.300 W e para as seguintes taxas de fluxo: 15 L/min de argônio, 0,5 L/min de nitrogênio, 0,6 L/min de ar comprimido e 2,5 L/min de solução de leitura. Procedeu-se a leitura de soluções padrão preparadas para cada nutriente avaliado, no intuito de se definir o ajuste dos comprimentos de ondas e das linhas de base.

A determinação de N foi efetuada pelo método semi-micro-Kjeldahl, pesando-se 0,200 g de matéria seca em um pedaço de papel de seda, que serviu para envelopar o material e facilitar a sua introdução no tubo de digestão. Em seguida, adicionaram-se 5 mL de H_2SO_4 concentrado e cerca de 2,3 g de mistura digestora, mantendo-se em repouso por uma noite, para permitir a pré-digestão do material. Procedeu-se a digestão em bloco digestor, elevando-se a temperatura em 50 ºC a cada 30 min, até atingir 390 ºC, mantendo-se esta temperatura até completar a digestão, caracterizada pela obtenção de um líquido incolor ou levemente esverdeado. Após o esfriamento do extrato, este foi transferido para um frasco de vidro, para posterior destilação e titulação da amônia. Na prova em branco, digeriu-se apenas o pedaço de papel de seda.

Os teores de macro e micronutrientes foram expressos em g/kg e mg/kg, respectivamente. E o conteúdo dos macro (kg/t) e micronutrientes (g/t) nos diferentes órgãos da planta foi estabelecido pelo produto do teor com a produtividade de matéria seca (em kg/ha), dividido pela produtividade de grãos (em kg/ha).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de nutrientes determinados nos diferentes órgãos da plantas de soja, nos estádios de desenvolvimento R2, R4, R6 e R8, são apresentados nos quadros 1.1 e 1.2. Verificou-se que os teores de N, P, S, Fe, Mn e Zn nos trifólios são consideravelmente superiores àqueles determinados nos pecíolos. Esta diferença de valores foi de no mínimo 50 % (para P, no estádio R8), sendo que em algumas situações (N no estádio R6 e Fe nos estádios R4 e R6), foi superior a 300 %. Para Ca, Mg, B e Cu, os teores foliares apresentaram-se próximos aos do pecíolo, enquanto que os teores de K no pecíolo foram em média 70 % superiores aos do trifólio. Esta discrepância no comportamento do acúmulo de K deve-se ao fato de que, na planta de soja, há um elevado teor deste nutriente no tecido que serve de conexão do pecíolo ao caule, denominado pulvino (Hanway & Weber, 1971d).

Na flor, amostrada no estádio R2, destacam-se os teores elevados de K, B e Fe, sendo que para estes dois últimos, os valores são bastante superiores aos da folha índice (terceiro trifólio com pecíolo).

Trabalhos inicialmente desenvolvidos por Sanz et al. (1994) e Sanz & Montañés (1995) indicaram a possibilidade de se avaliar o estado nutricional de plantas perenes a partir da análise química de amostras de flores. Martinez et al. (2003) destacaram que isto possibilita melhor exatidão na diagnose nutricional de Fe, Mn e Zn, visto que os teores totais nas folhas podem não refletir a magnitude da fração fisiologicamente ativa e sim a disponibilidade dos nutrientes no solo. De acordo com Abadía et al. (2000), os maiores teores de nutrientes em amostras de flores permitiriam melhor eficácia na diagnose de deficiência, por facilitar a determinação analítica. Esta vantagem torna-se evidente quando se considera que um espectrofotômetro de absorção atômica apresenta um limite mínimo de detecção de 2,0 mg/L de Fe no extrato; desta forma, para uma diluição de 25 vezes, tem-se a determinação de teores somente a partir de 50 mg/kg. Porém, tal vantagem deixaria de existir quando se tem acesso a um espectrômetro de emissão óptica em plasma induzido (ICP-OES), cujo limite mínimo de detecção de Fe é cerca de 1.000 vezes inferior ao espectrofotômetro de absorção atômica.

Ressalta-se, contudo, que na cultura da soja, as estruturas florais

Quadro 1.1. Média ($\bar{y}$) e desvio padrão (s) para teores de macronutrientes em diferentes órgãos da planta de soja, avaliados em amostras de plantas coletadas em 28 lavouras comerciais da região sul do Mato Grosso do Sul, MS, em quatro estádios de desenvolvimento (R2, R4, R6 e R8).

Nutriente	Estádio	Caule		Pecíolos		Trifólios		Terceiro trif. + pec.		Flor ou vagem[1]		Grãos	
		$\bar{y}$	s	$\bar{y}$	s	$\bar{y}$	s	$\bar{y}$	s	$\bar{y}$	s	$\bar{y}$	s
		g/kg											
N[2]	R2	15,7	2,5	13,1	1,7	47,0	3,7	42,0	3,3	- - -	- - -	- - -	- - -
	R4	15,9	2,0	12,5	1,6	48,6	3,1	36,4	3,5	38,4	3,4	- - -	- - -
	R6	12,7	1,8	9,6	1,1	40,1	4,3	- - -	- - -	22,2	4,1	60,5	2,6
	R8	4,8	1,0	6,7	1,0	24,9	3,3	- - -	- - -	11,2	2,6	61,5	2,7
P	R2	2,2	0,5	2,2	0,4	3,8	0,5	3,1	0,5	2,3	0,5	- - -	- - -
	R4	2,1	0,5	2,0	0,5	3,2	0,4	2,5	0,5	5,1	0,7	- - -	- - -
	R6	1,7	0,5	1,7	0,5	2,7	0,5	- - -	- - -	3,2	0,7	5,1	0,3
	R8	0,8	0,4	1,3	0,6	1,9	0,4	- - -	- - -	1,3	0,5	5,9	0,5
K	R2	27,2	5,1	37,8	5,0	21,4	4,8	26,3	2,9	20,7	3,6	- - -	- - -
	R4	18,5	5,4	31,0	7,8	17,2	2,1	21,4	3,9	2,8	0,3	- - -	- - -
	R6	12,3	2,6	20,9	5,0	13,2	2,9	- - -	- - -	2,7	0,5	15,7	1,2
	R8	6,3	2,6	10,3	4,0	7,0	2,7	- - -	- - -	2,2	0,5	14,3	2,2
Ca	R2	6,6	1,9	16,2	3,4	14,3	3,0	11,8	2,2	7,0	1,3	- - -	- - -
	R4	5,6	1,4	13,5	2,3	11,4	1,4	12,4	2,4	10,1	1,4	- - -	- - -
	R6	4,3	0,9	14,7	3,1	15,2	3,5	- - -	- - -	7,3	1,1	3,4	0,6
	R8	4,1	0,8	18,8	4,0	21,7	4,7	- - -	- - -	7,9	1,3	2,5	0,4
Mg	R2	3,7	0,4	4,5	0,9	4,5	0,8	3,9	0,7	4,1	0,7	- - -	- - -
	R4	3,9	0,4	3,8	0,7	3,5	0,5	3,6	0,8	4,1	0,5	- - -	- - -
	R6	2,9	0,4	4,1	1,3	2,4	0,7	- - -	- - -	4,9	0,7	2,6	0,2
	R8	2,1	0,6	5,7	1,9	2,4	1,0	- - -	- - -	6,0	1,0	2,7	0,2
S	R2	1,6	0,7	1,2	0,5	3,2	0,4	2,8	0,7	1,2	0,2	- - -	- - -
	R4	0,8	0,3	0,8	0,4	2,9	0,3	1,6	0,3	2,3	0,5	- - -	- - -
	R6	1,0	0,3	0,7	0,3	2,7	0,5	- - -	- - -	1,5	0,3	5,5	0,4
	R8	0,6	0,3	0,6	0,4	1,7	0,5	- - -	- - -	0,9	0,3	6,5	0,5

[1] Teores de nutrientes determinados na flor (estádio R2) ou na vagem (estádios R4, R6 e R8); [2] devida à pequena quantidade de amostra coletada, não se efetuou a determinação de N na flor.

Quadro 1.2. Média ($\bar{y}$) e desvio padrão (s) para teores de micronutrientes em diferentes órgãos da planta de soja, avaliados em amostras de plantas coletadas em 28 lavouras comerciais da região sul do Mato Grosso do Sul, MS, em quatro estádios de desenvolvimento (R2, R4, R6 e R8).

Nutriente	Estádio	Caule		Pecíolos		Trifólios		Terceiro trif. + pec.		Flor ou vagem[1]		Grãos	
		$\bar{y}$	s	$\bar{y}$	s	$\bar{y}$	s	$\bar{y}$	s	$\bar{y}$	s	$\bar{y}$	s
		mg/kg											
B	R2	17	4,8	23	5,5	32	7,3	35	8,3	146	28,6	- - -	- - -
	R4	20	2,8	25	4,1	27	5,8	31	3,2	39	7,1	- - -	- - -
	R6	12	3,3	19	4,4	21	5,3	- - -	- - -	31	11,3	27	4,4
	R8	12	1,9	21	4,7	25	6,7	- - -	- - -	29	6,8	26	3,3
Cu	R2	8	4,8	7	4,4	11	5,1	14	10,7	10	2,1	- - -	- - -
	R4	12	5,0	11	5,3	12	5,0	14	5,9	10	1,7	- - -	- - -
	R6	19	10,5	10	6,2	8	3,5	- - -	- - -	8	1,4	28	13,9
	R8	15	9,1	12	7,0	8	4,8	- - -	- - -	4	1,3	34	19,0
Fe	R2	87	41,0	63	36	177	58,6	88	25,8	315	181,6	- - -	- - -
	R4	50	19,7	61	29	269	109,9	118	68,2	171	73,0	- - -	- - -
	R6	39	18,6	53	30	253	123,6	- - -	- - -	65	33,1	91	13,1
	R8	55	23,7	147	74	496	192,7	- - -	- - -	36	15,9	78	8,4
Mn	R2	16	7,2	32	20,3	83	44,7	69	43,0	62	24,4	- - -	- - -
	R4	17	7,6	40	22,5	78	37,8	85	42,1	59	31,3	- - -	- - -
	R6	15	4,7	41	14,9	85	39,9	- - -	- - -	32	15,9	40	12,4
	R8	12	6,0	52	29,0	116	43,1	- - -	- - -	26	17,8	33	6,8
Zn	R2	14	6,8	22	10,7	61	25,0	45	17,2	43	14,5	- - -	- - -
	R4	11	5,0	16	6,1	45	20,6	39	17,0	57	21,2	- - -	- - -
	R6	12	7,0	11	6,5	37	16,8	- - -	- - -	23	6,3	71	20,6
	R8	13	8,5	16	9,5	29	13,4	- - -	- - -	9	3,5	64	13,3

[1] Teores de nutrientes determinados na flor (estádio R2) ou na vagem (estádios R4, R6 e R8).

apresentam dimensão bastante reduzida, o que dificulta a coleta de amostras em quantidade suficiente para as determinações analíticas. Além disto, o período de coleta é limitado, visto que as pétalas murcham após três ou quatro dias de abertura da flor (Como a planta..., 1997).

Quando se comparam os diferentes estádios de desenvolvimento, observa-se a tendência geral de diminuição dos teores de nutrientes a partir de R4, exceto para Ca (no pecíolo e caule) e Mg (no pecíolo), que aumentaram a partir de R4 (Quadros 1.1 e 1.2). Entre R6 e R8, este efeito é ainda mais pronunciado para N, P e K, em decorrência da translocação destes para as vagens e grãos durante o processo de senescência de pecíolos e trifólios.

Observou-se, também, um aumento nos teores de micronutrientes no pecíolo e no trifólio entre os estádios R6 e R8 (Quadro 1.2). Contudo, salienta-se que isto não indica, necessariamente, que no final do ciclo reprodutivo a translocação destes nutrientes para os grãos ocorra de forma menos intensa do que a taxa de absorção pelas raízes. Na última amostragem, os pecíolos e trifólios encontravam-se em senescência, com grande impregnação de partículas de terra. Desta forma, não se pode descartar a hipótese de que alguma fração destas impurezas não tenha sido eliminada no processo de limpeza do material vegetal. Esta idéia é reforçada pela constatação de que os desvios padrão foram muito superiores na fase de maturação final em relação aos demais estádios.

Os resultados obtidos em relação ao conteúdo de macro e micronutrientes nos diferentes órgãos da planta (Quadros 1.3 e 1.4) demonstraram a ocorrência de grande incremento no caule, pecíolo e trifólio entre os dois primeiros períodos de amostragem, resultante do expressivo acúmulo de matéria seca.

Entre os estádios R4 e R6, o conteúdo no pecíolo e trifólio tendeu a variar de forma proporcional aos teores, indicando pequena alteração na produção de matéria seca. Por outro lado, as diferenças na variação do conteúdo de nutrientes em relação aos teores demonstram que o caule e, principalmente, a vagem, apresentam considerável aumento na produção de matéria seca neste período. Não houve tendência para qual fase se obteve o conteúdo máximo de nutrientes, pois esta variou entre os nutrientes e os órgãos analisados. Porém, a magnitude da diferença entre os valores obtidos nos estádios R4 e R6, na maioria das vezes, foi inferior ao desvio padrão. Trabalhos realizados com cultivares de soja de hábito de

Quadro 1.3. Média ($\bar{y}$) e desvio padrão (s) para acúmulo de macronutrientes em diferentes órgãos da planta de soja, avaliados em amostras de plantas coletadas em 28 lavouras comerciais da região sul do Mato Grosso do Sul, MS, em quatro estádios de desenvolvimento (R2, R4, R6 e R8).

Nutriente	Estádio	Caule		Pecíolos		Trifólios		Vagens		Parte aérea		Grãos	
		$\bar{y}$	s	$\bar{y}$	S	$\bar{y}$	s	$\bar{y}$	s	$\bar{y}$	s	$\bar{y}$	s
		kg/t											
N	R2	5,2	2,2	2,4	0,9	17,9	6,2	- - -	- - -	25,4	8,8	- - -	- - -
	R4	10,5	4,0	4,0	1,4	27,0	10,2	1,9	0,8	43,4	16,0	- - -	- - -
	R6	10,6	2,8	3,2	0,9	20,0	5,5	8,3	2,6	42,0	10,5	40,5	18,0
	R8	3,4	1,7	0,5	0,3	1,5	1,0	4,7	2,1	10,1	4,7	61,5	2,7
P	R2	0,7	0,3	0,4	0,2	1,4	0,6	- - -	- - -	2,6	1,0	- - -	- - -
	R4	1,4	0,6	0,7	0,2	1,8	0,7	0,2	0,1	4,1	1,6	- - -	- - -
	R6	1,4	0,5	0,6	0,2	1,3	0,4	1,3	0,6	4,6	1,5	3,5	1,5
	R8	0,6	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,2	1,3	0,8	5,9	0,5
K	R2	8,9	3,8	6,9	2,6	8,0	3,5	- - -	- - -	23,8	9,1	- - -	- - -
	R4	12,3	5,7	10,0	4,0	9,5	3,6	0,1	0,1	31,9	12,3	- - -	- - -
	R6	10,3	3,2	6,8	2,2	6,4	1,7	1,1	0,5	24,6	6,7	10,4	4,4
	R8	4,4	2,4	0,7	0,3	0,3	0,2	0,9	0,3	6,3	2,8	14,3	2,2
Ca	R2	2,1	0,9	2,9	1,1	5,2	2,2	- - -	- - -	10,2	3,8	- - -	- - -
	R4	3,7	1,5	4,4	1,7	6,4	2,5	0,5	0,2	15,0	5,7	- - -	- - -
	R6	3,6	1,2	4,8	1,6	7,6	2,7	3,0	1,2	19,1	6,2	2,1	0,8
	R8	2,8	1,0	2,0	1,5	1,4	1,0	3,3	1,2	9,6	4,2	2,5	0,4
Mg	R2	1,2	0,5	0,8	0,3	1,7	0,7	- - -	- - -	3,7	1,5	- - -	- - -
	R4	2,6	1,1	1,3	0,6	2,0	0,9	0,2	0,1	6,1	2,7	- - -	- - -
	R6	2,4	0,8	1,4	0,7	1,2	0,6	2,1	1,0	7,1	2,5	1,8	0,8
	R8	1,5	0,9	0,5	0,4	0,2	0,1	2,5	0,9	4,7	2,0	2,7	0,2
S	R2	0,6	0,3	0,2	0,1	1,2	0,5	- - -	- - -	2,0	0,8	- - -	- - -
	R4	0,5	0,2	0,3	0,1	1,6	0,6	0,1	0,1	2,4	0,8	- - -	- - -
	R6	0,9	0,3	0,2	0,1	1,3	0,3	0,6	0,2	3,0	0,7	3,6	1,6
	R8	0,4	0,3	0,1	0,0	0,1	0,1	0,4	0,2	1,0	0,4	6,5	0,5

Quadro 1.4. Média ($\bar{y}$) e desvio padrão (s) para acúmulo de micronutrientes em diferentes órgãos da planta de soja, avaliados em amostras de plantas coletadas em 28 lavouras comerciais da região sul do Mato Grosso do Sul, MS, em quatro estádios de desenvolvimento (R2, R4, R6 e R8).

Nutriente	Estádio	Caule		Pecíolos		Trifólios		Vagens		Parte aérea		Grãos	
		$\bar{y}$	s	$\bar{y}$	S	$\bar{y}$	s	$\bar{y}$	s	$\bar{y}$	s	$\bar{y}$	s
		g/t											
B	R2	5,3	2,3	4,2	1,5	12,3	4,7	- - -	- - -	21,8	7,9	- - -	- - -
	R4	12,9	4,6	8,1	2,7	15,0	5,6	1,9	0,8	37,8	13,4	- - -	- - -
	R6	10,4	4,1	5,2	2,1	9,6	3,9	11,7	4,5	37,0	9,9	17,0	6,9
	R8	8,0	2,5	1,7	0,9	1,4	0,8	11,6	3,6	22,7	7,1	26,2	3,3
Cu	R2	2,4	1,5	1,7	1,4	4,7	2,8	- - -	- - -	8,8	5,5	- - -	- - -
	R4	7,4	3,5	3,4	2,0	6,7	3,0	0,5	0,2	18,0	9,0	- - -	- - -
	R6	16,4	10,5	3,5	2,4	3,5	1,3	3,2	1,3	26,6	13,1	16,6	9,6
	R8	10,8	7,1	1,2	0,8	1,0	1,2	1,9	0,9	14,9	7,0	34,4	19,0
Fe	R2	27,3	14,5	11,0	7,0	67,7	38,0	- - -	- - -	106,1	51,9	- - -	- - -
	R4	32,8	14,4	24,0	15,7	136,2	59,1	9,6	5,5	202,7	70,6	- - -	- - -
	R6	31,9	13,3	17,6	9,2	125,9	47,5	24,9	10,9	200,3	69,4	61,3	28,0
	R8	37,9	21,5	17,3	12,5	36,2	23,2	19,0	12,7	110,3	60,7	78,4	8,4
Mn	R2	4,7	1,5	4,8	1,7	26,2	10,7	- - -	- - -	35,7	13,2	- - -	- - -
	R4	10,2	3,3	11,5	3,8	40,0	15,1	2,4	1,0	64,1	29,8	- - -	- - -
	R6	11,9	4,0	12,8	3,9	36,5	12,6	11,8	4,4	73,0	24,8	23,7	9,6
	R8	7,7	2,9	4,5	2,5	5,9	3,4	9,8	3,6	28,0	10,0	32,7	6,8
Zn	R2	4,0	1,8	3,8	1,9	20,4	8,2	- - -	- - -	28,2	16,1	- - -	- - -
	R4	6,9	3,2	5,0	2,2	22,6	8,4	2,5	1,1	37,0	24,3	- - -	- - -
	R6	9,2	5,6	3,6	2,0	17,4	7,9	9,1	3,1	39,3	15,8	41,0	19,0
	R8	6,4	3,3	1,3	0,8	1,3	0,7	3,7	1,6	12,8	6,0	64,4	13,3

crescimento indeterminado e determinado (Moraes, 1983, Sfredo et al., 1986, Padovan, 2002 e Como a planta..., 1997) demonstraram grande incremento no acúmulo de matéria seca de caule, pecíolo e trifólio entre a floração (estádio R2) e o início de formação da semente (R5), mantendo-se relativamente inalterado até a fase de grão cheio (R6). Segundo Sfredo et al. (1986), este é justamente o período crítico da cultura, em que fatores adversos como estiagem, carência nutricional e incidência de pragas e doenças podem reduzir drasticamente a produção de grãos. Já o acúmulo de matéria seca de vagens e grãos aumenta até os estádios R6 e R7 (início da maturação), respectivamente, e o acúmulo de nutrientes atinge o máximo entre R5 e R6 (Moraes, 1983, Padovan, 2002 e Como a planta..., 1997).

Na fase de maturação de grãos (entre os estádios R6 e R8) observou-se que os decréscimos no conteúdo de nutrientes no caule e na vagem tenderam a ser proporcionais à redução verificada nos teores; e nos pecíolos e trifólios, a diminuição no conteúdo refletiu o intenso processo de senescência e queda destes órgãos (Quadros 1.3 e 1.4). No final do ciclo, cerca de 80 % ou mais do conteúdo de N, P, K, Mg, S, B e Zn na parte aérea encontraram-se acumulados no caule e na vagem. Para os demais nutrientes, a quantidade presente nos pecíolos e trifólios tornou-se mais expressiva.

No quadro 1.5, são apresentadas as estimativas das quantidades de nutrientes acumuladas na parte aérea, no estádio R6, e exportadas pela cultura da soja, para a produção de 1 t de grãos. Verificou-se que o N foi o nutriente acumulado em maior quantidade, seguido de K e Ca e, em um terceiro grupo, P, Mg e S (Quadro 1.5). Quando se considerou a quantidade de nutriente exportada pelos grãos, a ordem de exigência nutricional alterou-se para N >> K > S $\cong$ P > Mg $\cong$ Ca. Estas seqüências diferiram daquelas obtidas por Bataglia & Mascarenhas (1977) e Cordeiro et al. (1979), segundo os quais o acúmulo de nutrientes na planta segue a ordem N >> K > Ca >> Mg > P $\cong$ S, e a exportação, N >> K > P > Ca $\cong$ S $\cong$ Mg.

Avaliou-se também o efeito da época de amostragem e o tipo de folha índice na capacidade preditiva da análise foliar em relação aos teores de nutrientes em outros órgãos da planta. Para tanto, realizaram-se análises de regressão para teores no caule, pecíolo e trifólio como variável dos teores em amostras de terceiro trifólio, com ou sem pecíolo, coletados nos estádios de desenvolvimento R2 e R4

Quadro 1.5. Acúmulo de nutrientes na parte aérea (estádio R6) e grãos (R8) de soja, estimados para a produção de uma tonelada de grãos.

Nutriente	Acúmulo Parte aérea e grãos	Exportação pelos grãos	
	- - - - kg/t - - - -	- - - - kg/t - - - -	- - - - % - - - -
N	103,6	61,5	59,4
P	10,6	5,9	56,1
K	38,9	14,3	36,7
Ca	21,6	2,5	11,6
Mg	9,8	2,7	27,6
S	9,5	6,5	68,5
	- - - - g/t - - - -	- - - - g/t - - - -	- - - - % - - - -
B	63,2	26,2	41,5
Cu	61,0	34,4	56,5
Fe	278,7	78,4	28,1
Mn	105,8	32,7	30,9
Zn	103,7	64,4	62,1

(Quadros 1.6 a 1.11). Ressalta-se que nas regressões foi necessária a eliminação de alguns pares de valores das variáveis analisadas, devido ao fato de se perceberem nítidas discrepâncias em relação ao conjunto amostral. A presença destes valores viesados pode ser explicada pela forma como a amostragem foi feita em lavouras de produtores rurais com diferenças na fertilidade e fator capacidade do solo, tipo e quantidade de fertilizante aplicado e distribuição pluviométrica, entre outros fatores. Por meio da análise visual dos gráficos de dispersão de dados, verificou-se a necessidade de se eliminarem números distintos de pares de valores, dependendo do nutriente em análise. Por esta razão, considerou-se um número de amostras variando de 19 (para K, Fe e Zn) a 25 (S).

A análise conjunta dos quadros 1.6 a 1.11 permitiu constatar que os teores de nutrientes (à exceção de Cu) na folha índice propiciaram uma razoável predição dos teores destes no caule, pecíolos e, principalmente, nos trifólios. A ausência de relação entre os teores de Cu na folha índice com os teores deste nutriente nos demais órgãos da planta deve-se a grande variação observada nas determinações efetuadas por ICP-OES. Dentre as 20 regressões efetuadas para cada um destes órgãos (10 nutrientes e dois tipos de folha índice), em 40 % delas o ajuste do

Quadro 1.6. Equações de regressão para o teor de nutriente no caule (C), em função do teor no terceiro trifólio (TT) ou no terceiro trifólio com pecíolo (TTP), no estádio de desenvolvimento R2.

Equação[1]		R^2
$\hat{N}_C = -5{,}94 + 0{,}378^{**}N_{TT}$	$49{,}5 \leq N_{TT} \leq 64{,}3$ g/kg	0,573
$\hat{N}_C = -8{,}77 + 0{,}558^{**}N_{TTP}$	$35{,}4 \leq N_{TTP} \leq 48{,}7$ g/kg	0,646
$\hat{P}_C = -3{,}08 + 2{,}13^{**}P_{TT} - 0{,}190^{**}P_{TT}^2$	$2{,}4 \leq P_{TT} \leq 5{,}6$ g/kg	0,739
$\hat{P}_C = 4{,}24 - 6{,}23^{**}1/P_{TTP}$	$1{,}9 \leq P_{TTP} \leq 4{,}8$ g/kg	0,775
$\hat{K}_C = -124{,}9 + 13{,}7^{*}K_{TT} - 0{,}307^{*}K_{TT}^2$	$17{,}5 \leq K_{TT} \leq 23{,}7$ g/kg	0,534
$\hat{K}_C = 309{,}4 - 117^{*}K_{TTP}^{0,5} + 12{,}1^{*}K_{TTP}$	$20{,}1 \leq K_{TTP} \leq 32{,}7$ g/kg	0,451
$\hat{Ca}_C = 0{,}458 + 0{,}472^{**}Ca_{TT}$	$8{,}0 \leq Ca_{TT} \leq 17{,}3$ g/kg	0,672
$\hat{Ca}_C = 0{,}931 + 0{,}413^{**}Ca_{TTP}$	$8{,}2 \leq Ca_{TTP} \leq 19{,}6$ g/kg	0,642
$\hat{Mg}_C = 1{,}43 + 0{,}598^{**}Mg_{TT}$	$3{,}1 \leq Mg_{TT} \leq 5{,}8$ g/kg	0,751
$\hat{Mg}_C = 1{,}47 + 0{,}577^{**}Mg_{TTP}$	$2{,}9 \leq Mg_{TTP} \leq 6{,}0$ g/kg	0,811
$\hat{S}_C = 2{,}99^{**}S_{TT}^{1,65}$	$0{,}2 \leq S_{TT} \leq 1{,}2$ g/kg	0,768
$\hat{S}_C = 2{,}31^{**}S_{TTP}^{1,61}$	$0{,}2 \leq S_{TTP} \leq 1{,}9$ g/kg	0,802
$\hat{B}_C = 1{,}42 + 0{,}398^{**}B_{TT}$	$23 \leq B_{TT} \leq 58$ mg/kg	0,762
$\hat{B}_C = 0{,}491 + 0{,}441^{**}B_{TTP}$	$21 \leq B_{TTP} \leq 56$ mg/kg	0,719
$\hat{Fe}_C = 34{,}3 + 0{,}339^{**}Fe_{TT}$	$70 \leq Fe_{TT} \leq 192$ mg/kg	0,616
$\hat{Fe}_C = 26{,}1 + 0{,}493^{**}Fe_{TTP}$	$57 \leq Fe_{TTP} \leq 157$ mg/kg	0,681
$\hat{Mn}_C = 6{,}00 + 0{,}135^{**}Mn_{TT}$	$27 \leq Mn_{TT} \leq 298$ mg/kg	0,882
$\hat{Mn}_C = 5{,}89 + 0{,}175^{**}Mn_{TTP}$	$22 \leq Mn_{TTP} \leq 230$ mg/kg	0,875
$\hat{Zn}_C = 61{,}5 - 1{,}04^{**}Zn_{TT} + 0{,}005^{**}Zn_{TT}^2$	$28 \leq Zn_{TT} \leq 139$ mg/kg	0,759
$\hat{Zn}_C = 63{,}9 - 1{,}47^{**}Zn_{TTP} + 0{,}010^{**}Zn_{TTP}^2$	$23 \leq Zn_{TTP} \leq 92$ mg/kg	0,736

[1] Número de amostras para análise de regressão = 19 (K, Fe e Zn), 21 (Mg), 22 (N, P e B), 23 (Ca), 24 (Mn) e 25 (S). Não houve ajuste de nenhum modelo matemático para o teor de Cu no caule em função do teor deste nutriente no terceiro trifólio, com ou sem pecíolo.

Quadro 1.7. Equações de regressão para o teor de nutriente no pecíolo (P) em função do teor no terceiro trifólio (TT) ou no terceiro trifólio com pecíolo (TTP), no estádio de desenvolvimento R2.

Equação[1]		R^2
$\hat{N}_P = -95{,}7 + 3{,}70^{**}N_{TT} - 0{,}031^{**}N_{TT}^2$	$47{,}6 \leq N_{TT} \leq 63{,}4$ g/kg	0,675
$\hat{N}_P = -1{,}45 + 0{,}347^{**}N_{TTP}$	$35{,}4 \leq N_{TTP} \leq 48{,}7$ g/kg	0,637
$\hat{P}_P = -4{,}23 + 2{,}97^{**}P_{TT} - 0{,}319^{**}P_{TT}^2$	$2{,}4 \leq P_{TT} \leq 5{,}6$ g/kg	0,573
$\hat{P}_P = -2{,}82 + 2{,}73^{**}P_{TTP} - 0{,}343^{**}P_{TTP}^2$	$1{,}9 \leq P_{TTP} \leq 4{,}8$ g/kg	0,679
$\hat{K}_P = 86{,}8 - 1.283^{**}1/K_{TTP}$	$22{,}9 \leq K_{TTP} \leq 31{,}0$ g/kg	0,697
$\hat{Ca}_P = 2{,}38 + 1{,}12^{**}Ca_{TT}$	$8{,}0 \leq Ca_{TT} \leq 17{,}3$ g/kg	0,650
$\hat{Ca}_P = 3{,}32 + 0{,}989^{**}Ca_{TTP}$	$8{,}2 \leq Ca_{TTP} \leq 19{,}6$ g/kg	0,636
$\hat{Mg}_P = 0{,}485 + 0{,}928^{**}Mg_{TT}$	$2{,}9 \leq Mg_{TT} \leq 5{,}8$ g/kg	0,755
$\hat{Mg}_P = 0{,}322 + 0{,}984^{**}Mg_{TTP}$	$2{,}9 \leq Mg_{TTP} \leq 6{,}0$ g/kg	0,784
$\hat{S}_P = 1{,}36^{**}S_{TT}^{1,82}$	$0{,}2 \leq S_{TT} \leq 1{,}2$ g/kg	0,879
$\hat{S}_P = 0{,}861^{**}S_{TTP}^{1,47}$	$0{,}2 \leq S_{TTP} \leq 1{,}9$ g/kg	0,879
$\hat{B}_P = 5{,}40 + 0{,}446^{**}B_{TT}$	$23 \leq B_{TT} \leq 58$ mg/kg	0,885
$\hat{B}_P = 6{,}27 + 0{,}476^{**}B_{TTP}$	$21 \leq B_{TTP} \leq 56$ mg/kg	0,892
$\hat{Fe}_P = 189 - 3{,}35^{**}Fe_{TT} + 0{,}018^{**}Fe_{TT}^2$	$70 \leq Fe_{TT} \leq 192$ mg/kg	0,936
$\hat{Fe}_P = 516 - 125^{**}Fe_{TTP}^{0,5} + 8{,}04^{**}Fe_{TTP}$	$57 \leq Fe_{TTP} \leq 157$ mg/kg	0,934
$\hat{Mn}_P = 0{,}882 + 0{,}389^{**}Mn_{TT}$	$27 \leq Mn_{TT} \leq 298$ mg/kg	0,942
$\hat{Mn}_P = 0{,}387 + 0{,}509^{**}Mn_{TTP}$	$22 \leq Mn_{TTP} \leq 230$ mg/kg	0,945
$\hat{Zn}_P = 66{,}6 - 0{,}989^{**}Zn_{TT} + 0{,}004^{**}Zn_{TT}^2$	$32 \leq Zn_{TT} \leq 139$ mg/kg	0,656
$\hat{Zn}_P = 63{,}4 - 1{,}23^{**}Zn_{TTP} + 0{,}007^{**}Zn_{TTP}^2$	$23 \leq Zn_{TTP} \leq 92$ mg/kg	0,628

[1] Número de amostras para análise de regressão = 19 (K, Fe e Zn), 21 (Mg), 22 (N, P e B), 23 (Ca), 24 (Mn) e 25 (S). Não houve ajuste de nenhum modelo matemático para o teor de K e Cu no pecíolo em função do teor deste nutriente no terceiro trifólio (K) ou terceiro trifólio com pecíolo (K e Cu).

Quadro 1.8. Equações de regressão para o teor de nutriente no trifólio (T) em função do teor no terceiro trifólio (TT) ou no terceiro trifólio com pecíolo (TTP), no estádio de desenvolvimento R2.

Equação[1]		R^2
$\hat{N}_T = 242{,}9 - 7{,}75^{**}N_{TT} + 0{,}075^{**}N_{TT}^2$	$47{,}6 \leq N_{TT} \leq 64{,}3$ g/kg	0,881
$\hat{N}_T = 173{,}1 - 6{,}80^{**}N_{TTP} + 0{,}090^{**}N_{TTP}^2$	$35{,}4 \leq N_{TTP} \leq 48{,}7$ g/kg	0,803
$\hat{P}_T = -0{,}045 + 2{,}96^{**}\ln P_{TT}$	$2{,}4 \leq P_{TT} \leq 5{,}6$ g/kg	0,802
$\hat{P}_T = 1{,}11 + 2{,}40^{**}\ln P_{TTP}$	$1{,}9 \leq P_{TTP} \leq 4{,}8$ g/kg	0,800
$\hat{K}_T = -9{,}44 + 1{,}45^{**}K_{TT}$	$16{,}1 \leq K_{TT} \leq 23{,}7$ g/kg	0,769
$\hat{K}_T = -1{,}54 + 0{,}801^{**}K_{TTP}$	$23{,}8 \leq K_{TTP} \leq 32{,}7$ g/kg	0,540
$\hat{Ca}_T = 2{,}54 + 0{,}925^{**}Ca_{TT}$	$8{,}0 \leq Ca_{TT} \leq 17{,}3$ g/kg	0,680
$\hat{Ca}_T = 24{,}9 - 138{,}0^{**}1/Ca_{TTP}$	$8{,}2 \leq Ca_{TTP} \leq 19{,}6$ g/kg	0,669
$\hat{Mg}_T = 0{,}274 + 1{,}12^{**}Mg_{TT}$	$2{,}9 \leq Mg_{TT} \leq 5{,}8$ g/kg	0,909
$\hat{Mg}_T = 0{,}671 + 0{,}948^{**}Mg_{TTP}$	$2{,}8 \leq Mg_{TTP} \leq 6{,}0$ g/kg	0,907
$\hat{S}_T = 5{,}26^{**}S_{TT}^{0{,}755}$	$0{,}2 \leq S_{TT} \leq 1{,}2$ g/kg	0,854
$\hat{S}_T = 4{,}46^{**}S_{TTP}^{0{,}619}$	$0{,}2 \leq S_{TTP} \leq 1{,}9$ g/kg	0,782
$\hat{B}_T = 6{,}79 + 0{,}731^{**}B_{TT}$	$23 \leq B_{TT} \leq 58$ mg/kg	0,769
$\hat{B}_T = 4{,}86 + 0{,}865^{**}B_{TTP}$	$21 \leq B_{TTP} \leq 56$ mg/kg	0,810
$\hat{Fe}_T = 376 - 6{,}59^{**}Fe_{TT} + 0{,}040^{**}Fe_{TT}^2$	$70 \leq Fe_{TT} \leq 192$ mg/kg	0,892
$\hat{Fe}_T = -125 + 3{,}45^{**}Fe_{TTP}$	$57 \leq Fe_{TTP} \leq 157$ mg/kg	0,859
$\hat{Mn}_T = 15{,}7 + 0{,}681^{**}Mn_{TT}$	$27 \leq Mn_{TT} \leq 298$ mg/kg	0,958
$\hat{Mn}_T = 14{,}8 + 0{,}908^{**}Mn_{TTP}$	$22 \leq Mn_{TTP} \leq 230$ mg/kg	0,953
$\hat{Zn}_T = 178 + 0{,}645^{**}Zn_{TT}$	$13 \leq Zn_{TT} \leq 139$ mg/kg	0,880
$\hat{Zn}_T = 58{,}4 - 1{,}92^{**}Zn_{TTP} + 0{,}042^{**}Zn_{TTP}^2$	$11 \leq Zn_{TTP} \leq 64$ mg/kg	0,921

[1] Número de amostras para análise de regressão = 19 (K, Fe e Zn), 21 (Mg), 22 (N, P e B), 23 (Ca), 24 (Mn) e 25 (S). Não houve ajuste de nenhum modelo matemático para o teor de Cu no trifólio em função do teor deste nutriente no terceiro trifólio, com ou sem pecíolo.

Quadro 1.9. Equações de regressão para o teor de nutriente no caule (C) em função do teor no terceiro trifólio (TT) ou no terceiro trifólio com pecíolo (TTP), no estádio de desenvolvimento R4.

Equação[1]		R^2
$\hat{N}_C = 0{,}843 + 0{,}296^{**}N_{TT}$	$46{,}2 \leq N_{TT} \leq 57{,}8$ g/kg	0,425
$\hat{N}_C = 0{,}367^{**}N_{TTP}^{1{,}05}$	$30{,}2 \leq N_{TTP} \leq 39{,}6$ g/kg	0,463
$\hat{P}_C = -4{,}04 + 3{,}36^{**}P_{TT} - 0{,}422^{**}P_{TT}^2$	$2{,}4 \leq P_{TT} \leq 5{,}6$ g/kg	0,786
$\hat{P}_C = -0{,}994 + 1{,}30^{**}P_{TTP}$	$1{,}5 \leq P_{TTP} \leq 2{,}9$ g/kg	0,853
$\hat{K}_C = -0{,}905 + 1{,}18^{*}K_{TT}$	$11{,}8 \leq K_{TT} \leq 24{,}9$ g/kg	0,832
$\hat{K}_C = -4{,}85 + 1{,}07^{**}K_{TTP}$	$12{,}2 \leq K_{TTP} \leq 28{,}2$ g/kg	0,541
$\hat{Ca}_C = 1{,}33 + 0{,}324^{**}Ca_{TT}$	$6{,}7 \leq Ca_{TT} \leq 17{,}4$ g/kg	0,679
$\hat{Ca}_C = 1{,}62 + 0{,}276^{**}Ca_{TTP}$	$7{,}3 \leq Ca_{TTP} \leq 19{,}1$ g/kg	0,739
$\hat{Mg}_C = 2{,}45 + 0{,}407^{**}Mg_{TT}$	$2{,}5 \leq Mg_{TT} \leq 5{,}9$ g/kg	0,757
$\hat{Mg}_C = -0{,}14 + 1{,}63^{**}Mg_{TTP} - 0{,}134^{**}Mg_{TTP}^2$	$2{,}8 \leq Mg_{TTP} \leq 6{,}1$ g/kg	0,833
$\hat{B}_C = 6{,}10 + 0{,}382^{**}B_{TT}$	$27 \leq B_{TT} \leq 43$ mg/kg	0,299
$\hat{B}_C = -1{,}21 + 0{,}679^{**}B_{TTP}$	$26 \leq B_{TTP} \leq 37$ mg/kg	0,561
$\hat{Fe}_C = 11{,}6 + 0{,}208^{**}Fe_{TT}$	$85 \leq Fe_{TT} \leq 398$ mg/kg	0,717
$\hat{Fe}_C = 12{,}8 + 0{,}274^{**}Fe_{TTP}$	$65 \leq Fe_{TTP} \leq 282$ mg/kg	0,717
$\hat{Mn}_C = 3{,}27 + 0{,}135^{**}Mn_{TT}$	$43 \leq Mn_{TT} \leq 309$ mg/kg	0,891
$\hat{Mn}_C = 3{,}28 + 0{,}173^{**}Mn_{TTP}$	$35 \leq Mn_{TTP} \leq 244$ mg/kg	0,891
$\hat{Zn}_C = 1/(0{,}189 - 0{,}002^{**}Zn_{TT})$	$15 \leq Zn_{TT} \leq 74$ mg/kg	0,548
$\hat{Zn}_C = 3{,}47 + 0{,}170^{**}Zn_{TTP}$	$11 \leq Zn_{TTP} \leq 57$ mg/kg	0,407

[1] Número de amostras para análise de regressão = 19 (K, Fe e Zn), 21 (Mg), 22 (N, P e B), 23 (Ca) e 24 (Mn). Não houve ajuste de nenhum modelo matemático para o teor de S e Cu no caule em função do teor deste nutriente no terceiro trifólio, com ou sem pecíolo.

Quadro 1.10. Equações de regressão para o teor de nutriente no pecíolo (P) em função do teor no terceiro trifólio (TT) ou no terceiro trifólio com pecíolo (TTP), no estádio de desenvolvimento R4.

Equação[1]		R^2
$\hat{N}_P = -3{,}33 + 0{,}301^{**}N_{TT}$	$43{,}3 \leq N_{TT} \leq 62{,}5$ g/kg	0,692
$\hat{N}_P = -4{,}40 + 0{,}460^{**}N_{TTP}$	$30{,}2 \leq N_{TTP} \leq 39{,}6$ g/kg	0,480
$\hat{P}_P = -3{,}50 + 2{,}96^{**}P_{TT} - 0{,}356^{**}P_{TT}^2$	$1{,}9 \leq P_{TT} \leq 4{,}6$ g/kg	0,761
$\hat{P}_P = -0{,}715 + 1{,}18^{**}P_{TTP}$	$1{,}5 \leq P_{TTP} \leq 2{,}9$ g/kg	0,747
$K_P = -50{,}8 + 9{,}49^{**}K_{TT} - 0{,}258^{**}K_{TT}^2$	$11{,}8 \leq K_{TT} \leq 20{,}4$ g/kg	0,743
$\hat{K}_P = 12{,}3 + 1{,}03^{**}K_{TTP}$	$12{,}2 \leq K_{TTP} \leq 28{,}2$ g/kg	0,371
$\hat{Ca}_P = 5{,}69.e^{0{,}069^{**}Ca_{TT}}$	$6{,}7 \leq Ca_{TT} \leq 17{,}4$ g/kg	0,808
$\hat{Ca}_P = 2{,}44 + 0{,}836^{**}Ca_{TTP}$	$7{,}3 \leq Ca_{TTP} \leq 19{,}1$ g/kg	0,863
$\hat{Mg}_P = 0{,}740 + 0{,}911^{**}Mg_{TT}$	$2{,}5 \leq Mg_{TT} \leq 4{,}6$ g/kg	0,772
$\hat{Mg}_P = 0{,}193 + 0{,}966^{**}Mg_{TTP}$	$2{,}8 \leq Mg_{TTP} \leq 4{,}9$ g/kg	0,893
$\hat{B}_P = -3{,}59 + 0{,}905^{**}B_{TTP}$	$26 \leq B_{TTP} \leq 37$ mg/kg	0,643
$\hat{Fe}_P = 77{,}1 - 0{,}689^{**}Fe_{TT} + 0{,}003^{**}Fe_{TT}^2$	$85 \leq Fe_{TT} \leq 398$ mg/kg	0,946
$\hat{Fe}_P = 4{,}24 + 0{,}491^{**}Fe_{TTP}$	$64 \leq Fe_{TTP} \leq 207$ mg/kg	0,576
$\hat{Mn}_P = -4{,}62 + 0{,}436^{**}Mn_{TT}$	$43 \leq Mn_{TT} \leq 309$ mg/kg	0,918
$\hat{Mn}_P = -4{,}29 + 0{,}555^{**}Mn_{TTP}$	$35 \leq Mn_{TTP} \leq 244$ mg/kg	0,916
$\hat{Zn}_P = 1/(0{,}148 - 0{,}002^{**}Zn_{TT})$	$15 \leq Zn_{TT} \leq 62$ mg/kg	0,688
$\hat{Zn}_P = 1/(0{,}152 - 0{,}002^{**}Zn_{TTP})$	$11 \leq Zn_{TTP} \leq 57$ mg/kg	0,689

[1] Número de amostras para análise de regressão = 19 (K, Fe e Zn), 21 (Mg), 22 (N, P e B), 23 (Ca), 24 (Mn) e 25 (S). Não houve ajuste de nenhum modelo matemático para o teor de S, B e Cu no pecíolo em função do teor deste nutriente no terceiro trifólio (S e B) ou terceiro trifólio com pecíolo (S, B e Cu).

Quadro 1.11. Equações de regressão para o teor de nutriente no trifólio (T) em função do teor no terceiro trifólio (TT) ou no terceiro trifólio com pecíolo (TTP), no estádio de desenvolvimento R4.

Equação[1]		R^2
$\hat{N}_T = 22{,}0 + 0{,}514^{**}N_{TT}$	$43{,}3 \leq N_{TT} \leq 62{,}5$ g/kg	0,629
$\hat{N}_T = 23{,}5 + 0{,}698^{**}N_{TTP}$	$30{,}2 \leq N_{TTP} \leq 39{,}6$ g/kg	0,479
$\hat{P}_T = -1{,}55 + 2{,}39^{**} P_{TT} - 0{,}251^{**}P_{TT}^2$	$1{,}9 \leq P_{TT} \leq 4{,}6$ g/kg	0,871
$\hat{P}_T = -0{,}920 + 2{,}45^{**}P_{TTP} - 0{,}298^{**}P_{TTP}^2$	$1{,}5 \leq P_{TTP} \leq 4{,}1$ g/kg	0,876
$\hat{K}_T = -9{,}16 + 2{,}69^{**}K_{TT} - 0{,}065^{**}K_{TT}^2$	$11{,}8 \leq K_{TT} \leq 20{,}4$ g/kg	0,929
$\hat{K}_T = 9{,}55 + 0{,}359^{**}K_{TTP}$	$12{,}2 \leq K_{TTP} \leq 25{,}8$ g/kg	0,777
$\hat{Ca}_T = 4{,}22 + 0{,}578^{**}Ca_{TT}$	$6{,}7 \leq Ca_{TT} \leq 17{,}4$ g/kg	0,761
$\hat{Ca}_T = 4{,}77 + 0{,}501^{**}Ca_{TTP}$	$7{,}4 \leq Ca_{TTP} \leq 19{,}1$ g/kg	0,779
$\hat{Mg}_T = 1{,}62 + 0{,}579^{**}Mg_{TT}$	$2{,}5 \leq Mg_{TT} \leq 5{,}9$ g/kg	0,887
$\hat{Mg}_T = 1{,}55 + 0{,}569^{**}Mg_{TTP}$	$2{,}8 \leq Mg_{TTP} \leq 6{,}1$ g/kg	0,843
$\hat{S}_T = 3{,}21^{**}S_{TT}^{0{,}134}$	$0{,}1 \leq S_{TT} \leq 0{,}8$ g/kg	0,514
$\hat{S}_T = 3{,}11^{**}S_{TTP}^{0{,}128}$	$0{,}2 \leq S_{TTP} \leq 1{,}0$ g/kg	0,419
$\hat{B}_T = -15{,}2 + 1{,}26^{**}B_{TT}$	$28 \leq B_{TT} \leq 43$ mg/kg	0,800
$\hat{B}_T = -26{,}2 + 1{,}74^{**}B_{TTP}$	$26 \leq B_{TTP} \leq 37$ mg/kg	0,737
$\hat{Fe}_T = 3{,}73 + 1{,}90^{**}Fe_{TT}$	$85 \leq Fe_{TT} \leq 275$ mg/kg	0,768
$\hat{Fe}_T = -12{,}5 + 2{,}82^{**}Fe_{TTP}$	$64 \leq Fe_{TTP} \leq 189$ mg/kg	0,795
$\hat{Mn}_T = -1{,}93 + 0{,}686^{**}Mn_{TT}$	$43 \leq Mn_{TT} \leq 309$ mg/kg	0,963
$\hat{Mn}_T = -0{,}248 + 0{,}901^{**}Mn_{TTP}$	$35 \leq Mn_{TTP} \leq 244$ mg/kg	0,970
$\hat{Zn}_T = 6{,}76 + 0{,}734^{**}Zn_{TT}$	$15 \leq Zn_{TT} \leq 159$ mg/kg	0,975
$\hat{Zn}_T = 3{,}46 + 1{,}16^{**}Zn_{TTP}$	$11 \leq Zn_{TTP} \leq 104$ mg/kg	0,966

[1] Número de amostras para análise de regressão = 19 (K, Fe e Zn), 21 (Mg), 22 (N, P e B), 23 (Ca), 24 (Mn) e 25 (S). Não houve ajuste de nenhum modelo matemático para o teor de Cu no trifólio em função do teor deste nutriente no terceiro trifólio, com ou sem pecíolo.

modelo foi muito semelhante para ambos os estádios de desenvolvimento avaliados. Porém, em 35 a 40 % destas regressões, o coeficiente de determinação foi consideravelmente superior para o estádio R2, o que implica melhor predição do estado nutricional da planta como um todo. E considerando-se apenas o estádio R2, verificou-se que os coeficientes de determinação foram equivalentes em 70 % (para o caule) a 90 % (para os trifólios) dos modelos estabelecidos, em relação ao tipo de folha índice adotado.

Em suma, independentemente da folha índice escolhida, pode-se fazer uma estimativa razoável da composição nutricional dos diversos órgãos da planta de soja, no estádio de plena floração.

Nas recomendações técnicas para a cultura, encontram-se sugestões para a coleta do terceiro trifólio com o pecíolo (Raij, 1991; Borkert et al., 1994; Bataglia et al., 1996 e CFSEMG, 1999) ou sem pecíolo (Malavolta et al., 1997 e Embrapa, 2002). Contudo, torna-se preocupante o fato de que as faixas de suficiências adotadas por estes autores são as mesmas para ambos os tipos de folha índice. Todavia, é evidente a possibilidade de se equivocar na interpretação do estado nutricional da soja, caso o tipo de folha índice não seja considerado (Quadro 1.12). Os interceptos e os coeficientes lineares das equações de regressão apresentadas indicam que amostras do terceiro trifólio sem pecíolo apresentam teores menores de K e maiores de N, P, Cu, Fe, Mn e Zn em relação a amostras de terceiro trifólio com pecíolo. Desta forma, verifica-se a necessidade de estabelecimento de valores de referência específicos para o tipo de folha índice amostrado. A estreita relação linear dos teores de nutrientes no terceiro trifólio observada com os teores no terceiro trifólio com pecíolo (Quadro 1.12) permite que os valores de referência estabelecidos para um padrão de folha índice possam ser adequados para outro. Porém, considerando-se que em termos de prática de amostragem a inclusão do pecíolo facilita o trabalho a campo, tanto na coleta como no manuseio do material vegetal, sugere-se a adoção do trifólio completo (com pecíolo) no procedimento de amostragem.

Quando se avaliou o conteúdo de nutrientes na folha índice nos estádios R2 e R4, obteve-se boa correlação destes com o rendimento de matéria seca de parte aérea no estádio R6 (Quadro 1.13). Da mesma forma que o observado em relação aos teores, verifica-se que os conteúdos no terceiro trifólio, com ou sem

Quadro 1.12. Equações de regressão para o teor de nutrientes no terceiro trifólio (TT) em função do teor no terceiro trifólio com pecíolo (TTP), nos estádios de desenvolvimento R2 (2) e R4 (4).

Equação[1]		R^2
$\hat{N}_{TT2} = 9{,}34 + 1{,}13^{**}N_{TTP2}$	$35{,}4 \leq N_{TTP2} \leq 48{,}7$ g/kg	0,889
$\hat{N}_{TT4} = 9{,}41 + 1{,}16^{*}N_{TTP4}$	$30{,}2 \leq N_{TTP4} \leq 47{,}4$ g/kg	0,885
$\hat{P}_{TT2} = 0{,}355 + 1{,}07^{**} P_{TTP2}$	$1{,}9 \leq P_{TTP2} \leq 4{,}8$ g/kg	0,964
$\hat{P}_{TT4} = 0{,}594 + 0{,}979^{**}P_{TTP4}$	$1{,}5 \leq P_{TTP4} \leq 4{,}1$ g/kg	0,960
$\hat{K}_{TT2} = 6{,}39 + 0{,}499^{**}K_{TTP2}$	$22{,}2 \leq K_{TTP2} \leq 32{,}7$ g/kg	0,527
$\hat{K}_{TT4} = 3{,}28 + 0{,}632^{**}K_{TTP4}$	$12{,}2 \leq K_{TTP4} \leq 28{,}2$ g/kg	0,745
$\hat{Ca}_{TT2} = 1{,}27 + 0{,}848^{**}Ca_{TTP2}$	$8{,}2 \leq Ca_{TTP2} \leq 19{,}6$ g/kg	0,981
$\hat{Ca}_{TT4} = 0{,}639 + 0{,}892^{**}Ca_{TTP4}$	$7{,}3 \leq Ca_{TTP4} \leq 19{,}1$ g/kg	0,976
$\hat{Mg}_{TT2} = 0{,}428 + 0{,}901^{**}Mg_{TTP2}$	$2{,}8 \leq Mg_{TTP2} \leq 6{,}0$ g/kg	0,969
$\hat{Mg}_{TT4} = -0{,}153 + 0{,}968^{**}Mg_{TTP4}$	$2{,}8 \leq Mg_{TTP4} \leq 6{,}1$ g/kg	0,926
$\hat{S}_{TT2} = 0{,}030 + 0{,}824^{**}S_{TTP2}$	$0{,}2 \leq S_{TTP2} \leq 1{,}4$ g/kg	0,976
$\hat{S}_{TT4} = 0{,}036 + 0{,}784^{**}S_{TTP4}$	$0{,}2 \leq S_{TTP4} \leq 1{,}0$ g/kg	0,928
$\hat{B}_{TT2} = -2{,}66 + 1{,}19^{**}B_{TTP2}$	$21 \leq B_{TTP2} \leq 49$ mg/kg	0,977
$\hat{B}_{TT4} = -3{,}83 + 1{,}22^{**}B_{TTP4}$	$26 \leq B_{TTP4} \leq 37$ mg/kg	0,871
$\hat{Cu}_{TT4} = -3{,}77 + 1{,}53^{**}Cu_{TTP4}$	$6 \leq Cu_{TTP4} \leq 26$ mg/kg	0,905
$\hat{Fe}_{TT2} = -5{,}40 + 1{,}41^{**}Fe_{TTP2}$	$57 \leq Fe_{TTP2} \leq 136$ mg/kg	0,986
$\hat{Fe}_{TT4} = -7{,}40 + 1{,}44^{**}Fe_{TTP4}$	$64 \leq Fe_{TTP4} \leq 282$ mg/kg	0,991
$\hat{Mn}_{TT2} = -1{,}52 + 1{,}32^{**}Mn_{TTP2}$	$22 \leq Mn_{TTP2} \leq 230$ mg/kg	0,998
$\hat{Mn}_{TT4} = 0{,}927 + 1{,}29^{**}Mn_{TTP4}$	$35 \leq Mn_{TTP4} \leq 244$ mg/kg	0,994
$\hat{Zn}_{TT2} = -7{,}43 + 1{,}50^{**}Zn_{TTP2}$	$11 \leq Zn_{TTP2} \leq 92$ mg/kg	0,976
$\hat{Zn}_{TT4} = -6{,}27 + 1{,}55^{**}Zn_{TTP4}$	$11 \leq Zn_{TTP4} \leq 104$ mg/kg	0,987

[1] Número de amostras para análise de regressão = 24. Não houve ajuste de nenhum modelo matemático para o teor de Cu no terceiro trifólio em função do teor deste nutriente no terceiro trifólio com pecíolo, no estádio R2.

Quadro 1.13. Coeficientes de correlação linear simples de Pearson (r) entre o rendimento máximo de matéria seca de parte aérea de soja (estádio de desenvolvimento R6) e conteúdo de nutrientes no terceiro trifólio (TT) e terceiro trifólio com pecíolo (TTP), determinados nos estádios R2 e R4.

Nutriente	n[1]	Estádio de desenvolvimento			
		R2		R4	
		TT	TTP	TT	TTP
N	24	0,895**	0,900**	0,864**	0,882**
P	24	0,857**	0,860**	0,854**	0,868**
K	24	0,808**	0,837**	0,645**	0,686**
Ca	24	0,780**	0,756**	0,787**	0,801**
Mg	24	0,747**	0,721**	0,617**	0,737**
S	24	0,866**	0,814**	0,748**	0,783**
B	22	0,764**	0,763**	0,924**	0,923**
Cu	19	0,713**	0,740**	0,639**	0,368[n.s.]
Fe	19	0,646**	0,594**	0,417*	0,499*
Mn	19	0,681**	0,685**	0,757**	0,751**
Zn	19	0,792**	0,799**	0,705**	0,675**

[1] n = número de amostras consideradas na análise de correlação.
[n.s.], * e **: Não significativo até 5 % e significativo a 5 e 1 %, respectivamente.

pecíolo, são igualmente relacionados ao rendimento de matéria seca de parte aérea. E comparando-se os coeficientes de correlação obtidos no estádio R2 em relação àqueles obtidos no estádio R4, verifica-se que estes foram muito semelhantes para os nutrientes N, P, Ca, Mg e S e superiores para K, Cu, Fe e Zn. Assim, confirma-se a adequação do uso de ambos os tipos de folha índice, desde que amostrados na floração plena (R2).

A época de coleta de amostras foliares para fins de diagnose nutricional para a cultura da soja não é bem definida, havendo recomendação de amostragem nos estádios de início de floração (Sfredo et al., 1986 e Embrapa, 2002), floração plena (Souza & Carvalho, 1985; Raij, 1991; Bataglia et al., 1996 e CFSEMG, 1999) ou início da formação de vagens (Malavolta et al., 1997). De acordo com Small & Ohlrogge (1973), a amostragem no estádio R4 seria mais recomendável para cultivares com hábito de crescimento indeterminado, em que a fase de florescimento se estende por um longo período.

No quadro 1.14, são apresentados os modelos ajustados para a estimativa de rendimento de grãos em função da produção de matéria seca dos diferentes órgãos da planta, e da parte aérea como um todo, nos quatro estádios de desenvolvimento avaliados. Como era de se esperar, a produção de matéria seca de vagens não apresentou ajuste adequado com o rendimento de grãos no estádio R4, dado o intenso acúmulo de matéria seca neste órgão durante este período (Como a planta..., 1997). As coletas de amostras não ocorreram no mesmo dia, em virtude de diferenças na data de semeadura e ciclo de desenvolvimento vegetativo dos cultivares. Portanto, pequenas diferenças na idade em que a amostragem foi efetuada podem ter originado grande variabilidade na produção de matéria seca. Da mesma forma, na fase de maturação completa dos grãos (R8), as plantas encontravam-se praticamente senescentes, e os poucos trifólios que ainda não haviam caído apresentaram grande variabilidade na produção de matéria seca.

Uma vez definido o potencial produtivo almejado, pode-se estimar a produção de matéria seca da folha índice no estádio de floração plena (Quadro 1.14). Com base nos teores médios (Quadros 1.1 e 1.2), ou em teores ótimos estimados por um método de diagnose do estado nutricional, pode-se calcular o conteúdo de nutrientes no terceiro trifólio com pecíolo. E a partir disto, pode-se proceder à estimativa do conteúdo deste no caule, pecíolos, trifólios, vagens e nos grãos, em diferentes estádios (Quadros 1.15 a 1.18). Conforme visto anteriormente (Quadros 1.3 e 1.4), o conteúdo máximo de nutrientes nos diferentes órgãos da planta ocorre entre os estádios R4 (N, K, B e Fe) e R6 (P, Ca, Mg, S, Cu, Mn e Zn). Por esta razão, optou-se por ajustar os modelos para ambos, no intuito de se permitir o cálculo da máxima demanda nutricional pela soja, associada ao potencial produtivo estabelecido.

O inverso do teor de um dado macronutriente (expresso em g/kg) ou micronutriente (mg/kg), multiplicado por 1.000 ou 1.000.000, respectivamente, corresponde a um índice denominado coeficiente de utilização biológica (CUB), que expressa a quantidade de matéria seca produzida (kg) por unidade do nutriente imobilizado nos tecidos (kg). Quanto maior é este índice, maior será a

Quadro 1.14. Equações de regressão para produção de matéria seca (t/ha) de caule (c), pecíolos (p), trifólios (t), terceiro trifólio (tt), terceiro trifólio com pecíolo (ttp), vagens (v) e parte aérea[1] (pa), em diferentes estádios de desenvolvimento (R2, R4, R6 e R8), em função de rendimento de grãos de soja.

Equação[2]		R^2
R2		
$\hat{c}_2 = 0{,}110\ e^{0{,}610^{**}rg}$	$2{,}813 \leq rg \leq 4{,}810$ t/ha	0,715
$\hat{p}_2 = 0{,}050\ e^{0{,}617^{**}rg}$	$2{,}813 \leq rg \leq 4{,}810$ t/ha	0,716
$\hat{t}_2 = 0{,}137\ e^{0{,}576^{**}rg}$	$2{,}813 \leq rg \leq 4{,}810$ t/ha	0,679
$\hat{tt}_2 = 0{,}027\ e^{0{,}542^{**}rg}$	$2{,}813 \leq rg \leq 4{,}655$ t/ha	0,679
$\hat{ttp}_2 = 0{,}044\ e^{0{,}524^{**}rg}$	$2{,}813 \leq rg \leq 4{,}655$ t/ha	0,650
$\hat{pa}_2 = 0{,}333\ e^{0{,}588^{**}rg}$	$2{,}813 \leq rg \leq 4{,}810$ t/ha	0,727
R4		
$\hat{c}_4 = 0{,}217\ e^{0{,}611^{**}rg}$	$2{,}813 \leq rg \leq 4{,}810$ t/ha	0,656
$\hat{p}_4 = 0{,}062\ e^{0{,}710^{**}rg}$	$2{,}813 \leq rg \leq 4{,}810$ t/ha	0,769
$\hat{t}_4 = 0{,}185\ e^{0{,}597^{**}rg}$	$2{,}813 \leq rg \leq 4{,}810$ t/ha	0,625
$\hat{tt}_4 = 0{,}044\ e^{0{,}443^{**}rg}$	$2{,}813 \leq rg \leq 4{,}810$ t/ha	0,532
$\hat{ttp}_4 = 0{,}071\ e^{0{,}443^{**}rg}$	$2{,}813 \leq rg \leq 4{,}810$ t/ha	0,597
$\hat{v}_4 = 0{,}008\ e^{2{,}374^{**}rg}$	$2{,}813 \leq rg \leq 4{,}810$ t/ha	0,392
$\hat{pa}_4 = 0{,}506\ e^{0{,}615^{**}rg}$	$2{,}813 \leq rg \leq 4{,}810$ t/ha	0,704
R6		
$\hat{c}_6 = 0{,}338\ e^{0{,}568^{**}rg}$	$2{,}813 \leq rg \leq 4{,}655$ t/ha	0,705
$\hat{p}_6 = 0{,}144\ e^{0{,}548^{**}rg}$	$2{,}813 \leq rg \leq 4{,}810$ t/ha	0,809
$\hat{t}_6 = 0{,}175\ e^{0{,}601^{**}rg}$	$2{,}813 \leq rg \leq 4{,}810$ t/ha	0,738
$\hat{v}_6 = 0{,}074\ e^{0{,}742^{**}rg}$	$2{,}813 \leq rg \leq 4{,}810$ t/ha	0,578
$\hat{pa}_6 = 0{,}717\ e^{0{,}611^{**}rg}$	$2{,}813 \leq rg \leq 4{,}655$ t/ha	0,751
R8		
$\hat{c}_8 = 0{,}255\ e^{0{,}570^{**}rg}$	$2{,}813 \leq rg \leq 4{,}810$ t/ha	0,642
$\hat{p}_8 = 0{,}008\ e^{0{,}919^{**}rg}$	$2{,}813 \leq rg \leq 4{,}810$ t/ha	0,555
$\hat{t}_8 = 1/(21{,}5 - 3{,}72*rg)$	$2{,}813 \leq rg \leq 4{,}810$ t/ha	0,210
$\hat{v}_8 = 0{,}089\ e^{0{,}701^{**}rg}$	$2{,}813 \leq rg \leq 4{,}810$ t/ha	0,702
$\hat{pa}_8 = 0{,}360\ e^{0{,}635^{**}rg}$	$2{,}813 \leq rg \leq 4{,}810$ t/ha	0,663

[1] A matéria seca de parte aérea refere-se ao somatório da matéria seca de caule, pecíolos, trifólios e vagens (nos estádios R4, R6 e R8). [2] Número de amostras para análise de regressão = 21.

Quadro 1.15. Equações de regressão para o conteúdo de nutriente (kg/ha) no caule (C), nos estádios de desenvolvimento R4 (4) e R6 (6), em função do conteúdo no terceiro trifólio com pecíolo (TTP), no estádio R2.

Equação[1]		R^2
$\hat{N}_{C4} = 3{,}23^{**}N_{TTP}^{0{,}953}$	$4{,}3 \leq N_{TTP} \leq 20$ kg/ha	0,802
$\hat{N}_{C6} = 9{,}69^{**}N_{TTP}^{0{,}504}$	$4{,}3 \leq N_{TTP} \leq 20$ kg/ha	0,614
$\hat{P}_{C4} = 4{,}60^{**}P_{TTP}^{1{,}10}$	$0{,}23 \leq P_{TTP} \leq 1{,}5$ kg/ha	0,847
$\hat{P}_{C6} = 5{,}50^{**}P_{TTP}^{1{,}27}$	$0{,}23 \leq P_{TTP} \leq 1{,}5$ kg/ha	0,857
$\hat{K}_{C4} = 5{,}29^{**}K_{TTP}^{0{,}973}$	$3{,}1 \leq K_{TTP} \leq 14$ kg/ha	0,674
$\hat{K}_{C6} = -13{,}0 + 8{,}63^{**}K_{TTP} - 0{,}304^{**}K_{TTP}^{2}$	$3{,}1 \leq K_{TTP} \leq 14$ kg/ha	0,854
$\hat{Ca}_{C4} = 3{,}24^{**}Ca_{TTP}^{0{,}994}$	$0{,}99 \leq Ca_{TTP} \leq 6{,}6$ kg/ha	0,696
$\hat{Ca}_{C6} = 3{,}46^{**}Ca_{TTP}^{0{,}995}$	$0{,}99 \leq Ca_{TTP} \leq 6{,}2$ kg/ha	0,818
$\hat{Mg}_{C4} = 7{,}33^{**}Mg_{TTP}^{1{,}02}$	$0{,}49 \leq Mg_{TTP} \leq 1{,}6$ kg/ha	0,749
$\hat{Mg}_{C6} = 2{,}31.e^{1{,}02^{**}Mg_{TTP}}$	$0{,}49 \leq Mg_{TTP} \leq 2{,}1$ kg/ha	0,787
$\hat{S}_{C6} = 3{,}55^{**}S_{TTP}^{0{,}813}$	$0{,}21 \leq S_{TTP} \leq 1{,}7$ kg/ha	0,603
$\hat{B}_{C4} = 13{,}5 + 3{,}16^{**}B_{TTP}$	$5{,}2 \leq B_{TTP} \leq 19$ g/ha	0,560
$\hat{B}_{C6} = 2{,}82^{**}B_{TTP}^{1{,}10}$	$5{,}2 \leq B_{TTP} \leq 19$ g/ha	0,668
$\hat{Cu}_{C4} = 12{,}7^{**}Cu_{TTP}^{0{,}791}$	$1{,}1 \leq Cu_{TTP} \leq 8{,}0$ g/ha	0,557
$\hat{Cu}_{C6} = 25{,}8^{**}Cu_{TTP}^{0{,}438}$	$1{,}1 \leq Cu_{TTP} \leq 11$ g/ha	0,402
$\hat{Fe}_{C4} = 1{,}59^{**}Fe_{TTP}^{1{,}33}$	$13 \leq Fe_{TTP} \leq 39$ g/ha	0,781
$\hat{Fe}_{C6} = 7{,}45^{**}Fe_{TTP}^{0{,}799}$	$13 \leq Fe_{TTP} \leq 39$ g/ha	0,444
$\hat{Zn}_{C6} = -1{,}90 + 2{,}10^{**}Zn_{TTP}$	$4{,}2 \leq Zn_{TTP} \leq 30$ g/ha	0,655

[1] Número de amostras para análise de regressão = 19 (K, Fe e Zn), 21 (Mg), 22 (N, P e B), 23 (Ca), 24 (Mn) e 25 (S). Não houve ajuste de nenhum modelo matemático para o conteúdo de S e Zn no caule em função do conteúdo destes nutrientes no terceiro trifólio com pecíolo, no estádio de desenvolvimento R4.

Quadro 1.16. Equações de regressão para o conteúdo de nutriente (kg/ha) nos pecíolos (P), nos estádios de desenvolvimento R4 (4) e R6 (6), em função do conteúdo no terceiro trifólio com pecíolo (TTP), no estádio R2.

Equação[1]		R^2
$\hat{N}_{P4} = 0{,}875^{**}N_{TTP}^{1{,}04}$	$4{,}3 \leq N_{TTP} \leq 20$ kg/ha	0,812
$\hat{N}_{P6} = 1{,}33^{**}N_{TTP}^{0{,}799}$	$4{,}3 \leq N_{TTP} \leq 20$ kg/ha	0,752
$\hat{P}_{P4} = 2{,}22^{**}P_{TTP}^{1{,}13}$	$0{,}23 \leq P_{TTP} \leq 1{,}5$ kg/ha	0,810
$\hat{P}_{P6} = 2{,}03^{**}P_{TTP}^{1{,}26}$	$0{,}23 \leq P_{TTP} \leq 1{,}5$ kg/ha	0,841
$\hat{K}_{P4} = 4{,}52^{**}K_{TTP}^{0{,}937}$	$3{,}1 \leq K_{TTP} \leq 14$ kg/ha	0,585
$\hat{K}_{P6} = 6{,}20^{**}K_{TTP}^{0{,}620}$	$3{,}1 \leq K_{TTP} \leq 14$ kg/ha	0,584
$\hat{Ca}_{P4} = 4{,}13^{**}Ca_{TTP}^{0{,}959}$	$0{,}99 \leq Ca_{TTP} \leq 6{,}6$ kg/ha	0,731
$\hat{Ca}_{P6} = 5{,}31^{**}Ca_{TTP}^{0{,}876}$	$0{,}99 \leq Ca_{TTP} \leq 6{,}6$ kg/ha	0,722
$\hat{Mg}_{P4} = 3{,}36^{**}Mg_{TTP}^{1{,}53}$	$0{,}49 \leq Mg_{TTP} \leq 2{,}1$ kg/ha	0,775
$\hat{Mg}_{P6} = 3{,}38^{*}Mg_{TTP}^{1{,}15}$	$0{,}49 \leq Mg_{TTP} \leq 2{,}1$ kg/ha	0,694
$\hat{S}_{P6} = 0{,}847^{**}S_{TTP}^{0{,}589}$	$0{,}21 \leq S_{TTP} \leq 1{,}9$ kg/ha	0,385
$\hat{B}_{P4} = 5{,}15^{**}B_{TTP}^{0{,}672}$	$5{,}2 \leq B_{TTP} \leq 19$ g/ha	0,376
$\hat{B}_{P6} = -2{,}78 + 2{,}09^{**}B_{TTP}$	$5{,}2 \leq B_{TTP} \leq 19$ g/ha	0,751
$\hat{Cu}_{P4} = -0{,}638 + 3{,}71^{**}Cu_{TTP}$	$1{,}1 \leq Cu_{TTP} \leq 7{,}6$ g/ha	0,738
$\hat{Cu}_{P6} = 1{,}44 + 2{,}06^{**}Cu_{TTP}$	$1{,}2 \leq Cu_{TTP} \leq 7{,}6$ g/ha	0,442
$\hat{Fe}_{P4} = 0{,}617^{**}Fe_{TTP}^{1{,}41}$	$18 \leq Fe_{TTP} \leq 39$ g/ha	0,499
$\hat{Fe}_{P6} = 11{,}4^{**}Fe_{TTP}^{0{,}473}$	$13 \leq Fe_{TTP} \leq 50$ g/ha	0,396
$\hat{Mn}_{P4} = 19{,}9^{**}Mn_{TTP}^{0{,}274}$	$8{,}2 \leq Mn_{TTP} \leq 56$ g/ha	0,295
$\hat{Zn}_{P4} = 1{,}49^{**}Zn_{TTP}^{1{,}03}$	$5{,}4 \leq Zn_{TTP} \leq 24$ g/ha	0,756
$\hat{Zn}_{P6} = 0{,}751^{**}Zn_{TTP}^{1{,}14}$	$6{,}9 \leq Zn_{TTP} \leq 21$ g/ha	0,432

[1] Número de amostras para análise de regressão = 19 (K, Fe e Zn), 21 (Mg), 22 (N, P e B), 23 (Ca), 24 (Mn) e 25 (S). Não houve ajuste de nenhum modelo matemático para o conteúdo de S e Mn nos pecíolos em função do conteúdo destes nutrientes no terceiro trifólio com pecíolo, nos estádios de desenvolvimento R4 e R6, respectivamente.

Quadro 1.17. Equações de regressão para o conteúdo de nutriente (kg/ha) nos trifólios (T), nos estádios de desenvolvimento R4 (4) e R6 (6), em função do conteúdo no terceiro trifólio com pecíolo (TTP), no estádio R2.

Equação[1]		R^2
$\hat{N}_{T4} = 10{,}4^{**}N_{TTP}^{0{,}829}$	$4{,}3 \leq N_{TTP} \leq 20$ kg/ha	0,763
$\hat{N}_{T6} = 8{,}24^{**}N_{TTP}^{0{,}854}$	$4{,}3 \leq N_{TTP} \leq 20$ kg/ha	0,891
$\hat{P}_{T4} = 6{,}23^{**}P_{TTP}^{0{,}959}$	$0{,}23 \leq P_{TTP} \leq 1{,}5$ kg/ha	0,822
$\hat{P}_{T6} = 5{,}25^{**}P_{TTP}^{0{,}908}$	$0{,}23 \leq P_{TTP} \leq 1{,}5$ kg/ha	0,845
$\hat{K}_{T4} = 5{,}25^{**}K_{TTP}^{0{,}821}$	$3{,}1 \leq K_{TTP} \leq 14$ kg/ha	0,780
$\hat{K}_{T6} = 3{,}75^{**}K_{TTP}^{0{,}882}$	$3{,}1 \leq K_{TTP} \leq 14$ kg/ha	0,871
$\hat{Ca}_{T4} = 6{,}79^{**}Ca_{TTP}^{0{,}812}$	$0{,}99 \leq Ca_{TTP} \leq 6{,}6$ kg/ha	0,788
$\hat{Ca}_{T6} = 6{,}15^{**}Ca_{TTP}^{1{,}07}$	$0{,}99 \leq Ca_{TTP} \leq 6{,}6$ kg/ha	0,817
$\hat{Mg}_{T4} = 1{,}33.e^{1{,}30^{**}Mg_{TTP}}$	$0{,}49 \leq Mg_{TTP} \leq 2{,}1$ kg/ha	0,878
$\hat{Mg}_{T6} = -1{,}45 + 4{,}92^{**}Mg_{TTP}$	$0{,}49 \leq Mg_{TTP} \leq 2{,}1$ kg/ha	0,831
$\hat{S}_{T4} = 6{,}12^{**}S_{TTP}^{0{,}487}$	$0{,}21 \leq S_{TTP} \leq 1{,}9$ kg/ha	0,516
$\hat{S}_{T6} = 5{,}14^{**}S_{TTP}^{0{,}394}$	$0{,}21 \leq S_{TTP} \leq 1{,}9$ kg/ha	0,534
$\hat{B}_{T4} = 4{,}86^{**}B_{TTP}^{0{,}938}$	$5{,}2 \leq B_{TTP} \leq 19$ g/ha	0,566
$\hat{B}_{T6} = 10{,}2 + 2{,}30^{**}B_{TTP}$	$5{,}2 \leq B_{TTP} \leq 18$ g/ha	0,607
$\hat{Cu}_{T4} = -1{,}33 + 8{,}24^{**}Cu_{TTP} - 0{,}474^{**}Cu_{TTP}$	$1{,}1 \leq Cu_{TTP} \leq 11$ g/ha	0,793
$\hat{Cu}_{T6} = 4{,}85 + 1{,}82^{**}Cu_{TTP}$	$1{,}1 \leq Cu_{TTP} \leq 11$ g/ha	0,770
$\hat{Fe}_{T4} = 20{,}3^{**}Fe_{TTP}^{0{,}961}$	$13 \leq Fe_{TTP} \leq 56$ g/ha	0,716
$\hat{Fe}_{T6} = 68{,}5^{**}Fe_{TTP}^{0{,}598}$	$13 \leq Fe_{TTP} \leq 39$ g/ha	0,426
$\hat{Mn}_{T4} = 80{,}9 + 3{,}31^{**}Mn_{TTP}$	$8{,}2 \leq Mn_{TTP} \leq 56$ g/ha	0,680
$\hat{Mn}_{T6} = 258 - 1.757^{**}1/Mn_{TTP}$	$8{,}2 \leq Mn_{TTP} \leq 56$ g/ha	0,674
$\hat{Zn}_{T4} = 11{,}9 + 4{,}80^{**}Zn_{TTP}$	$5{,}4 \leq Zn_{TTP} \leq 22$ g/ha	0,868
$\hat{Zn}_{T6} = 9{,}62^{**}Zn_{TTP}^{0{,}666}$	$4{,}2 \leq Zn_{TTP} \leq 30$ g/ha	0,550

[1] Número de amostras para análise de regressão = 19 (K, Fe e Zn), 21 (Mg), 22 (N, P e B), 23 (Ca), 24 (Mn) e 25 (S).

Quadro 1.18. Equações de regressão para o conteúdo de nutriente (kg/ha) nas vagens (V) e nos grãos (G), nos estádios de desenvolvimento R6 (6) e R8 (8), respectivamente, em função do conteúdo no terceiro trifólio com pecíolo (TTP), no estádio R2.

Equação[1]		R^2
$\hat{N}_{V6} = 2{,}70^{**}N_{TTP}^{0{,}917}$	$4{,}3 \leq N_{TTP} \leq 20$ kg/ha	0,755
$\hat{N}_{G8} = 69{,}3^{**}N_{TTP}^{0{,}459}$	$8{,}5 \leq N_{TTP} \leq 20$ kg/ha	0,525
$\hat{P}_{V6} = 4{,}28^{**}P_{TTP}^{0{,}936}$	$0{,}23 \leq P_{TTP} \leq 1{,}5$ kg/ha	0,776
$\hat{P}_{G8} = 23{,}3^{**}P_{TTP}^{0{,}324}$	$0{,}23 \leq P_{TTP} \leq 1{,}5$ kg/ha	0,594
$\hat{K}_{V6} = 0{,}312 + 0{,}441^{**}K_{TTP}$	$3{,}1 \leq K_{TTP} \leq 13$ kg/ha	0,735
$\hat{K}_{G8} = 23{,}9^{**}K_{TTP}^{0{,}399}$	$3{,}1 \leq K_{TTP} \leq 14$ kg/ha	0,655
$\hat{Ca}_{V6} = 3{,}09^{**}Ca_{TTP}^{0{,}898}$	$0{,}99 \leq Ca_{TTP} \leq 6{,}6$ kg/ha	0,869
$\hat{Ca}_{G8} = 6{,}28^{**}Ca_{TTP}^{0{,}283}$	$0{,}99 \leq Ca_{TTP} \leq 6{,}6$ kg/ha	0,369
$\hat{Mg}_{V6} = 5{,}22^{**}Mg_{TTP}^{1{,}12}$	$0{,}49 \leq Mg_{TTP} \leq 2{,}1$ kg/ha	0,861
$\hat{Mg}_{G8} = 2{,}34 + 1{,}18^{**}Mg_{TTP} - 3{,}73^{**}Mg_{TTP}^2$	$0{,}49 \leq Mg_{TTP} \leq 2{,}0$ kg/ha	0,610
$\hat{S}_{V6} = 2{,}19^{**}S_{TTP}^{0{,}479}$	$0{,}21 \leq S_{TTP} \leq 1{,}9$ kg/ha	0,432
$\hat{B}_{V6} = 6{,}47 + 3{,}50^{**}B_{TTP}$	$5{,}2 \leq B_{TTP} \leq 19$ g/ha	0,506
$\hat{B}_{G8} = 39{,}8^{**}B_{TTP}^{0{,}373}$	$5{,}2 \leq B_{TTP} \leq 19$ g/ha	0,446
$\hat{Cu}_{V6} = 3{,}67^{**}Cu_{TTP}^{0{,}706}$	$1{,}1 \leq Cu_{TTP} \leq 8{,}0$ g/ha	0,619
$\hat{Cu}_{G8} = -23{,}3 + 50{,}7^{**}Cu_{TTP}$	$1{,}2 \leq Cu_{TTP} \leq 6{,}1$ g/ha	0,589
$\hat{Fe}_{G8} = 110 + 7{,}02^{**}Fe_{TTP}$	$65 \leq Fe_{TTP} \leq 282$ g/ha	0,622
$\hat{Mn}_{V6} = 8{,}32^{**}Mn_{TTP}^{0{,}577}$	$8{,}2 \leq Mn_{TTP} \leq 39$ g/ha	0,428
$\hat{Mn}_{G8} = 62{,}2^{**}Mn_{TTP}^{0{,}250}$	$8{,}2 \leq Mn_{TTP} \leq 39$ g/ha	0,339
$\hat{Zn}_{V6} = 8{,}26 + 2{,}10^{**}Zn_{TTP}$	$4{,}2 \leq Zn_{TTP} \leq 21$ g/ha	0,714
$\hat{Zn}_{G8} = 288 - 435^{**}1/Zn_{TTP}$	$4{,}2 \leq Zn_{TTP} \leq 22$ g/ha	0,337

[1] Número de amostras para análise de regressão = 19 (K, Fe e Zn), 21 (Mg), 22 (N, P e B), 23 (Ca) e 24 (Mn). Não houve ajuste de nenhum modelo matemático para o conteúdo de S nos grãos e Fe nas vagens em função do conteúdo destes nutrientes no terceiro trifólio com pecíolo, nos estádios de desenvolvimento R8 e R6, respectivamente.

eficiência de aproveitamento do nutriente absorvido pela planta. Para P (Quadro 1.19), o CUB relacionou-se com o potencial produtivo almejado e com o fator capacidade do solo, medido por meio do P remanescente. Para os demais nutrientes, foram calculados valores médios para a parte aérea e para os grãos (Quadro 1.20). Observa-se que os valores de eficiência de aproveitamento apresentaram variação entre os estádios R4 e R6, principalmente para N, K, B, Fe e Zn. Por esta razão, sugere-se a adoção de valores referentes ao estádio de desenvolvimento em que cada nutriente apresenta o acúmulo máximo, ou seja, R4 para N, K, B e Fe, e R6 para P, Ca, Mg, S, Cu, Mn e Zn.

A partir do quociente entre a produção de matéria seca de parte aérea estimada em função de uma definida produtividade de grãos (Quadro 1.14), e os valores de CUB estabelecidos (Quadros 1.19 e 1.20), tem-se também outra alternativa para o cálculo da quantidade de nutrientes imobilizada na planta de soja.

As informações obtidas neste trabalho complementam ou ratificam algumas premissas adotadas por Santos (2002) no desenvolvimento de um sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para soja, junto ao Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, denominado FERTCALC® soja.

Quadro 1.19. Equações de regressão para coeficiente de utilização biológica de fósforo (cub, expresso em kg/kg) para o caule, pecíolos, trifólios e parte aérea, nos estádios de desenvolvimento R4 e R6, em função do potencial de rendimento de grãos almejado (rg) e do valor de P-remanescente (prem).

Órgão	Estádio	Equação[1]		R^2
Caule	R4	$\hat{cub} = 4.926 - 1,104^{**}rg - 182,4^{**}prem + 0,0452^{**}rg.prem$	$2,81 \leq rg \leq 4,81$ t/ha $14,2 \leq prem \leq 40,0$ mg/L	0,752
	R6	$\hat{cub} = 11.563 - 4,494^{**}rg + 0,0006^{**}rg^2 - 159,7^{**}prem + 2,722^{**}prem^2$	$2,81 \leq rg \leq 4,81$ t/ha $14,2 \leq prem \leq 40,0$ mg/L	0,860
Pecíolos	R4	$\hat{cub} = 3.831 - 0,8022^{**}rg - 138,5^{**}prem + 0,0333^{**}rg.prem$	$2,81 \leq rg \leq 4,81$ t/ha $14,2 \leq prem \leq 40,0$ mg/L	0,702
	R6	$\hat{cub} = 7.223 - 1,139^{**}rg - 350,2^{**}prem + 2,633^{**}prem^2 + 0,0496^{**}rg.prem$	$2,81 \leq rg \leq 4,81$ t/ha $14,2 \leq prem \leq 40,0$ mg/L	0,779
Trifólios	R4	$\hat{cub} = 852,9 - 0,0541^{**}rg - 22,76^{**}prem + 0,3756^{**}prem^2$	$2,81 \leq rg \leq 4,81$ t/ha $14,2 \leq prem \leq 40,0$ mg/L	0,788
	R6	$\hat{cub} = 1.907 - 0,5495^{**}rg + 0,00007^{**}rg^2 - 32,75^{**}prem + 0,5778^{**}prem^2$	$2,41 \leq rg \leq 4,81$ t/ha $14,2 \leq prem \leq 40,0$ mg/L	0,917
Parte	R4	$\hat{cub} = 2.468 - 0,3713^{**}rg - 105,4^{**}prem + 0,727^{**}prem^2 + 0,0156^{**}rg.prem$	$2,81 \leq rg \leq 4,68$ t/ha $14,2 \leq prem \leq 40,0$ mg/L	0,800
aérea	R6	$\hat{cub} = 4.580 - 1,699^{**}rg + 0,0002^{**}rg^2 - 58,20^{**}prem + 0,9884^{**}prem^2$	$2,81 \leq rg \leq 4,81$ t/ha $14,2 \leq prem \leq 38,7$ mg/L	0,852

[1] Número de amostras para análise de regressão = 21.

Quadro 1.20. Valores médios dos coeficientes de utilização biológica (CUB) de macro e micronutrientes em parte aérea (caule, pecíolos, folhas e vagens) e grãos de soja e seus respectivos desvios padrão, calculados a partir de amostras coletadas em 28 talhões de lavouras, no estado de Mato Grosso do Sul.

Nutriente	Parte aérea				Grãos	
	- - - R4 - - -		- - - R6 - - -		- - - R8 - - -	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
	- kg/kg -					
N	36,9	3,1	48,9	6,2	16,3	0,7
P	415,9	100,8	480,0	138,1	169,8	16,0
K	51,9	10,0	86,6	17,4	72,7	18,3
Ca	109,9	18,5	114,5	25,2	409,0	62,8
Mg	269,0	29,8	303,3	38,4	372,1	25,5
S	675,2	88,8	711,2	168,8	154,8	11,6
B	42.676	5.664	60.358	15.255	38.735	4.973
Cu	89.868	23.429	81.590	31.797	37.086	24.027
Fe	8.123	3.504	11.315	3.651	12.891	1.326
Mn	25.712	10.224	30.060	13.996	31.646	5.537
Zn	42.638	14.372	56.562	24.756	15.792	3.577

4. CONCLUSÕES

1. A demanda nutricional pela soja pode ser estimada por meio de modelos matemáticos, como variável do potencial produtivo almejado e dos teores de nutrientes na folha índice, no estádio de florescimento pleno, ou então, em função da produtividade e do coeficiente de utilização biológica (CUB) estimado para os diferentes órgãos da planta.

1. Os valores de referência para a diagnose do estado nutricional são influenciados pelo tipo de folha índice amostrado. O terceiro trifólio sem pecíolo apresenta teores maiores de N, P, Cu, Fe, Mn e Zn e menores de K, em relação ao terceiro trifólio com pecíolo.

3. As predições dos teores de nutrientes na planta a partir dos teores na folha índice, e da máxima produção de matéria seca a partir do acúmulo de nutrientes na folha índice, podem ser efetuadas de forma adequada com a análise do terceiro trifólio, com ou sem pecíolo, desde que a amostragem seja efetuada no estádio de florescimento pleno.

4. Os nutrientes acumulados em maior quantidade na parte aérea da soja são N, K, Ca, P, Mg e S e os mais exportados pelos grãos são N, K, S e P.

CAPÍTULO 2

USO DE MÉTODOS DE DIAGNOSE DO ESTADO NUTRICIONAL NA DEFINIÇÃO DE VALORES DE REFERÊNCIA PARA NUTRIENTES EM SOJA

1. INTRODUÇÃO

Os níveis críticos normalmente são estabelecidos a partir de experimentos conduzidos a campo, em que se variam as doses de um nutriente e os demais fatores de produção são fornecidos em quantidades adequadas e constantes. Quanto maior a estratificação de ambientes em que os experimentos são repetidos, como textura ou fator capacidade tampão, potencial produtivo ou sistema de manejo do solo, maior será a confiabilidade em se definir os valores de referência para dada cultura.

Porém, como em geral não é conduzida uma vasta rede de experimentos, os valores de referência tornam-se válidos apenas para uma limitada amplitude de condições em que os fatores de produção foram considerados nos trabalhos de calibração. Além disto, o grau de insegurança pode ser aumentado quando se considera que em algumas situações, os valores são definidos também com subjetividade, tomando-se como base a experiência do pesquisador. Ou então, como no caso da cultura da soja, em que os valores de referência adotados consistem, com pequenas alterações, nas faixas de suficiência estabelecidas no final da década de 80 por Sfredo et al. (1986), a partir das médias dos teores definidas para seis regiões norte-americanas produtoras de soja, apresentadas por Peck (1979).

Um dos procedimentos que tem sido utilizado como alternativa aos experimentos de calibração é o uso de métodos de diagnose do estado nutricional, tais como Chance Matemática (ChM) (Wadt et al., 1998b), Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) (Oliveira & Cassol, 1995; Wadt et al., 1998b; Oliveira, 1999; Silva, 2001 e Reis Jr. et al., 2002) e Diagnose da Composição Nutricional (CND) (Khiari et al., 2001a,b), na estimativa de níveis críticos e faixas de suficiência, por meio de abordagens distintas. No método DRIS, por exemplo,

tem-se efetuado o relacionamento do teor foliar com o respectivo índice do nutriente (Oliveira & Cassol, 1995; Wadt et al., 1998b e Oliveira, 1999) ou vice-versa (Silva, 2001 e Reis Jr., 2002), tomando-se como base o fato de que o teor ótimo corresponde ao valor do índice que representa o equilíbrio nutricional, ou seja, zero. E a faixa ótima é obtida pela definição de uma amplitude de desvios padrão em torno deste valor ideal (Faixas de Beaufils).

O método DRIS foi desenvolvido por Beaufils (1973) no intuito de se utilizar as normas estabelecidas a partir de amostragens realizadas em lavouras ou parcelas experimentais, sob diferentes condições edafoclimáticas. Desta forma, pretendia-se abranger toda a variabilidade de fatores que agem sobre a população de referência, permitindo a aplicação das normas em quaisquer condições de cultivo, mesmo que em região geográfica diferente daquela em que o banco de dados tivesse sido formado (Sumner, 1979). Esta idéia de universalidade das normas parte da premissa de que há independência no uso do DRIS em relação a fatores que possam influenciar o estado nutricional da planta, tendo-se em vista o fato de que as relações duais entre nutrientes apresentam maior constância em comparação aos teores individuais (Silva, 2001).

Contudo, diversos trabalhos têm indicado a melhoria da acurácia da diagnose nutricional quando são utilizadas normas específicas para uma região, em relação ao uso de normas gerais, definidas a partir de um banco de dados em que se abrangem diferentes condições de clima, época de amostragem, parte da planta amostrada, sistema de manejo do solo e variedade, entre outros (Beverly et al., 1986; Leandro, 1998; Silva, 2001; Maeda, 2002 e Maeda & Ronzelli Jr., 2002; Reis Jr., 2002; Reis Jr. et al., 2002 e Reis Jr. & Monnerat, 2002).

Considerando-se que no DRIS existe dependência entre os índices, pode-se supor que o efeito do fator capacidade tampão do solo sobre as relações duais que envolvam os nutrientes P e S possa ser de tal magnitude que influencie os índices DRIS de outros nutrientes. Caso esta hipótese venha a se confirmar, pode-se estar induzindo diagnósticos de tendência de deficiência ou excesso para nutrientes que se encontram em níveis adequados.

Este trabalho teve como objetivo estabelecer níveis críticos, teores ótimos e faixas ótimas de nutrientes para a folha índice (terceiro trifólio com pecíolo) de soja por meio de quatro métodos de diagnose do estado nutricional (Chance Matemática, Índices Balanceados de Kenworthy, DRIS e CND). Objetivou-se

também a avaliação da influência do potencial produtivo sobre a definição dos teores ótimos e do efeito da adoção de normas específicas para a classe textural do solo no diagnóstico do estado nutricional obtido com o uso do DRIS.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. PROCEDIMENTOS PARA A COLETA E PREPARO DE AMOSTRAS DE TECIDO FOLIAR E GRÃOS

Em 173 lavouras comerciais de soja cultivadas no sistema plantio direto, distribuídas em 29 municípios dos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás, foi efetuada amostragem entre os anos agrícolas 1997/1998 e 2001/2002.

Em cada talhão de lavoura, procedeu-se a demarcação de uma área representativa com cerca de 2.500 m² (50 x 50 m), onde foram efetuadas as coletas de amostras de folha índice (terceiro trifólio com pecíolo) no estádio de desenvolvimento R2 (Fehr & Caviness, 1977) em 30 plantas, formando uma amostra composta. No estádio R8, o rendimento de grãos foi determinado a partir da amostragem de três linhas de cultivo, com 2 m de comprimento cada, em quatro locais escolhidos aleatoriamente na parcela demarcada. Após a secagem ao ar livre e trilhagem do material coletado, efetuou-se a determinação do teor de umidade e da matéria seca de grãos. O valor determinado para o rendimento de grãos foi corrigido para umidade de 13 %.

As amostras de tecido foliar foram submetidas à limpeza seqüencial com água, solução ácida (HCl 0,1 mol/L) e água destilada e, após a secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65 ºC por 72 h, procedeu-se à pesagem e moagem em moinho tipo Wiley, passando-se a amostra em peneira com malha de 20 mesh (0,85 mm).

2.2. EXTRAÇÃO E DETERMINAÇÃO DE NUTRIENTES

A análise química de amostras de tecido foliar foi efetuada no laboratório de solos, tecido vegetal e corretivos da Embrapa Agropecuária Oeste, em Dourados, MS, conforme Malavolta et al. (1997). O N foi extraído por digestão sulfúrica a quente e determinado pelo método semi-micro-Kjeldahl. O P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn foram extraídos por digestão nítrico-perclórica a quente e determinados por espectrometria de absorção molecular (P), espectrofotometria de

emissão de chama (K), espectrofotometria de absorção atômica (Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn) e turbidimetria do sulfato de bário (S). E o B foi extraído por incineração e determinado por espectrometria de absorção molecular, pelo método da azometina H.

2.3. FORMAÇÃO DO BANCO DE DADOS

Além das 173 amostras de tecido foliar já mencionadas, incluíram-se também mais 84 amostras coletadas no ano agrícola 2000/2001 no estádio de desenvolvimento R1, em lavouras comerciais cultivadas no sistema plantio direto, na região sul do Mato Grosso do Sul, por Maeda (2002). As análises químicas destas amostras também foram efetuadas no laboratório de solos, tecido vegetal e corretivos da Embrapa Agropecuária Oeste, em Dourados, MS, seguindo os mesmos procedimentos analíticos.

O banco de dados foi formado por 257 amostras, sendo que 149 (58 %) pertenciam à população de baixa produtividade ($\leq$ 3.900 kg/ha) e 108 (42 %) à população de referência (> 3.900 kg/ha, correspondente a 130 % da média obtida nos estados de Mato Grosso do Sul e Mato Grosso no ano agrícola 2000/2001). Para os cálculos das normas específicas, considerou-se apenas as 84 amostras foliares em cujos talhões foi efetuada a caracterização do teor de argila, pelo método do densímetro, conforme Embrapa (1997).

2.4. MÉTODOS DE DIAGNOSE DO ESTADO NUTRICIONAL

2.4.1. Chance Matemática (ChM)

Neste método, os teores foliares de cada nutriente foram classificados em ordem crescente e relacionados à produtividade obtida nos respectivos talhões. Em seguida, para cada nutriente, foi determinada a amplitude (A) do teor e calculado o número de classes possíveis (I) com base no tamanho da amostra (n), em que $I = \sqrt{n}$, sendo que $5 \leq I \leq 15$. O quociente entre amplitude e número de classes resultou no comprimento de cada intervalo de classe (IC = A/I).

Os dados de produtividade foram então classificados em dois subgrupos, de baixa e de alta produtividade (> 3.900 kg/ha). A seguir, calculou-se a chance matemática para cada classe de teor do nutriente em estudo, segundo Wadt (1996) e Wadt et al. (1998a,b):

$$ChM_i = \{[P(A_i/A) \,.\, PROD_i] \,.\, [P(A_i/N_i) \,.\, PROD_i]\}^{0,5}$$

onde,

ChM_i = chance matemática (t/ha) na classe "i";

$P(A_i/A)$ = freqüência de talhões de alta produtividade na classe "i", em relação ao total geral de talhões de alta produtividade ($A = \sum A_i$);

$P(A_i/N_i)$ = freqüência de talhões de alta produtividade na classe "i", em relação ao total de talhões da classe "i";

$PROD_i$ = produtividade média dos talhões de alta produtividade, na classe "i" (t/ha).

Os limites inferior e superior das classes de teor de nutriente que apresentaram as maiores chances matemáticas foram considerados a faixa ótima, e o valor da sua mediana foi definido como o nível ótimo.

2.4.2. Índices Balanceados de Kenworthy (IBK)

Os talhões amostrados foram divididos em população de referência (de alta produtividade, conforme critério adotado para o método da Chance Matemática) e de baixa produtividade. A partir da população de referência, foram calculados os índices padrão (P, I e B, todos expressos em percentagem), independentemente de o teor do nutriente na amostra (Y_i) ser maior ou menor do que o teor médio da população de referência, considerado padrão ($\overline{Y}$), segundo método ajustado por Alvarez V.[1] (informação pessoal), a partir de Kenworthy (1973):

[1] Prof. Víctor Hugo Alvarez Venegas – Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa.

$$P = 100\, y_i / \bar{y}$$

$$I = CV\, (y_i - \bar{y}) / \bar{y}$$

$$B = P - I$$

em que,

P = proporção entre o teor do nutriente na amostra (y_i) e o teor padrão ($\bar{y}$);

I = influência da variação;

CV = coeficiente de variação do teor do nutriente na população de referência;

B = índice balanceado.

De acordo com o valor obtido para o Índice Balanceado (B), o teor do nutriente na amostra foi classificado em deficiente (17 a 50 %), abaixo do normal (50 a 83 %), normal (83 a 117 %), acima do normal (117 a 150 %) e excessivo (150 a 183 %). O valor médio (100 %) e os limites inferior e superior do Índice Balanceado na classe normal foram utilizados para a definição do teor ótimo e da amplitude da faixa ótima de nutrientes.

2.4.3. Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS)

A partir dos talhões da população de referência (de alta produtividade, conforme critério adotado para o método Chance Matemática), foram estabelecidos os quocientes entre o teor de um dado nutriente (A) e os teores dos demais nutrientes (B, C, ... N), sendo estas transformadas em variáveis normais reduzidas (z) e aproximadas a valores inteiros pela multiplicação com o fator de ajuste (c). Para cada relação, foram calculadas as normas (média, s e CV). Pelo cálculo da média aritmética das relações diretas (A/B) e inversas (B/A), transformadas em variáveis normais reduzidas, foi definido o índice DRIS (I_A), de acordo com Alvarez V. & Leite (1999):

$$Z(A/B) = [(A/B) - (a/b)]\ (c/s)$$

$$I_A = \frac{Z(A/B) + Z(A/C) + ... + Z(A/N) - Z(B/A) - Z(C/A) - ... - Z(N/A)}{2\ (n - 1)}$$

em que,

c = 10 = fator de ajuste;

A/B e a/b = relação dual entre os teores de nutrientes (g/kg e mg/kg, para macro e micronutrientes, respectivamente) na amostra e na população de referência, respectivamente;

s = desvio padrão da relação dual da população de referência;

n = número de nutrientes envolvidos na análise.

Para a interpretação dos índices DRIS, foram considerados em equilíbrio aqueles com valor situado dentro do intervalo entre -10 2/3 s e 10 2/3 s. A soma dos valores absolutos dos índices DRIS obtidos para cada nutriente, resultou no Índice de Equilíbrio Nutricional (IEN). E o quociente entre o valor de IEN e o número de nutrientes analisados (n) definiu o Índice de Equilíbrio Nutricional médio (IEN_m), que representa a média dos desvios em relação ao ótimo:

$$IEN = |I_A| + |I_B| + |I_C| + \Lambda + |I_N| \qquad e \qquad IEN_m = \frac{IEN}{n}$$

Em seguida, os nutrientes foram classificados de acordo com o conceito de potencial de resposta à adubação (PRA), conforme Wadt (1996), com modificações de Silva (2001). Para situações em que o valor absoluto do índice primário era maior do que o IENm, o nutriente foi considerado limitante por falta (LF) quando o índice era negativo e limitante por excesso (LE) quando este era positivo. Quando o índice para o nutriente apresentava valor absoluto menor ou igual ao IENm, considerou-se que o mesmo não era limitante (NL).

A universalidade das normas foi avaliada na população de baixa produtividade, pela comparação da freqüência de diagnoses concordantes (FDC) obtidas com o uso de normas gerais ou específicas para a classe textural. A FDC é definida, para cada nutriente, como a média aritmética dos quocientes entre o número de talhões com o mesmo diagnóstico de status nutricional (LF, LE ou NL) e

o número de talhões dentro da classe textural (n = 28, 54 e 30, para amostras de folhas coletadas em áreas com solo de textura franco-arenosa, argilosa e muito argilosa, respectivamente).

2.4.4. Diagnose da Composição Nutricional (CND)

Parent & Dafir (1992) definiram o termo composição nutricional como o somatório dos teores (expressos em dag/kg) de macro e micronutrientes associado ao teor dos demais componentes da matéria seca. O teor destes componentes foi denominado de valor de complemento (R) e definido como a diferença entre a composição total de 100 dag/kg e o somatório dos teores de nutrientes na folha índice ($\sum x_i$).

No método CND, é calculada a média geométrica da composição nutricional (G) e, em função desta, é feita a correção do teor de cada nutriente na amostra, resultando na variável multinutriente (V_i), conforme Parent & Dafir (1992), Parent et al. (1993) e Parent et al. (1994):

$$R = 100 - \sum x_i$$

$$G = (x_N \cdot x_P \cdot x_K \ \ldots \ x_{Zn} \cdot R)^{\frac{1}{(n+1)}}$$

$$V_i = \ln (x_i/G)$$

onde,

n = número de nutrientes em avaliação (n = 11).

Após o estabelecimento das variáveis multinutrientes para a amostra (V_i) e da média (v_i) e desvio padrão (s_i) destas variáveis para a população de referência, foram calculados os índices das variáveis multinutrientes (I_{vi}):

$$I_{vi} = (V_i - v_i)/s_i$$

Além da média aritmética e dos desvios padrão das variáveis V_i da população de alta produtividade, as normas CND consistiram também da média geométrica da composição nutricional (G). A interpretação dos índices da variável

multinutriente foi feita considerando-se em equilíbrio aqueles com valor situado dentro do intervalo entre -2/3 s e 2/3 s.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. CHANCE MATEMÁTICA (ChM)

Para os teores foliares de N (Quadro 2.1), observa-se que o maior número de talhões de alta produtividade (A_i) ocorrem nas classes 4 e 5. Porém, em decorrência da grande quantidade de amostras (N_i) existentes nestas duas classes, a sua proporção em relação ao total de talhões nas respectivas classes [$P(A_i/N_i)$] não é necessariamente a mais elevada. Por outro lado, verifica-se também que pode haver grande probabilidade em se encontrar talhões de alta produtividade em classes de teores (2 e 10, por exemplo) constituídas de limitado número de amostras (N_i). As maiores possibilidades de obtenção de altas produtividades de soja ocorrem quando os teores foliares de N encontram-se entre 31,6 e 47,2 g/kg (limite inferior da classe 3 e superior da classe 8, respectivamente). Esta amplitude de valores representa a faixa ótima ou o nível de suficiência de N, enquanto que o teor ótimo é definido como a mediana desta, ou seja, 39,2 g/kg de N.

No quadro 2.1, constata-se ainda que para teores de N inferiores a 29,0 g/kg e superiores a 49,8 g/kg, a probabilidade de a amostra foliar representar uma lavoura de alta produtividade é ínfima. Os teores e faixa ótima dos demais nutrientes são apresentados no quadro 2.2.

3.2. ÍNDICES BALANCEADOS DE KENWORTHY (IBK)

Os índices de Kenworthy apresentam relação linear com os teores foliares dos nutrientes estudados (Quadro 2.3). Considerando-se que o teor de nutriente será classificado como normal para uma faixa de índice variando de 83 a 117 %, pode-se estabelecer que os teores associados a estes limites correspondam à faixa ótima. Da mesma forma, um valor médio de índice igual a 100 % pode ser utilizado para estimar o teor ótimo (Quadro 2.2).

Quadro 2.1. Valores de chance matemática (CHM_i) estabelecidos para as diferentes classes de freqüência "i" de distribuição de teores de N em amostras de terceiro trifólio com pecíolo, na cultura da soja[1].

Classe (i)	L I	L S	N_i	A_i	$P(A_i/A)$	$P(A_i/N_i)$	$PROD_i$	CHM_i
	- g/kg de N -						- - - t/ha - - -	
1	26,4	29,0	5	1	0,009	0,200	4,292	0,185
2	29,0	31,6	8	5	0,046	0,625	4,389	0,747
3	31,6	34,2	25	14	0,130	0,560	4,299	1,158
4	34,2	36,8	30	17	0,157	0,567	4,349	1,299
5	36,8	39,4	55	19	0,176	0,345	4,305	1,061
6	39,4	42,0	47	14	0,130	0,298	4,242	0,834
7	42,0	44,6	31	15	0,139	0,484	4,399	1,140
8	44,6	47,2	24	11	0,102	0,458	4,397	0,950
9	47,2	49,8	15	7	0,065	0,467	4,359	0,758
10	49,8	52,4	3	2	0,019	0,667	4,520	0,502
11	52,4	55,0	1	0	0,000	0,000	0,000	0,000
12	55,0	57,6	4	1	0,009	0,250	4,250	0,204
13	57,6	60,2	5	2	0,019	0,400	4,175	0,359
14	60,2	62,8	2	0	0,000	0,000	0,000	0,000
15	62,8	65,4	1	0	0,000	0,000	0,000	0,000
Total			256	108				

[1] Em cada classe de freqüência, LI = limite inferior; LS = limite superior; N_i = número de amostras; A_i = número de amostras de alta produtividade; $P(A_i/A)$ = freqüência de talhões de alta produtividade em relação ao total de talhões de alta produtividade ($A = \sum A_i$); $P(A_i/N_i)$= freqüência de talhões de alta produtividade em relação ao total de talhões da classe i; $PROD_i$ = produtividade média dos talhões de alta produtividade.

No quadro 2.2, observa-se que os teores ótimos de nutrientes estimados desta forma são as próprias médias da população de alta produtividade. Porém, isto era esperado e pode ser explicado pela dedução da equação geral de Kenworthy, proposto por Alvarez V. (informação pessoal):

$$B = 100\left(\frac{y_i}{\bar{y}}\right) - CV\left(\frac{y_i - \bar{y}}{\bar{y}}\right)$$

$$B = 100\left(\frac{y_i}{\bar{y}}\right) - CV\left(\frac{y_i}{\bar{y}}\right) + CV$$

$$B = \left(\frac{y_i}{\bar{y}}\right)(100 - CV) + CV$$

$$y_i = \frac{(B - CV)\,\bar{y}}{100 - CV}$$

Para B = 100, tem-se:

$$y_i = \frac{(100 - CV)\,\bar{y}}{100 - CV} = \bar{y}.$$

Por meio de deduções matemáticas, Alvarez V. (informação pessoal) também demonstrou que o Índice Balanceado pode ser calculado em função de uma variável normal reduzida (z) e dos coeficientes de variação realmente observado (CVr) e de simulação (CVs), conforme a equação:

$$B = 100 + z\,CVr - \left(\frac{z}{100}\right) CVr\,CVs$$

Neste modelo, pode-se predizer as variações que ocorrem no Índice Balanceado ou em qualquer outra variável componente da equação, em função da variação em uma destas variáveis. Como exemplo, constata-se que o Índice Balanceado é igual a 100 quando z é igual a zero e apresenta decréscimos ou incrementos lineares à medida que z assume valores mais negativos ou positivos, respectivamente.

E considerando-se um dado valor de B < 100 e um dado coeficiente de variação de simulação, tem-se que os valores negativos de z tendem a se aproximar de zero conforme se aumenta o CVr (Figura 2.1). Quando B > 100, os valores positivos de z diminuem com incrementos no CVr (Figura 2.2). Em suma, conclui-se que os limites de uma classe de diagnose dos Índices Balanceados correspondem a uma faixa mais ampla de variável normal reduzida (z) para nutrientes cujos teores apresentam menores coeficiente de variação. E esta

Quadro 2.2. Níveis de suficiência estabelecidos para a cultura da soja, teores médios de nutrientes na população de referência e teor e faixa ótima estimados pelos métodos Chance Matemática, Índices Balanceados de Kenworthy, DRIS e CND.

Nutriente	Nível de Suficiência[1]	Pop. refer.[2]	Chance Matemática[3]		Índice de Kenworthy[3]		DRIS[3]		CND[3]	
			Teor	Faixa ótima	Teor	Faixa ótima	Teor	Faixa ótima	Teor	Faixa ótima
	g/kg									
N	45,1 a 55,0	39,9	39,2	31,6 a 47,2	39,9	31,9 a 47,9	39,9	34,7 a 45,2	39,9	37,1 a 42,8
P	2,6 a 5,0	3,0	3,0	2,1 a 3,9	3,0	2,4 a 3,7	3,0	2,4 a 3,7	3,0	2,7 a 3,4
K	17,1 a 25,0	21,9	23,5	16,8 a 27,6	21,9	17,1 a 26,8	21,9	17,6 a 26,3	21,9	19,1 a 24,8
Ca	3,6 a 20,0	10,3	11,0	9,8 a 12,8	10,3	7,7 a 12,9	10,3	7,5 a 13,1	10,3	8,3 a 12,3
Mg	2,6 a 10,0	3,7	3,6	2,7 a 4,5	3,7	2,9 a 4,5	3,7	2,9 a 4,5	3,7	3,2 a 4,2
S	2,1 a 4,0	2,6	2,5	2,0 a 2,9	2,6	2,0 a 3,1	2,6	2,0 a 3,1	2,6	2,2 a 2,9
	mg/kg									
B	21 a 55	42	40	32 a 48	42	33 a 51	42	33 a 50	42	36 a 47
Cu	6 a 14	8	8	7 a 9	8	6 a 10	8	5 a 11	8	6 a 10
Fe	51 a 350	86	77	45 a 125	86	61 a 111	86	58 a 114	86	65 a 108
Mn	21 a 100	51	44	18 a 83	51	33 a 69	51	31 a 71	51	35 a 67
Zn	21 a 50	51	47	30 a 76	51	35 a 66	51	33 a 68	51	37 a 64

[1] Embrapa (2002); [2] Teores médios na população de referência (produtividade > 3.900 kg/ha, com n = 108 talhões). [3] Teor e faixa ótima estimados a partir da: mediana e os limites inferior e superior das classes de freqüência com maiores valores de chance matemática (Wadt, 1996), respectivamente; para um índice balanceado (calculado conforme Alvarez, V., informação pessoal, adaptado de Kenworthy, 1973) igual a 100 % e os limites inferior e superior da classe normal (83 e 117 %), respectivamente; um índice DRIS (calculado conforme Alvarez V. & Leite, 1999) igual a zero e $\pm 10\ 2/3$ s, respectivamente; e para um índice CND (calculado conforme Khiari et al., 2001a,b) igual a zero e $\pm 2/3$ s, respectivamente.

Quadro 2.3. Equações de regressão para teor de macro (g/kg) e micronutriente (mg/kg) no terceiro trifólio com pecíolo de soja em função do Índice Balanceado de Kenworthy[1] (B).

Equação[2]		R^2
$\hat{N} = -7{,}17 + 0{,}471^{**}B_N$	$71{,}7 \leq B_N \leq 153$ %	1,000
$\hat{P} = -0{,}911 + 0{,}040^{**}B_P$	$63{,}6 \leq B_P \leq 170$ %	1,000
$\hat{K} = -6{,}60 + 0{,}285^{**}B_K$	$58{,}2 \leq B_K \leq 150$ %	1,000
$\hat{Ca} = -4{,}91 + 0{,}152^{**}B_{Ca}$	$61{,}2 \leq B_{Ca} \leq 151$ %	1,000
$\hat{Mg} = -1{,}08 + 0{,}048^{**}B_{Mg}$	$58{,}1 \leq B_{Mg} \leq 169$ %	1,000
$\hat{S} = -0{,}838 + 0{,}034^{**}B_S$	$57{,}4 \leq B_S \leq 156$ %	1,000
$\hat{B} = -11{,}7 + 0{,}534^{**}B_B$	$52{,}0 \leq B_B \leq 164$ %	1,000
$\hat{Cu} = -5{,}66 + 0{,}137^{**}B_{Cu}$	$53{,}6 \leq B_{Cu} \leq 167$ %	1,000
$\hat{Fe} = -59{,}6 + 1{,}46^{**}B_{Fe}$	$61{,}3 \leq B_{Fe} \leq 224$ %	1,000
$\hat{Mn} = -55{,}5 + 1{,}06^{**}B_{Mn}$	$59{,}9 \leq B_{Mn} \leq 192$ %	1,000
$\hat{Zn} = -41{,}3 + 0{,}919^{**}B_{Zn}$	$53{,}0 \leq B_{Zn} \leq 178$ %	1,000

[1] Índice balanceado calculado conforme Alvarez V. (informação pessoal) adaptado de Kenworthy (1973); [2] Número de amostras para análise de regressão = 257.

amplitude vai tornando-se mais estreita conforme se incrementa o coeficiente de variação observado para o nutriente, até o limite de cerca de 40 %, quando os valores de z tornam-se relativamente independentes do CVr. Isto pode ser observado no quadro 2.4, onde as diferentes classes de diagnose apresentam maior amplitude de desvios padrão para os nutrientes com menor CVr.

3.3. Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS)

No quadro 2.5, são apresentadas as médias e os desvios padrão (normas) das relações duais entre os nutrientes, para a população de alta produtividade. A aplicação da prova de aderência ao teste de Kolmogorov-Smirnov a estas relações duais indicou que uma parte (31,8 %) destas apresentou rejeição à hipótese de normalidade de distribuição. Mesmo a aplicação de transformação normalizadora, por meio de logaritmo neperiano, não foi suficiente para eliminar totalmente os desvios de simetria de 13,6 % das relações duais (N/K, N/Ca, N/S, P/K, P/Ca, K/N,

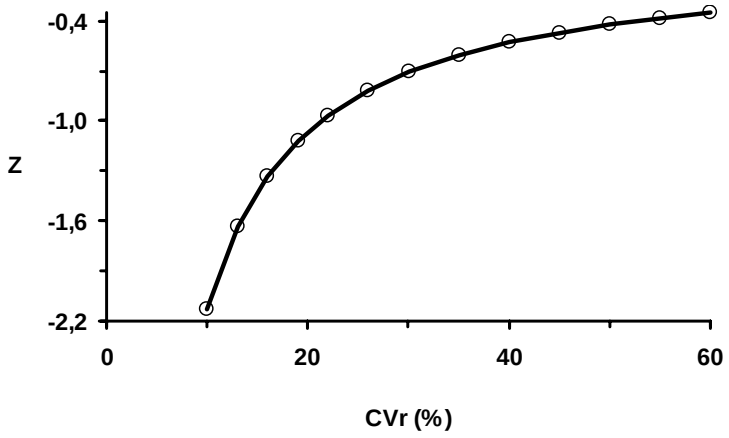

Figura 2.1. Estimativa de valores de variável normal reduzida (z) em função da variação do coeficiente de variação realmente observado (CVr), considerando-se um Índice Balanceado de Kenworthy igual a 83 e um coeficiente de variação de simulação igual a 20.

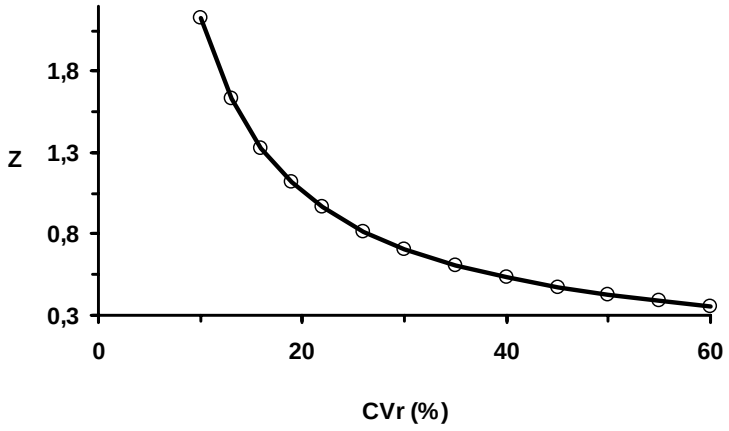

Figura 2.2. Estimativa de valores de variável normal reduzida (z) em função da variação do coeficiente de variação realmente observado (CVr), considerando-se um Índice Balanceado de Kenworthy igual a 117 e um coeficiente de variação de simulação igual a 20.

Quadro 2.4. Valores de z estimados para as diferentes classes de diagnose do Índice Balanceado de Kenworthy[1], considerando-se o coeficiente de variação[2] (CV) determinado para cada nutriente na população estudada.

Nutriente	CV (%)	Classes de diagnose[3]		
		Deficiente	Abaixo do normal	Normal
N	15,9	-6,22 a -3,75	-3,75 A -1,27	-1,27 a 1,27
P	22,9	-4,71 a -2,83	-2,83 A -0,96	-0,96 a 0,96
K	21,9	-4,86 a -2,93	-2,93 A -1,00	-1,00 a 1,00
Ca	32,2	-3,80 a -2,29	-2,29 A -0,78	-0,78 a 0,78
Mg	24,7	-4,47 a -2,69	-2,69 A -0,91	-0,91 a 0,91
S	23,0	-4,69 a -2,82	-2,82 A -0,96	-0,96 a 0,96
B	26,3	-4,28 a -2,58	-2,58 A -0,88	-0,88 a 0,88
Cu	44,1	-3,37 a -2,03	-2,03 A -0,69	-0,69 a 0,69
Fe	43,8	-3,37 a -2,03	-2,03 A -0,69	-0,69 a 0,69
Mn	55,8	-3,36 a -2,03	-2,03 A -0,69	-0,69 a 0,69
Zn	46,3	-3,34 a -2,01	-2,01 A -0,68	-0,68 a 0,68

[1] Índice balanceado calculado conforme Alvarez, V. (informação pessoal) adaptado de Kenworthy (1973); [2] Coeficientes de variação calculados para população de 257 dados; [3] Faixa de valores de Índice Balanceado de Kenworthy = 17 a 50 % (deficiente), 50 a 83 % (abaixo do normal), 83 a 117 % (normal), 117 a 150 % (acima do normal) e 150 a 183 % (excessivo), sendo que para as classes acima do normal e excessivo, os valores de z são idênticos aos das classes abaixo do normal e deficiente, respectivamente, porém com sinal positivo.

K/Ca, B/K, B/Ca, Fe/S, Fe/Cu, Mn/K, Mn/Ca, Mn/Cu e Mn/Fe).

Procedeu-se a uma tentativa de eliminação de amostras da população de referência que apresentavam teores de nutrientes que contribuíam para a assimetria de determinadas relações duais. Porém, este procedimento muitas vezes induziu desvios de simetria em outras relações. Assim, não obstante esteja havendo comprometimento de uma das premissas básicas da aplicação do DRIS (Alvarez V. & Leite, 1999), optou-se por manter esta população de referência.

Para a determinação do teor ótimo de nutrientes, os teores na folha índice foram relacionados aos respectivos índices DRIS (Quadro 2.6), conforme Wadt et al. (1998b). Este relacionamento também foi utilizado por Silva (2001) e Reis Jr. (2002), porém considerando-se o teor de nutriente como variável independente, e baseia-se no fato de que o teor associado a um índice DRIS igual a zero pode ser considerado como um valor ótimo. Para amostras foliares com teores inferiores ou superiores a este ótimo, os índices DRIS seriam respectivamente negativos ou

Quadro 2.5. Média ($\bar{y}$) e desvio padrão (s) das relações duais de nutrientes no terceiro trifólio com pecíolo, para a subpopulação de alta produtividade[1], em amostras coletadas nos estados de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás, entre os anos agrícolas de 1997/98 e 2001/02.

.

Variável[2]	$\bar{y}$	S	Variável	$\bar{y}$	S	Variável	$\bar{y}$	s
N/P	13,801436	3,734642	Ca/Fe	0,132820	0,054770	Cu/Mg	2,255710	1,034771
N/K**	1,948841	0,655049	Ca/Mn*	0,250475	0,129067	Cu/S	3,234601	1,291642
N/Ca**	4,397041	1,840473	Ca/Zn**	0,259815	0,187556	Cu/B	0,202313	0,097505
N/Mg	11,443892	3,547433	Mg/N	0,095357	0,027475	Cu/Fe**	0,110805	0,071066
N/S*	16,435887	4,470273	Mg/P	1,274062	0,381972	Cu/Mn	0,192853	0,111779
N/B	0,997702	0,233046	Mg/K	0,181712	0,071835	Cu/Zn*	0,186242	0,104917
N/Cu*	6,107800	3,416033	Mg/Ca	0,386243	0,124110	Fe/N	2,209718	0,962111
N/Fe	0,542957	0,239011	Mg/S	1,539079	0,503111	Fe/P	29,653802	13,668903
N/Mn*	1,066011	0,728503	Mg/B	0,094260	0,034045	Fe/K	4,077447	1,718025
N/Zn	0,979798	0,522975	Mg/Cu	0,550995	0,280494	Fe/Ca	8,890773	4,034789
P/N	0,077617	0,020706	Mg/Fe	0,049649	0,022882	Fe/Mg	24,124918	10,328674
P/K*	0,147131	0,052442	Mg/Mn	0,092113	0,049579	Fe/S*	36,425463	18,622578
P/Ca**	0,331378	0,151616	Mg/Zn	0,095770	0,070457	Fe/B	2,178750	1,045824
P/Mg	0,859440	0,266643	S/N	0,064680	0,015250	Fe/Cu**	13,040226	8,011258
P/S	1,254516	0,381513	S/P	0,885609	0,324485	Fe/Mn*	2,159757	1,389741
P/B**	0,075916	0,025262	S/K	0,125968	0,055119	Fe/Zn**	2,163391	1,584503
P/Cu*	0,463149	0,265686	S/Ca	0,278552	0,120647	Mn/N	1,305419	0,676007
P/Fe	0,040832	0,017792	S/Mg	0,731108	0,271145	Mn/P	17,392761	8,968115
P/Mn**	0,081023	0,060676	S/B	0,064177	0,020829	Mn/K*	2,435152	1,307435
P/Zn**	0,076975	0,048849	S/Cu	0,379339	0,213974	Mn/Ca**	5,282056	3,339705
K/N	0,563879	0,158078	S/Fe	0,035361	0,018542	Mn/Mg	13,852857	6,979010
K/P	7,582844	2,463046	S/Mn	0,069351	0,052854	Mn/S	21,402641	12,235434
K/Ca*	2,370639	0,985764	S/Zn	0,062669	0,036180	Mn/B	1,278730	0,676081
K/Mg	6,311890	2,322379	B/N	1,059216	0,258946	Mn/Cu*	7,126178	4,470912
K/S	9,173369	3,103260	B/P	14,214735	3,569008	Mn/Fe*	0,670418	0,428971
K/B	0,548037	0,164993	B/K*	2,000527	0,627068	Mn/Zn**	1,182082	0,887289
K/Cu**	3,316774	1,895980	B/Ca*	4,661997	2,349049	Zn/N	1,273497	0,583849
K/Fe	0,292241	0,129545	B/Mg	11,969993	4,266574	Zn/P	17,501281	8,609217
K/Mn**	0,586633	0,442792	B/S	17,254429	5,653293	Zn/K	2,438898	1,233352
K/Zn*	0,555271	0,378433	B/Cu*	6,306851	3,536016	Zn/Ca	5,376546	2,769814
Ca/N	0,267665	0,103871	B/Fe*	0,568736	0,277791	Zn/Mg	14,470644	7,220382
Ca/P	3,552654	1,272375	B/Mn**	1,123766	0,860817	Zn/S	20,515591	9,731807
Ca/K	0,498099	0,209305	B/Zn**	1,015762	0,547152	Zn/B	1,240344	0,566438
Ca/Mg	2,813784	0,753122	Cu/N	0,206949	0,093599	Zn/Cu	7,106014	4,177216
Ca/S	4,314196	1,879960	Cu/P	2,807730	1,438262	Zn/Fe	0,672593	0,370594
Ca/B	0,266789	0,122667	Cu/K	0,383884	0,167293	Zn/Mn	1,191898	0,655039
Ca/Cu*	1,519738	0,934665	Cu/Ca	0,836015	0,371573			

[1] Superior a 3.900 kg/ha, n = 108. [2] * e ** indicam relação dual em que houve rejeição da hipótese de normalidade de distribuição, pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, a 5 e 1 % de probabilidade, respectivamente.

Quadro 2.6. Equações de regressão para teor de macro (g/kg) e micronutriente (mg/kg) no terceiro trifólio com pecíolo (TTP) em função do índice DRIS.

Equação[1]		R^2
$\hat{N}_{TTP} = 39,9 + 0,790^{**}I_N$	$-9,9 \leq I_N \leq 10,2$	0,511
$\hat{P}_{TTP} = 3,04 + 0,092^{**}I_P$	$-18,1 \leq I_P \leq 18,5$	0,714
$\hat{K}_{TTP} = 21,9 + 0,652^{**}I_K$	$-14,5 \leq I_K \leq 13,0$	0,744
$\hat{Ca}_{TTP} = 10,3 + 0,413^{**}I_{Ca}$	$-18,1 \leq I_{Ca} \leq 19,5$	0,768
$\hat{Ca}_{TTP} = 9,76\ e^{0,043^{**}I_{ca}}$	$-18,1 \leq I_{Ca} \leq 19,5$	0,824
$\hat{Mg}_{TTP} = 3,70 + 0,114^{**}I_{Mg}$	$-16,2 \leq I_{Mg} \leq 14,9$	0,674
$\hat{S}_{TTP} = 2,56 + 0,082^{**}I_S$	$-18,9 \leq I_S \leq 16,8$	0,762
$\hat{B}_{TTP} = 41,7 + 1,242^{**}I_B$	$-15,4 \leq I_B \leq 18,1$	0,762
$\hat{Cu}_{TTP} = 8,06 + 0,398^{**}I_{Cu}$	$-21,9 \leq I_{Cu} \leq 14,5$	0,851
$\hat{Cu}_{TTP} = 7,32\ e^{0,057^{**}I_{cu}}$	$-21,9 \leq I_{Cu} \leq 14,5$	0,920
$\hat{Fe}_{TTP} = 86,2 + 4,16^{**}I_{Fe}$	$-19,3 \leq I_{Fe} \leq 21,4$	0,830
$\hat{Fe}_{TTP} = 79,7\ e^{0,048^{**}I_{Fe}}$	$-19,3 \leq I_{Fe} \leq 21,4$	0,882
$\hat{Mn}_{TTP} = 51,0 + 2,98^{**}I_{Mn}$	$-25,0 \leq I_{Mn} \leq 19,8$	0,823
$\hat{Mn}_{TTP} = 44,4\ e^{0,065^{**}I_{Mn}}$	$-25,0 \leq I_{Mn} \leq 19,8$	0,931
$\hat{Zn}_{TTP} = 50,6 + 2,58^{**}I_{Zn}$	$-29,9 \leq I_{Zn} \leq 14,5$	0,805
$\hat{Zn}_{TTP} = 45,2\ e^{0,060^{**}I_{Zn}}$	$-29,9 \leq I_{Zn} \leq 14,5$	0,928

[1] Número de amostras para análise de regressão = 108.

positivos, o que indicaria possível limitação de produtividade por deficiência ou excesso nutricional, respectivamente (Reis Jr., 2002).

Nos quadros 2.2 e 2.6 pode-se constatar que, apesar do modelo linear não apresentar necessariamente o melhor ajuste, resulta em teor ótimo idêntico ao valor médio da população de referência. As curvaturas observadas na dispersão de pontos, quando se relaciona índice DRIS em função de teor foliar ou vice-versa, como efetuado por Wadt et al. (1998b), Silva (2001) e Reis Jr. (2002), resultam em

melhor ajuste de modelo exponencial ou quadrático. Porém, isto parece ser decorrente de desvios de simetria na distribuição das relações duais.

A partir dos modelos lineares ajustados para o teor de nutrientes em função do índice DRIS (Quadro 2.6), calculou-se a faixa ótima de teores, considerando-se uma amplitude de $\pm$10 2/3 s para o índice DRIS ($-6,7 \leq I \leq 6,7$), o que inclui 50 % da população ao redor da média.

Needham et al. (1990) descreveram ainda um outro procedimento para a determinação do nível ótimo de nutrientes, definido como o teor médio do conjunto de amostras selecionadas do banco de dados, em função do seu adequado estado nutricional. O critério adotado para a formação desta população de referência foi a seleção, para cada nutriente em separado, de amostras com IEN inferior à média + 1,33 s e índice DRIS com valor equivalente ao intervalo compreendido pela média $\pm$1,33 s ($-1,3 \leq I_{DRIS} \leq 1,3$, para um fator de ajuste c = 1), sendo as normas calculadas a partir de todo o banco de dados. No entanto, resultados obtidos por Wadt et al. (1998b) demonstraram grande semelhança nos valores estimados por este procedimento em relação ao método gráfico, em que o teor é relacionado em função do índice DRIS.

Oliveira & Sousa (1993), Oliveira & Cassol (1995) e Oliveira (1999) propõem que o teor ótimo obtido pelo procedimento gráfico seja ajustado por meio de cálculos de simulação e regressões multivariadas, no intuito de se obter um valor associado a um potencial produtivo e às melhores condições de equilíbrio nutricional, ou seja, um índice de equilíbrio nutricional (IEN) igual à zero. Porém, considerando-se que a média da população de referência é o teor ótimo, associado a um índice DRIS igual a zero, este ajuste deixa de ter sentido.

3.4. DIAGNOSE DA COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL (CND)

No quadro 2.7, encontram-se as médias e os desvios padrão das variáveis CND (normas) para a população de alta produtividade.

Apesar do método CND basear-se nas interações múltiplas que ocorrem entre todos os nutrientes sob diagnose, também se considera que o nutriente está em equilíbrio nutricional quando o índice da variável multinutriente (I_{vi}) tende a zero (Khiari et al., 2001a,b).

Quadro 2.7. Média ($\bar{y}$) e desvio padrão (s) de variáveis multinutrientes[1] dos nutrientes e média geométrica (G) da composição nutricional (teores dos nutrientes e o valor de complemento R) para subpopulação de alta produtividade[2], em amostras coletadas nos estados de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás, entre os anos agrícolas de 1997/98 e 2001/02.

	N	P	K	Ca	Mg	S
$\bar{y}$	3,49	0,90	2,87	2,09	1,10	0,72
s	0,19	0,24	0,26	0,29	0,22	0,26
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	G
$\bar{y}$	-3,28	-3,30	-2,72	-5,10	-3,39	0,12
s	0,42	0,46	0,36	0,38	0,24	0,02

[1] Calculado conforme Khiari et al. (2001a,b). [2] Superior a 3.900 kg/ha, n = 108.

Partindo-se desta premissa, efetuou-se análise de regressão para o teor de nutriente no terceiro trifólio com pecíolo em função de I_{zi} (Quadro 2.8). Observou-se que estas variáveis apresentaram relação linear, com ajuste próximo ao verificado no método DRIS. E os teores ótimos estimados para I_{zi} igual a zero consistiram-se, também, na própria média da população de referência (Quadro 2.2).

Bhargava & Raghupathi (1999) e Raghupathi et al. (2002) propõem também que o teor ótimo dos nutrientes seja estimado a partir da equação do índice I_{vi} [$I_{vi} = (V_i - v_i)/s_i$]. Como a média (v_i) e o desvio padrão (s_i) da variável multinutriente da população de referência são conhecidos, o teor ótimo seria calculado com base na variável multinutriente (V_i) e na média geométrica (G) de uma população independente, conforme a demonstração abaixo:

$$V_i = \ln (x_i/G) = \ln x_i - \ln G$$

$$\ln x_i = V_i + \ln G$$

$$x_i = e^{(V_i + \ln G)}$$

Ressalta-se, contudo, que a aplicação desta equação nas amostras da própria população de referência, como efetuado por Bhargava & Raghupathi (1999)

Quadro 2.8. Equações de regressão para teor de macro (g/kg) e micronutriente (mg/kg) no terceiro trifólio com pecíolo (TTP) em função do índice CND.

Equação[1]		R^2
$\hat{N}_{TTP} = 39,9 + 4,23^{**}I_N$	$-1,77 \leq I_N \leq 2,17$	0,480
$\hat{P}_{TTP} = 3,04 + 0,579^{**}I_P$	$-2,60 \leq I_P \leq 2,64$	0,675
$\hat{K}_{TTP} = 21,9 + 4,34^{**}I_K$	$-2,10 \leq I_K \leq 2,04$	0,725
$\hat{Ca}_{TTP} = 10,3 + 2,94^{**}I_{Ca}$	$-2,48 \leq I_{Ca} \leq 2,49$	0,775
$\hat{Mg}_{TTP} = 3,70 + 0,682^{**}I_{Mg}$	$-2,47 \leq I_{Mg} \leq 2,37$	0,664
$\hat{S}_{TTP} = 2,56 + 0,542^{**}I_S$	$-2,53 \leq I_S \leq 2,26$	0,731
$\hat{B}_{TTP} = 41,7 + 7,81^{**}I_B$	$-2,19 \leq I_B \leq 2,84$	0,725
$\hat{Cu}_{TTP} = 8,06 + 3,11^{**}I_{Cu}$	$-2,65 \leq I_{Cu} \leq 1,78$	0,866
$\hat{Fe}_{TTP} = 86,2 + 32,1^{**}I_{Fe}$	$-2,33 \leq I_{Fe} \leq 2,50$	0,821
$\hat{Mn}_{TTP} = 51,0 + 24,4^{**}I_{Mn}$	$-2,72 \leq I_{Mn} \leq 2,17$	0,832
$\hat{Zn}_{TTP} = 50,6 + 20,7^{**}I_{Zn}$	$-3,29 \leq I_{Zn} \leq 1,75$	0,824

[1] Número de amostras para análise de regressão = 108.

e Raghupathi et al. (2002), também se terá como resultado o teor ótimo sendo a própria média da população de referência.

Para a definição da faixa ótima de I_{vi} em que os nutrientes estão em equilíbrio, Khiari et al. (2001a,b) propuseram um procedimento iterativo em que os dados de produtividade são plotados em um gráfico em função do quadrado do valor do índice I_{vi}. Em seguida, define-se um I_{vi}^2 crítico para cada nutriente, pelo método de Cate & Nelson. A faixa ótima de I_{vi}, que difere entre os nutrientes, é estabelecida como a raiz quadrada do I_{vi}^2 crítico. Este procedimento foi adotado para a população de alta produtividade, porém a dispersão de dados obtida não permitiu a identificação do valor crítico de I_{vi} pelo método de Cate & Nelson. Por esta razão, optou-se por estimar a faixa ótima (Quadro 2.2) considerando-se uma amplitude de $\pm$2/3 desvios padrão para o índice CND ($-0,67 \leq I \leq 0,67$).

3.5. DEFINIÇÃO DE TEORES E FAIXA ÓTIMA DE NUTRIENTES NA FOLHA ÍNDICE

No quadro 2.2, constata-se que os quatro métodos de diagnose do estado nutricional avaliados concordam na indicação de que o teor ótimo estimado é o próprio teor médio da população de referência, ou então, um valor muito próximo deste (no método da Chance Matemática). Esta concordância era esperada, tendo-se em vista que lavouras de alta produtividade necessariamente apresentam uma nutrição equilibrada, não obstante o equilíbrio nutricional não implique alta produtividade se houver limitação por outro fator de produção. Ressalta-se, contudo, que as diferenças encontradas nos teores ótimos estimados pelo método da Chance Matemática, em relação aos demais, podem ser resultantes de desvios de normalidade na população de referência, tendo-se em vista que, sob distribuição normal, a média aritmética é igual à mediana.

Assim, pode-se estimar o teor ótimo para uma condição específica, como por exemplo, o potencial produtivo, simplesmente agrupando-se o banco de dados de forma adequada. Este agrupamento foi realizado para seis potenciais produtivos (2.800, 3.200, 3.600, 4.000, 4.400 e 4.800 kg/ha) e permitiu o estabelecimento de modelos matemáticos para Ca, S, Mn e Zn (Figura 2.3). Na figura 2.3, constata-se que os teores ótimos destes nutrientes tendem a se manter relativamente constantes em produtividades menores do que 3.600 kg/ha e aumentam a partir deste potencial. Para os demais nutrientes, não se ajustou nenhum modelo, visto que os teores ótimos mantiveram-se praticamente inalterados.

Em relação à faixa ótima de teores, também verifica-se concordância entre os métodos avaliados, à exceção de Mn e Zn, em que a amplitude de valores foi maior quando estimado por meio da Chance Matemática. Este comportamento pode ser explicado pela associação de grande número de classes de freqüência com valores elevados de chance matemática e da grande amplitude de valores dentro de cada classe.

A faixa de valores da variável normal reduzida (z) estimadas para o método de Kenworthy (Quadro 2.4) indica que a classe de diagnose considerada normal apresenta três grupos distintos de nutrientes, segundo a constituição da população centrada, sendo de cerca de 50 % ($-0,69 \leq z \leq 0,69$) para Cu, Fe, Mn e Zn, 68 % ($-1,00 \leq z \leq 1,00$) para P, K, Ca, Mg, S e B e 80 % ($-1,27 \leq z \leq 1,27$) para N.

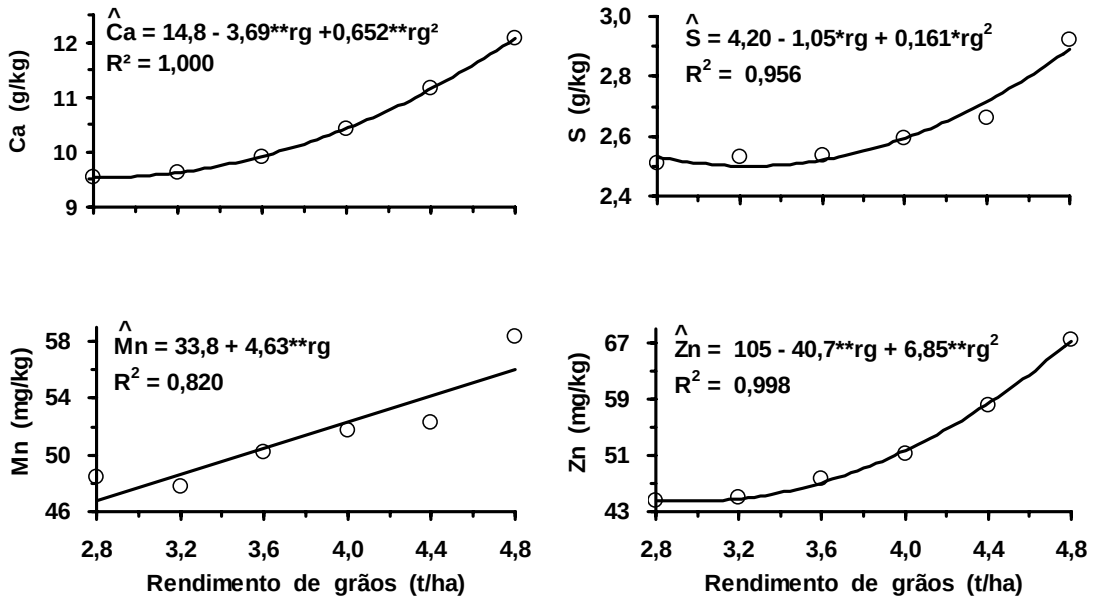

FIGURA 2.3. Teores ótimos de Ca, S, Mn e Zn no terceiro trifólio com pecíolo, em função de potencial produtivo (rg) de soja.

Porém, apenas para N observou-se que a faixa ótima mostrou maior amplitude em relação àquela estimada pelo método DRIS.

Destaca-se também que apesar de se considerar uma faixa de desvio padrão para o CND igual ao adotado para o DRIS, a amplitude de valores estimados pelo CND tendeu a ser menor em relação aos demais métodos de diagnose avaliados.

Diante do exposto, sugere-se a adoção dos valores de faixa ótima estimada a partir do método DRIS, em substituição ao nível de suficiência atualmente adotado (Embrapa, 2002). Exceto para N, K e Zn, estes resultados eliminam uma das limitações constatadas nos níveis de suficiência em vigor, ou seja, amplitude demasiadamente grande, em que o limite superior chega a superar o limite inferior em cerca de cinco (Ca e Mn) a sete vezes (Fe). Esta grande amplitude de valores foi provavelmente estabelecida em função da relativa tolerância da soja a teores mais elevados destes nutrientes, observada em ensaios de calibração. Contudo, em condições de lavouras comerciais, onde os teores de

outros nutrientes não estão necessariamente em níveis adequados, pode-se estar sujeito à limitação da produção induzida por desequilíbrio nutricional.

Chama atenção também o fato do limite superior da faixa ótima de N substituir o limite inferior do nível de suficiência (Quadro 2.2). Isto porém, reforça a inadequação dos padrões estabelecidos por Sfredo et al. (1986). Estes padrões, praticamente inalterados (à exceção de Cu) e ainda utilizados atualmente, foram obtidos em condições edafoclimáticas e de potencial produtivo muito distintas das encontradas na região Central do Brasil. No caso específico do N, os elevados teores da faixa de suficiência simplesmente refletem o fato de que, nas décadas de 70 e 80, a nutrição nitrogenada era dependente da aplicação de fertilizantes. Nas condições atuais, em que o N é suprido principalmente pela fixação biológica, é de se esperar que tanto o teor como a faixa ótima sejam menores.

De acordo com Wadt (1996), o limite inferior da faixa ótima pode ser considerado como o nível crítico do nutriente, o que corresponderia ao teor deste associado a uma produtividade equivalente a 90% daquela possível de ser obtida em condições de teor ótimo. No quadro 2.2, constata-se semelhança entre os níveis críticos estimados a partir dos métodos da Chance Matemática, Índice de Kenworthy e DRIS. O método CND, por sua vez, tende a resultar em níveis críticos maiores do que aqueles estimados pelos demais, à exceção para Ca e Cu.

Com base nas discussões apresentadas, pode-se concluir que os teores ótimos e os níveis críticos definidos a partir da média da população de referência e do limite inferior da faixa ótima estimada por meio do DRIS, respectivamente, representam valores associados a uma condição de equilíbrio nutricional. Salienta-se porém, que esta conclusão é válida apenas para condições homogêneas e criteriosas quanto aos procedimentos de coleta, preparo e análise química de amostras, de forma a se obter um banco de dados consistente e confiável.

3.6. DEFINIÇÃO DE NORMAS ESPECÍFICAS POR CLASSE TEXTURAL, NO MÉTODO DRIS.

Dentre as 108 amostras de talhões de alta produtividade, em 84 foi efetuada a determinação de teor de argila. Para o conjunto destas 84 amostras e para o agrupamento segundo a classe textural ($\leq$ 35, 36 a 60 e > 60 % de argila),

efetuou-se o teste de aderência para a distribuição normal de Kolmogorov-Smirnov. Os resultados (Quadro 2.9) demonstraram que, para algumas relações duais (N/S, K/Zn, B/K, B/Cu, B/Zn, Cu/Zn, Fe/S, Fe/Cu, Fe/Mn, Mn/K, Mn/Ca e Mn/Cu) a simples redução no tamanho da população de referência (de 108 para 84 pares de dados) determinou uma distribuição de freqüência acumulada semelhante à esperada para uma distribuição normal. E quando se procede ao agrupamento das amostras segundo a classe textural do talhão, observa-se que quase a totalidade das relações duais passou a seguir uma distribuição normal.

No quadro 2.10, são apresentadas as normas para a população de referência, calculadas a partir de normas gerais e específicas para a classe textural. Verifica-se que a diminuição da assimetria da distribuição de freqüência obtida com a adoção de normas específicas, associada às diferenças existentes entre os talhões amostrados quanto à prática de inoculação de sementes, fonte, dose e modo de aplicação de corretivos e fertilizantes, material de origem e fertilidade do solo e condições climáticas da região, entre outros, tendeu a influenciar a magnitude das médias calculadas para os solos de textura argilosa e muito argilosa.

As relações duais em que algum nutriente catiônico (K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn ou Zn) está no numerador e algum nutriente não catiônico (N, P, S ou B) está no denominador, tendem a ser maiores em solos mais argilosos do que em solos com menor teor de argila. Por outro lado, quando a relação dual envolve dois nutrientes catiônicos, tende a ser menor em solos mais argilosos quando o numerador é constituído por K, Ca, Mg ou Fe e maior quando é composto por Cu, Mn ou Zn.

Os desvios padrão também foram afetados pelo agrupamento das amostras. No quadro 2.10, percebe-se que houve tendência de diminuição do desvio padrão, principalmente para as amostras coletadas em solos muito argilosos, sendo este efeito em geral mais pronunciado nas relações constituídas por N, P, Ca, S, B, Fe e Mn.

No intuito de se separar os nutrientes limitantes por falta ou por excesso daqueles não limitantes, usando-se normas gerais e específicas para as classes texturais, os teores de nutrientes das amostras da população de baixa produtividade foram classificados de acordo com o potencial de resposta à

Quadro 2.9. Teste de Kolmogorov-Smirnov para a diferença máxima (D_{max}) entre a distribuição acumulada das relações duais entre nutrientes em amostras de terceiro trifólio com pecíolo e a distribuição acumulada hipotética e respectivo nível de significância, para a subpopulação de alta produtividade[1], agrupada em classes texturais.

Variável[2]	Geral	Classe textural		
		Arenosa e média	Argilosa	Muito argilosa
N/K	0,195**	0,159	0,219	0,208
N/Ca	0,185**	0,136	0,203	0,080
N/S	0,061	0,089	0,057	0,096
N/Cu	0,166*	0,227	0,176	0,178
N/Mn	0,243**	0,145	0,232	0,257*
P/K	0,202**	0,209	0,147	0,121
P/Ca	0,209**	0,271*	0,177	0,154
P/B	0,167*	0,243*	0,140	0,133
P/Cu	0,187**	0,211	0,198	0,154
P/Mn	0,247**	0,173	0,248*	0,152
P/Zn	0,172*	0,208	0,140	0,126
K/Ca	0,151*	0,184	0,126	0,151
K/Cu	0,172*	0,286*	0,138	0,177
K/Mn	0,244**	0,214	0,211	0,215
K/Zn	0,148	0,172	0,143	0,156
Ca/Cu	0,154*	0,243*	0,158	0,199
Ca/Mn	0,150*	0,147	0,198	0,221
Ca/Zn	0,237**	0,190	0,283*	0,127
B/K	0,123	0,130	0,172	0,195
B/Ca	0,159*	0,177	0,127	0,101
B/Cu	0,139	0,209	0,206	0,196
B/Fe	0,181**	0,200	0,262*	0,150
B/Mn	0,239**	0,216	0,220	0,243*
B/Zn	0,131	0,194	0,113	0,158
Cu/Fe	0,166*	0,169	0,205	0,127
Cu/Zn	0,119	0,160	0,151	0,129
Fe/S	0,134	0,110	0,191	0,157
Fe/Cu	0,143	0,241*	0,134	0,202
Fe/Mn	0,131	0,129	0,131	0,163
Fe/Zn	0,168*	0,139	0,233	0,162
Mn/K	0,142	0,167	0,153	0,232
Mn/Ca	0,111	0,185	0,083	0,173
Mn/Cu	0,147	0,164	0,147	0,233
Mn/Fe	0,154*	0,212	0,155	0,163
Mn/Zn	0,175*	0,295**	0,210	0,157

[1] Produtividade superior a 3.900 kg/ha, com número de talhões de 84, 27, 30 e 27, para o conjunto das amostras e para as classes texturais arenosa e média (≤ 35 % de argila), argilosa (36 a 60 % de argila) e muito argilosa (> 60 % de argila), respectivamente. [2] O teste foi aplicado apenas para as relações duais que não apresentaram distribuição normal para a totalidade da população de alta produtividade (n = 108). * e ** indicam rejeição da hipótese de normalidade de distribuição, pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, a 5 e 1 % de probabilidade, respectivamente.

Quadro 2.10. Média ($\bar{y}$) e desvio padrão (s) de relações duais de nutrientes no terceiro trifólio com pecíolo, para subpopulação de alta produtividade[1], calculadas a partir de normas gerais e específicas para a classe textural, em amostras coletadas nos estados de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás, entre os anos agrícolas de 1997/98 e 2001/02.

Variável	Geral		Classe de teor de argila (%)					
			≤ 35		36 a 60		> 60	
	$\bar{y}$	S	$\bar{y}$	S	$\bar{y}$	s	$\bar{y}$	s
N/P	13,083388	2,968281	12,369526	3,037632	12,931428	2,573526	13,966095	3,083906
N/K	1,734324	0,488602	1,958395	0,584757	1,671862	0,373323	1,579657	0,409219
N/Ca	3,800252	1,502771	3,595014	1,227211	4,497929	1,911386	3,230292	0,743436
N/Mg	10,887422	3,505971	10,671019	3,689852	12,366719	3,860288	9,460162	1,885022
N/S	15,853809	3,329554	16,163763	3,840451	15,832547	2,592997	15,567480	3,477244
N/B	0,989446	0,240458	1,099613	0,294346	0,934719	0,205515	0,940085	0,168567
N/Cu	5,832150	3,562721	6,115408	3,897524	6,983326	3,853765	4,269809	1,950207
N/Fe	0,485762	0,211881	0,470403	0,185160	0,508826	0,241898	0,475493	0,198583
N/Mn	1,076495	0,790125	1,003352	0,556764	1,488138	1,010982	0,692257	0,394153
N/Zn	1,044877	0,572452	1,131364	0,534984	1,257581	0,668793	0,722052	0,272686
P/N	0,080665	0,020008	0,086774	0,025661	0,080301	0,015617	0,074961	0,015686
P/K	0,140056	0,054590	0,169489	0,068691	0,134985	0,045636	0,116257	0,027887
P/Ca	0,299926	0,125700	0,300761	0,103970	0,357447	0,158903	0,235179	0,049217
P/Mg	0,860731	0,288333	0,889798	0,271453	0,984546	0,330903	0,694093	0,132849
P/S	1,257914	0,328401	1,355080	0,352182	1,256223	0,260231	1,162627	0,343111
P/B	0,078877	0,027205	0,094637	0,038301	0,073348	0,015188	0,069260	0,014302
P/Cu	0,458710	0,276358	0,501328	0,288053	0,548146	0,303787	0,316718	0,145691
P/Fe	0,038767	0,018012	0,040060	0,016872	0,040896	0,020296	0,035109	0,015711
P/Mn	0,086343	0,067058	0,086422	0,055283	0,119271	0,084807	0,049677	0,019826
P/Zn	0,084555	0,052185	0,101178	0,062988	0,098962	0,048650	0,051923	0,017419
K/N	0,613480	0,136683	0,553405	0,148192	0,622445	0,113845	0,663594	0,124703
K/P	8,021101	2,551451	6,832844	2,435925	8,062810	2,181129	9,163013	2,513070
K/Ca	2,317938	1,017162	2,015464	0,936243	2,799500	1,261301	2,085344	0,413959
K/Mg	6,657638	2,453127	6,006699	2,735688	7,646748	2,605871	6,209567	1,407676
K/S	9,694895	2,842673	8,895964	2,972295	9,912962	2,712672	10,251531	2,669929
K/B	0,592990	0,154372	0,585284	0,165183	0,575891	0,149764	0,619695	0,144345
K/Cu	3,475984	2,032575	3,291896	2,082787	4,313059	2,290618	2,729989	1,147283
K/Fe	0,294282	0,138933	0,253177	0,103637	0,313986	0,152367	0,313493	0,145003
K/Mn	0,648013	0,480834	0,557164	0,376082	0,918179	0,605597	0,438678	0,192832
K/Zn	0,629778	0,396272	0,595587	0,292955	0,808370	0,528444	0,465534	0,169866
Ca/N	0,298125	0,096629	0,304811	0,085918	0,265749	0,108769	0,327413	0,080342
Ca/P	3,807739	1,215370	3,642202	0,965132	3,399069	1,449459	4,427352	0,856015
Ca/K	0,514581	0,218293	0,604460	0,269084	0,446172	0,212990	0,500712	0,109400
Ca/Mg	3,005029	0,682968	3,062005	0,682931	2,949269	0,761434	3,010007	0,577791
Ca/S	4,702588	1,848042	4,902825	1,901749	4,191305	1,847510	5,070443	1,658367
Ca/B	0,295470	0,122169	0,336937	0,141100	0,250022	0,119699	0,304503	0,080678
Ca/Cu	1,631845	1,004164	1,798344	1,284955	1,736709	0,977065	1,348831	0,552451

Continua...

Quadro 2.10. Continuação.

Variável	Geral		Classe de teor de argila (%)					
			≤ 35		36 a 60		> 60	
	$\bar{y}$	S	$\bar{y}$	S	$\bar{y}$	s	$\bar{y}$	s
Ca/Fe	0,137224	0,058290	0,139176	0,058940	0,120350	0,044118	0,154020	0,065815
Ca/Mn	0,273210	0,129689	0,283163	0,137983	0,317355	0,132759	0,214206	0,089205
Ca/Zn	0,299407	0,194367	0,340943	0,210912	0,327519	0,231130	0,226636	0,076111
Mg/N	0,100120	0,027733	0,101543	0,025330	0,090116	0,031550	0,109813	0,020930
Mg/P	1,288258	0,404942	1,219097	0,331744	1,155605	0,432642	1,504811	0,347695
Mg/K	0,174185	0,073691	0,203450	0,091988	0,149975	0,062399	0,171820	0,050924
Mg/Ca	0,350989	0,082269	0,345511	0,087741	0,360730	0,085699	0,345644	0,070950
Mg/S	1,571563	0,501744	1,613735	0,481229	1,419597	0,516673	1,698244	0,459926
Mg/B	0,098800	0,036467	0,111595	0,040810	0,085363	0,040862	0,100935	0,015737
Mg/Cu	0,552120	0,301128	0,590143	0,346964	0,603384	0,319457	0,457136	0,186940
Mg/Fe	0,047466	0,023735	0,048519	0,027801	0,042185	0,017039	0,052280	0,024533
Mg/Mn	0,096475	0,052819	0,098036	0,051694	0,116004	0,059957	0,073216	0,032336
Mg/Zn	0,106108	0,076092	0,118673	0,069300	0,119326	0,099950	0,078856	0,031879
S/N	0,065929	0,014204	0,065401	0,015734	0,064913	0,010938	0,067585	0,015588
S/P	0,849328	0,220931	0,782630	0,176585	0,828120	0,158765	0,939590	0,282082
S/K	0,114080	0,040219	0,127771	0,049430	0,109041	0,031969	0,105989	0,034242
S/Ca	0,247664	0,101243	0,232078	0,085852	0,289843	0,125546	0,216383	0,061703
S/Mg	0,710303	0,253661	0,684766	0,251892	0,800511	0,280516	0,635608	0,184459
S/B	0,064829	0,020042	0,070372	0,020684	0,060549	0,016915	0,064043	0,021265
S/Cu	0,369786	0,221630	0,369901	0,171958	0,458913	0,292743	0,270641	0,096809
S/Fe	0,032264	0,015507	0,030673	0,013346	0,033060	0,016011	0,032969	0,016776
S/Mn	0,070354	0,055529	0,065113	0,040089	0,097902	0,074208	0,044987	0,018786
S/Zn	0,067875	0,038953	0,073917	0,041299	0,081082	0,043169	0,047157	0,016880
B/N	1,070742	0,264193	0,979707	0,284072	1,126642	0,269534	1,099666	0,207691
B/P	13,754773	3,535954	11,925211	3,742392	14,208632	2,884000	15,080048	3,212238
B/K	1,807967	0,505347	1,834362	0,491851	1,858561	0,502315	1,725356	0,511726
B/Ca	4,085275	2,003120	3,528658	1,602511	5,097461	2,554889	3,517242	0,944291
B/Mg	11,615295	4,602537	10,403147	4,313662	14,011342	5,573377	10,165170	1,682572
B/S	16,858367	5,085461	15,480452	4,650153	17,757794	4,713737	17,236918	5,586272
B/Cu	6,030509	3,522555	5,487249	2,546894	7,691363	4,395062	4,728374	2,366167
B/Fe	0,518797	0,271290	0,455904	0,206052	0,580137	0,346855	0,513535	0,211363
B/Mn	1,159782	0,951363	0,975680	0,715423	1,693462	1,216007	0,750906	0,378820
B/Zn	1,089989	0,593283	1,054327	0,524265	1,388090	0,681662	0,794428	0,341396
Cu/N	0,221649	0,098903	0,209540	0,084835	0,181573	0,082948	0,278286	0,102232
Cu/P	2,869479	1,489217	2,499847	1,101730	2,287834	1,003906	3,885385	1,738250
Cu/K	0,372835	0,167181	0,397924	0,166362	0,305094	0,161940	0,423012	0,147964
Cu/Ca	0,789084	0,371935	0,721575	0,329896	0,769361	0,406311	0,878506	0,353733

Continua...

Quadro 2.10. Continuação.

Variável	Geral		Classe de teor de argila (%)					
			≤ 35		36 a 60		> 60	
	$\bar{y}$	s	$\bar{y}$	S	$\bar{y}$	s	$\bar{y}$	s
Cu/Mg	2,307040	1,090805	2,140987	0,936824	2,186117	1,124674	2,607451	1,133415
Cu/S	3,370613	1,341836	3,225479	1,297011	2,861473	1,280835	4,081458	1,132335
Cu/B	0,214187	0,103178	0,216740	0,080954	0,166597	0,082465	0,264511	0,118131
Cu/Fe	0,108844	0,074376	0,098968	0,060293	0,089684	0,060503	0,140010	0,089614
Cu/Mn	0,201549	0,114439	0,192634	0,124849	0,231519	0,128840	0,177166	0,070996
Cu/Zn	0,206356	0,109754	0,224554	0,140471	0,206713	0,098727	0,187763	0,078974
Fe/N	2,425209	0,968366	2,378859	0,742839	2,390114	0,994691	2,510553	1,120463
Fe/P	31,548105	14,417917	29,166682	11,738530	31,031849	14,435228	34,503145	16,208177
Fe/K	4,133050	1,819402	4,519943	1,562740	3,965651	1,798636	3,932155	2,010121
Fe/Ca	8,782061	4,353048	8,287807	3,195850	9,761560	4,648962	8,187982	4,802244
Fe/Mg	25,542495	10,884668	25,216877	10,266187	27,509185	10,823430	23,682903	11,188062
Fe/S	38,953585	18,981172	38,487347	15,354713	38,000315	17,137099	40,479012	23,563823
Fe/B	2,379844	1,080335	2,608862	1,151873	2,219809	0,953819	2,328643	1,099936
Fe/Cu	13,832935	8,655387	14,264877	8,982999	15,692304	8,464140	11,335028	7,906171
Fe/Mn	2,358359	1,471638	2,331755	1,486656	3,000997	1,563927	1,670920	0,936942
Fe/Zn	2,469020	1,665463	2,570602	1,308569	3,016629	2,148578	1,758984	0,969620
Mn/N	1,336696	0,705759	1,377242	0,811206	0,968411	0,488618	1,705355	0,581416
Mn/P	17,349495	9,810564	16,665729	9,567619	12,438123	6,533384	23,490339	9,771855
Mn/K	2,278611	1,348389	2,652862	1,699878	1,636905	0,980848	2,617368	0,992760
Mn/Ca	4,473780	2,165161	4,596683	2,637190	3,572356	1,131274	5,352459	2,125528
Mn/Mg	13,509726	7,350448	14,320666	9,565175	10,675225	4,724080	15,848232	6,062011
Mn/S	20,936048	11,642836	21,677463	11,856862	15,349584	8,130854	26,401814	11,940960
Mn/B	1,310175	0,722634	1,452010	0,798692	0,920217	0,534593	1,601625	0,628607
Mn/Cu	6,773408	4,450648	7,341244	4,602299	6,012724	3,985887	7,050777	4,663657
Mn/Fe	0,612930	0,402351	0,625677	0,392580	0,425407	0,210865	0,808543	0,471831
Mn/Zn	1,260143	0,959794	1,469369	1,274307	1,146491	0,894487	1,177196	0,536744
Zn/N	1,246734	0,649168	1,145216	0,632786	1,002794	0,483760	1,619297	0,659856
Zn/P	16,106663	8,281751	14,230936	7,911181	12,835760	6,594998	21,616725	7,530130
Zn/K	2,074484	0,991995	2,080802	0,914646	1,716762	0,980900	2,465634	0,927703
Zn/Ca	4,386582	2,048210	3,897670	1,900220	4,236717	2,023920	5,042011	2,048371
Zn/Mg	13,355909	7,353307	12,531375	8,255970	12,363795	6,347464	15,282791	7,057396
Zn/S	19,302495	9,667057	18,147412	9,546648	15,775605	7,783110	24,376343	9,560037
Zn/B	1,198062	0,615563	1,174417	0,528208	0,929294	0,488490	1,520339	0,670844
Zn/Cu	6,371587	3,804479	6,196255	3,367087	6,543313	4,869887	6,356112	2,697870
Zn/Fe	0,574482	0,314928	0,504053	0,261189	0,491091	0,267510	0,737567	0,348630
Zn/Mn	1,127149	0,633128	1,013308	0,554211	1,315170	0,788676	1,032076	0,433062

[1] Produtividade superior a 3.900 kg/ha, com número de talhões de 84, 27, 30 e 27, para o conjunto das amostras e para as classes texturais arenosa e média (≤ 35 % de argila), argilosa (36 a 60 % de argila) e muito argilosa (> 60 % de argila), respectivamente.

adubação (PRA), conforme Wadt (1996), com modificações de Silva (2001) (Quadro 2.11). Para situações em que o valor absoluto do índice primário era maior do que o IENm, o nutriente foi considerado limitante por falta (LF) quando o índice era negativo e limitante por excesso (LE) quando este era positivo. Quando o índice para o nutriente apresentava valor absoluto menor ou igual ao IENm, considerou-se que o mesmo não era limitante (NL). No quadro 2.11, constata-se que as alterações ocorridas nas relações duais e nos seus respectivos desvios padrão, em decorrência da mudança da base de cálculo dos índices primários para as normas específicas, afetaram a sensibilidade do DRIS em diagnosticar nutrientes considerados limitantes por falta ou por excesso. Ressalta-se porém, que em alguns casos, a discrepância entre as diagnoses de deficiência efetuadas com normas gerais ou específicas é de tal magnitude, que permite sugerir que algum outro fator também possa estar influenciando. Quando se adotam normas gerais, é nítida a desproporcionalidade para as freqüências de talhões limitantes por falta de N, P e S em solos muito argilosos, em relação aos demais nutrientes. Estas diferenças indicam que o uso de normas gerais pode levar a uma falsa diagnose de deficiência de P e S em solos com elevado fator capacidade tampão e de N em solos com elevado teor de argila.

Diante deste contexto, é lícito se afirmar que a maior eficiência de utilização de P e S em solos com maior fator capacidade pode estar influenciando a sensibilidade da diagnose pelo DRIS, justificando-se a adoção de normas específicas para a classe textural, ou então, para classes de valores para P-remanescente. Quando se compara a média dos teores foliares de P na população de referência, de acordo com a classe textural (3,3; 3,1 e 2,7 g/kg de P, respectivamente para solos de textura arenosa e média, argilosa e muito argilosa), também fica evidente a possibilidade de se equivocar na estimativa da demanda da soja por este nutriente, quando se adotam normas gerais.

A superestimativa da carência de N em plantas cultivadas em solos muito argilosos, verificada quando se utilizam normas gerais, parece estar relacionada à superestimativa do índice DRIS para este nutriente, nestas condições. Porém, não se encontrou associação direta com nenhuma das variáveis que pudessem explicar a maior eficiência de utilização de N em soja cultivada em solos mais

Quadro 2.11. Freqüência de talhões de lavouras de soja em relação às classes de status nutricional[1], na população de baixa produtividade[2], e freqüência de talhões com diagnoses concordantes (FDC[3]) do status nutricional, estabelecidos pelo método do potencial de resposta à adubação aplicado ao DRIS[4], para três classes de teor de argila, utilizando-se normas gerais e específicas para a classe textural.

Nutriente	Argila	Normas gerais			Normas específicas			FDC
		Classe de status nutricional						
		LF	LE	NL	LF	LE	NL	
	%	- - -

argilosos, tais como inoculação de sementes com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* (*B. japonicum* e *B. elkanii*), teor de matéria orgânica, tempo de adoção do plantio direto e rotação de cultura praticada pelo agricultor.

Ressalta-se também que a maior proporção de talhões com carência de Zn em solos muito argilosos, verificada ao se utilizar normas específicas, deve ser apenas um reflexo dos maiores teores foliares de Zn observados na população de referência específica para esta classe textural (59 mg/kg), em relação aos teores médios nos talhões amostrados em solos arenosos (43 mg/kg). Apesar de haver correlação positiva entre os níveis críticos de Zn e os valores de P remanescente (COUTO, 1985), os teores mais elevados registrados em amostras de trifólios com pecíolo coletadas em solos mais argilosos podem estar relacionados à aplicação de adubo foliar em cobertura, bem como a maiores teores extraíveis de Zn no solo.

A avaliação da universalidade das normas em relação à classe textural das amostras de solo coletadas nos talhões de soja foi efetuada com base na freqüência de diagnoses concordantes (FDC) do estado nutricional de macro e micronutrientes, obtida pelo DRIS (Quadro 2.11). Constatou-se que os diagnósticos produzidos a partir de normas gerais e específicas apresentaram maiores diferenças para talhões com solos muito argilosos (16 %), em decorrência principalmente das discrepâncias verificadas para N (27 %), P (29 %) e S (27 %). Em áreas de textura arenosa e média ou argilosa, as diagnoses do estado nutricional foram mais concordantes (91 e 93 %, respectivamente), o que evidencia menor influência da definição de normas específicas, ou seja, maior caráter de universalidade das normas, para solos menos argilosos.

4. CONCLUSÕES

1. Os métodos de diagnose do estado nutricional Chance Matemática, Índices Balanceados de Kenworthy, Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) e Diagnose da Composição Nutricional (CND) indicam que o teor ótimo de nutrientes é a própria média da população de referência.

2. Os níveis de suficiência para a cultura da soja podem ser obtidos a partir da estimativa das faixas ótimas de teores foliares de nutrientes, por meio do método DRIS, para uma faixa de equilíbrio de ± 10 2/3 desvios padrão em torno do índice igual à zero (fator de ajuste c = 10).

3. Os teores ótimos de Ca, S, Mn e Zn na folha índice permanecem praticamente inalterados em produtividades inferiores a 3.600 kg/ha e aumentam a partir deste potencial produtivo. Os teores ótimos de N, P, K, Mg, B, Cu e Fe não variaram mesmo para produtividades superiores a 4.800 kg/ha.

4. O diagnóstico do estado nutricional de N, P e S em solos muito argilosos, pelo DRIS, é influenciado pela adoção de normas gerais ou específicas para a classe textural ou para o fator capacidade tampão de P do talhão amostrado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABADÍA, J.; TAGLIAVINI, M.; GRASA, R.; BELKHODJA, R.; ABADÍA, A.; SANZ, M.; FARIA, E.A.; TSIPOURIDIS, C. & MARANGONI, B. Using the flower Fe concentration for estimating chlorosis status in fruit tree orchards: a summary report. J. Plant Nut., 23(11-12):2023-2033, 2000.

ALVAREZ V., V.H. Correlação e calibração de métodos de análise de solos. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F. & FONTES, M.P.F. O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, SBCS/UFV/DPS, 1996. p.615-646.

ALVAREZ V., V.H. & LEITE, R. de A. Fundamentos estatísticos das fórmulas usadas para cálculo dos índices DRIS. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 24(1):20-25, 1999.

ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. & BARROS, N.F. Níveis críticos de enxofre em solos de cerrado para crescimento de mudas de eucalipto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 19., 1983, Curitiba. Resumos... Curitiba, SBCS, 1983. p.164-165.

BALDOCK, J.O. & SCHULTE, E.E. Plant analysis with standardized scores combines DRIS and sufficiency range approaches for corn. Agron. J., 88(3):448-456, 1996.

BATAGLIA, O.C.; DECHEN, A.R. & SANTOS, W.R. dos. Diagnose visual e análise de plantas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., Piracicaba, 1992. Anais dos simpósios. Piracicaba, Fundação Cargill, 1992. p.369-393.

BATAGLIA, O.C.; DECHEN, A.R. & SANTOS, W.R. dos. Princípios da diagnose foliar. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F. & FONTES, M.P.F. O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, SBCS/UFV/DPS, 1996. p.647-660.

BATAGLIA, O.C. & MASCARENHAS, H.A.A. Absorção de nutrientes pela soja. Campinas, IAC, 1977. 36p. (Instituto Agronômico. Boletim Técnico, 41).

BATES, T.E. Factors affecting critical nutrient concentrations in plants and their evaluation: a review. Soil Science, 112(2):116-130, 1971.

BEAUFILS, E.R. Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS): a general scheme for experimentation and calibration based on principles develop from research in plant nutrition. Pietermaritzburg, South Africa, University of Natal, 1973. 132p. (Soil Science Bulletin, n.1).

BEVERLY, R.B.; SUMNER, M.E.; LETZSCH, W.S. & PLANCK, C.O. Foliar diagnosis of soybean by DRIS. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 17:237-256, 1986.

BHARGAVA, B.S. & RAGHUPATHI, H.B. Multivariate diagnosis of nutrient element norms for grape. J. Plant Nut., 22(2):219-227, 1999.

BORKERT, C.M.; YORINORI, J.T.; CORRÊA-FERREIRA, B.S.; ALMEIDA, A.M.R.; FERREIRA, L.P. & SFREDO, G.J. Seja o doutor da sua soja. In: POTAFOS. Informações Agronômicas, 66:1-16, 1994. (Arquivo do Agrônomo, 5).

BOURANIS, D.L.; CHORIANOPOULOU, S.N.; ZAKYNTHINOS, G.; SARLIS, G. & DROSSOPOULOS, J.B. Flower analysis for prognosis of nutritional dynamics of almond tree. J. Plant Nut., 24(4-5):705-716, 2001.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª aproximação. RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. ed. Viçosa, 1999. 359p.

COMO a planta de soja se desenvolve. Piracicaba: POTAFÓS, [1997?]. 21p. (POTAFÓS, Arquivo do agrônomo, 11).

CORDEIRO, D.S. Efeito de adubação NPK na absorção, translocação e extração de nutrientes pela soja. Piracicaba, ESALQ/USP, 1977. 143p. (Tese de Doutorado).

CORDEIRO, D.S.; SFREDO, G.J.; BORKERT, C.M.; SARRUGE, J.R.; PALHANO, J.B. & CAMPO, R.J. Calagem, adubação e nutrição mineral. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja, Londrina. Ecologia, manejo e adubação da soja. Londrina, 1979. p.19-49. (EMBRAPA-CNPSo. Circular Técnica, 2).

COUTO, C. Resposta do eucalipto e do milho à aplicação de zinco em amostras de solos de cerrado. Viçosa, UFV, 1985. 72p. (Tese de Mestrado).

EGGLI, D.B. & LEGGETT, J.E. Dry matter accumulation patterns in determinate and indeterminate soybeans. Crop Sci., 13:220-222, 1973.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

EMBRAPA. Soja: recomendações técnicas para Mato Grosso do Sul e Mato Grosso. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2000. 176p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Circular Técnica, 6).

EMBRAPA. Tecnologias de produção de soja – Paraná –2003. Londrina, Embrapa Soja, 2002. 195p. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 6).

EVENHUIS, B. & WAARD, P.W.F. Principles and practices in plant analysis. In: FAO, Soils. Rome, 1980. p.152-163 (FAO. Bulletin, 38/1).

FAGERIA, V.D. Nutrient interactions in crop plants. J. Plant Nut., 24(8):1269-1290, 2001.

FEHR, W. R. & CAVINESS, C. E. Stages of soybean development. Ames, Iowa State University, 1977. 12 p.

HANWAY, J.J. & WEBER, C.R. Accumulation of N, P, and K by soybean (Glycine max (L.) Merrill) plants. Agron. J., 63:406-408, 1971a.

HANWAY, J.J. & WEBER, C.R. Dry matter accumulation in eight soybean (Glycine max (L.) Merrill) varieties. Agron. J., 63:227-230, 1971b.

HANWAY, J.J. & WEBER, C.R. Dry matter accumulation in soybean (Glycine max (L.) Merrill) plants as influenced by N, P, and K fertilization. Agron. J., 63:263-266, 1971c.

HANWAY, J.J. & WEBER, C.R. N, P, and K percentages in soybean (Glycine max (L.) Merrill) plants parts. Agron. J., 63:286-290, 1971d.

KENWORTHY, A.L. Leaf analysis as an aid in fertilizing orchard. In: WALSH, L.O. & BEATON, J.D. Soil testing; plant analysis. Soil Sci. Amer. Soc., Madison 1973. p.381-392.

KHIARI, L.; PARENT, L.E. & TREMBLAY, N. Critical compositional nutrient indexes for sweet corn at early growth stage. Agron. J., 93:809-814, 2001a.

KHIARI, L.; PARENT, L.E. & TREMBLAY, N. The phosphorus compositional nutrient diagnosis range for potato. Agron. J., 93:815-819, 2001b.

LEANDRO, W.M. Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) para a cultura da soja (Glycine max L. Merril) na região de Rio Verde – GO. Goiânia, UFGO, 1998. 157p. (Tese de Doutorado).

LOPES, A.S. & CARVALHO, J.G. de. Técnicas de levantamento e diagnose da fertilidade do solo. In: OLIVEIRA, A.J. de; GARRIDO, W.E.; ARAUJO, J.D. de & LOURENÇO, S., coord. Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. Brasília, Embrapa-SEA, 1991. p.7-61. (Embrapa-SEA. Documentos, 3).

MAEDA, S. Interpretação do estado nutricional de soja pelo DRIS no Mato Grosso do Sul. Curitiba, UFPR, 2002. 107p. (Tese de Doutorado).

MAEDA, S. & RONZELLI JR., P. Efeito varietal e de sistema de manejo do solo sobre os valores de referência do DRIS. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 9.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 7.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 4., 2002, Rio de Janeiro. Agricultura: bases ecológicas para o desenvolvimento social e econômico sustentado: resumos. Rio de Janeiro, UFRRJ – Instituto de Agronomia/Embrapa Agrobiologia/Embrapa Solos/SBCS/SBM, 2002. CD-ROM. Seção resumos.

MALAVOLTA, E. & CRUZ, V.F. da. A meaning for foliar diagnosis. In: SAMISH, R. ed. Recent advances in plant nutrition. New York, Gordon & Breach Science Publ., 1971. v.1, p.1-13.

MALAVOLTA, E. Mineral nutrition of higher plants: the first 150 years. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E. & CARVALHO, J.G. Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas. Soil fertility, soil biology, and plant nutrition interrelationships. Viçosa, SBCS, Lavras, UFLA/DCS, 1999. p.51-122.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. de. Princípios, métodos e técnicas de avaliação do estado nutricional. In: MALAVOLTA, E.; VITTI,G.C. & OLIVEIRA, S.A. de. Avaliação do estado nutricional da plantas: princípios e aplicações. 2.ed., Piracicaba, POTAFOS, 1997. p.115-230.

MARTINEZ, H.E.P.; SOUZA, R.B.; ABADÍA, J.; ALVAREZ V., V.H. & SANZ, M. Coffee-tree floral analysis as a mean of nutritional diagnosis. J. Plant Nut., 26(7):1463-1478, 2003.

MARTIN-PREVEL, P.; GAENARD, J. & GAUTIER, P. L'analyse vegetable dans le controle de l'alimentation des plantes temperées et tropicales. Paris, Technique e Documentation, 1984. 802p.

MASCARENHAS, H.A.A. Acúmulo de matéria seca, absorção e distribuição de elementos na soja, durante o seu ciclo vegetativo. Piracicaba, ESALQ/USP, 1972. 100p. (Tese de Doutorado).

MASCARENHAS, H.A.A.; NEPTUNE, A.M.L.; MURAOKA,.T.; BULISANI, E.A. & HIROCE, R. Absorção de nutrientes por cultivares de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). R. Bras. Ci. Solo, 4:92-96, 1980.

MELLO, J.W.V.; RIBEIRO, A.C.; NOVAIS, R.F. & ALVAREZ V., V.H. Concentrações críticas de fósforo em plantas de arroz cultivadas em solos inundados. R. Bras. Ci. Solo, 17:211-216, 1993.

MORAES, E.A. Concentração, acumulação de P, K, Ca e Mg e crescimento da soja (Glycine max (L.) Merril) em diferentes estádios de desenvolvimento. Lavras, ESAL, 1983. 139p. (Tese de Mestrado).

MUNIZ, A.S.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F. & NEVES, J.C.L. Nível crítico de fósforo na parte aérea da soja como variável do fator capacidade de fósforo do solo. R. Bras. Ci. Solo, 9(3):237-243, 1985.

NEEDHAM, T.D.; BURGER, J.A.; ODERWALD, R.G. Relationship between diagnosis and integrated system (DRIS) optima and foliar nutrient critical levels. Soil Sci. Soc. Am. J., 54:883-886, 1990.

NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F.; CASALI, V.W.D. & FABRES, A.S. The influence of the soil phosphate capacity factor on soil and plant phosphorus critical levels of different vegetables. In: FRAGOSO, M.A.C. & BEUSICHEM, M.L.V., eds. Optimization of plant nutrition. Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 1993. p.73-76.

NOVAIS, R.F.; WADT, P.G.S.; ALVAREZ V., V.H. & BARROS, N.F. Levantamento do estado nutricional de cafeeiros do Estado do Espírito Santo com base no Método da Chance Matemática. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21., 1994, Petrolina. Fertilizantes: insumo básico para agricultura e combate à fome. Anais. Petrolina, SBCS/Embrapa-CPATSA, 1994. p.182-183.

OLIVEIRA, S.A. de & CASSOL, J.J. Níveis de suficiência no solo e nas folhas para a soja no município de Campo Novo do Parecís – MT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa, MG. Resumos expandidos. Viçosa, MG, SBCS/UFV, 1995. p.562-563.

OLIVEIRA, S.A. de. Obtenção dos níveis ótimos de nutrientes na planta e no solo por meio do DRIS. In: Simpósio sobre monitoramento nutricional para a recomendação da adubação de culturas. Anais do Simpósio. Piracicaba, POTAFOS, 1999. CD-ROM. Seção autores.

OLIVEIRA, S.A. de & SOUSA, D.M.G. Uso do DRIS modificado na interpretação de análise do solo para a soja no Leste de Mato Grosso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., Goiânia, 1993. Anais. Goiânia: SBCS, 1993. v.2., p.83-84.

PADOVAN, M.P. Desempenho da soja, sob manejo orgânico, para produção de grãos e adubação verde. Seropédica, UFRRJ, 2002. 88p. (Tese de Doutorado).

PARENT, L.E. & DAFIR, M. A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. J. Am. Soc. Hortic. Sci., 117(2):239-242, 1992.

PARENT, L.E.; ISFAN, D.; TREMBLAY, N. & KARAM, A. Multivariate nutrient diagnosis of the carrot crop. J. Am. Soc. Hortic. Sci., 119(3):420-426, 1994.

PARENT, L.E.; KARAM, A. & VISSER, S.A. Compositional nutrient diagnosis of the greenhouse tomato. Hortic. Sci., 28(10):1041-1042, 1993.

PECK, T.R. Plant analysis for production agriculture. In: SOIL PLANT ANALYSIS WORKSHOP, 7. Bridgetown, 1979. Proceedings... Bridgetown, 1979. p.1-45.

PESTANA, M.; CORREIA, P.J.; VARENNES, A. de; ABADÍA, J. & FARIA, E.A. The use of floral analysis to diagnose the nutritional status of orange trees. J. Plant Nut., 24(12):1913-1923, 2001.

RAGHUPATHI, H.B.; REDDY, B.M.C. & SRINIVAS, K. Multivariate diagnosis of nutrient imbalance in banana. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 33(13-14):2131-2143, 2002.

RAIJ, B.Van. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato, 1991. 343p.

REIS JUNIOR, R. dos A.; CORRÊA, J.B.; CARVALHO, J.G. & GUIMARÃES, P.T.G. Diagnose nutricional de cafeeiros da região sul de Minas Gerais: normas DRIS e teores foliares adequados. R. Bras. Ci. Solo, 26(3):801-808, 2002.

REIS JUNIOR, R. dos A. DRIS norms universality in the corn crop. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 33(5/6):711-735, 2002.

REIS JUNIOR, R. dos A. & MONNERAT, P.H. Sugarcane nutritional diagnosis with DRIS norms established in Brazil, South Africa, and the United States. J. Plant Nut., 25(12):2831-2851, 2002.

SANTOS, F.C. dos. Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja. Viçosa, UFV, 2002. 64p. (Tese de Mestrado).

SANZ, M.; CARRERA, M. & MONTAÑÉS, L. The possibility of using floral analysis to diagnose the nutritional status of pear trees. In: SUGAR, D. ed. Sixth International Symposium on pear growing. Acta Horticulturae, 367:290-295, 1994.

SANZ, M. & MONTAÑÉS, L. Flower analysis as a new approach to diagnosing the nutritional status of the peach tree. J. Plant Nut., 18(8):1667-1675, 1995.

SFREDO, G.J.; LANTMANN, A.F.; CAMPO, R.J. & BORKERT, C.M. Soja: nutrição mineral, adubação e calagem. Londrina, EMBRAPA-CNPSo, 1986. 51p. (EMBRAPA-CNPSo. Documentos, 17).

SILVA, F.C. da; EIRA, P.A. da; RAIJ, B. van; SILVA, C.A.; ABREU, C.A. de; GIANELLO, C.; PÉREZ, D.V.; QUAGGIO, J.A.; TEDESCO, M.J.; ABREU, M.F. de & BARRETO, W. de O. Análises químicas para avaliação da fertilidade do solo. In: SILVA, F.C. da (org.). Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília, Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999, p.75-169.

SILVA, G.G.C. Diagnose nutricional do eucalipto pelo DRIS, M-DRIS e CND. Viçosa, UFV, 2001. 132p. (Tese de Mestrado).

SMALL, H.G. & OHLROGGE, A.J. Plant analysis as an aid in fertilizing soybeans and peanuts. Ins: WASH, L. & BEATON, J.D (Ed.) Soil testing and plant analysis. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin. p.315-327, 1973.

SOLTANPOUR, P.N.; MALAKOUTI, M.J. & RONAGHI, A. Comparison of diagnosis and recommendation integrated system and nutrient sufficiency range of corn. Soil Sci. Soc. Am. J., 59:133-139, 1995.

SOUZA, P.I.M. & CARVALHO, L.J.C.B. Nutrição mineral de plantas. In: GOEDERT, W.J. Solos dos Cerrados: tecnologias e estratégias de manejo. Planaltina, Embrapa - CNPAF, 1985. p.75-98.

SUMNER, M.E. Interpretation of foliar analysis for diagnostic purposes. Agron. J., 41:343-348, 1979.

WADT, P.G.S.; ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; FONSECA, S. & BARROS, N.F. O método da Chance Matemática na interpretação de dados de levantamento nutricional de *Eucalyptus*. R. Bras. Ci. Solo, 22(4):773-778, 1998a.

WADT, P.G.S.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; FONSECA, S. & BARROS, N.F. Valores de referência para macronutrientes em eucalipto obtidos pelos métodos DRIS e Chance Matemática. R. Bras. Ci. Solo, 22(4):685-692, 1998b.

WADT, P.G.S.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; ALVAREZ V.; V.H.; FONSECA, S. & FERNANDES FILHO, E.I. Avaliação da nutrição nitrogenada de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* em plantios da Aracruz Celulose S.A. pelo método da Chance Matemática. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa. Anais. Viçosa, SBCS/UFV, 1995. p.1320-1322.

WADT, P.G.S. Os métodos da Chance Matemática e do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) na avaliação nutricional de plantios de eucalipto. Viçosa, UFV, 1996. 99p. (Tese de Doutorado).

WOJCIK, P. Boron analysis in tissues before apple tree bloom can be used to assess boron nutritional status. J. Plant Nut., 25(5):1011-1020, 2002.

Apêndice

Apêndice A1. Caracterização química de 28 amostras de solo coletadas na camada de 0 a 10cm de profundidade, em lavouras de soja da região de Dourados, MS, no ano agrícola 2001/2002.

Nº talhão	pH em água	Al	Ca	Mg	H+Al	P	K	P rem	V	M.O.	Cu	Fe	Mn	Zn
		- - - - - - - -	$cmol_c/dm^3$		- - - - - - - -	- - - - -	mg/dm³	- - - - -	%	dag/kg	- - - - - - - - -	mg/dm³		- - - - - - - - -
1	6,7	0,02	9,2	2,9	3,20	36,7	304	22,3	80,0	3,8	12,4	52,7	257	30,0
2	7,0	0,00	12,7	4,5	3,05	30,2	496	17,9	85,8	4,0	11,1	26,1	459	23,4
3	6,9	0,06	19,0	5,3	3,66	36,9	804	20,2	87,9	4,0	6,6	15,4	472	25,4
4	6,7	0,00	10,2	2,4	4,20	59,0	418	21,5	76,6	3,7	11,0	30,0	215	16,9
5	6,3	0,00	6,2	1,8	4,73	29,1	349	17,9	65,2	2,7	8,8	54,3	216	5,0
6	6,0	0,02	5,9	1,7	5,19	17,5	285	19,0	61,6	2,8	8,1	80,9	130	3,4
7	6,5	0,00	11,0	2,5	4,04	21,0	402	26,5	78,1	3,2	22,9	31,9	422	13,2
8	6,1	0,00	5,3	1,8	3,97	20,1	414	38,7	67,2	3,0	8,8	56,1	323	8,0
9	6,1	0,04	4,5	1,4	3,20	11,9	100	40,0	65,7	3,0	6,7	95,5	229	7,0
10	6,2	0,00	6,7	2,2	4,88	24,6	382	32,8	67,0	3,7	12,2	106,7	278	8,5
11	6,0	0,02	6,6	1,5	5,34	23,8	448	31,0	63,3	3,7	12,0	105,5	237	7,6
12	6,3	0,04	9,5	1,8	4,12	38,0	348	24,5	74,9	3,1	33,9	39,0	225	25,2
13	7,0	0,02	9,3	3,6	2,29	34,1	345	25,8	85,8	3,1	14,9	23,9	308	13,2
14	6,3	0,02	8,0	1,9	4,58	17,5	407	24,6	70,6	3,4	18,6	35,8	318	20,0
15	6,5	0,00	8,7	1,8	3,66	27,7	390	25,2	75,9	3,5	20,2	30,7	284	23,6
16	6,4	0,00	5,8	2,5	4,27	32,8	152	20,3	67,0	2,9	15,8	82,1	180	4,2
17	6,2	0,00	11,3	3,2	6,26	12,6	839	26,9	72,7	4,3	17,3	35,8	357	16,7
18	6,3	0,00	12,1	3,2	5,49	10,8	430	21,7	74,9	4,6	16,3	24,0	452	22,3
19	6,6	0,00	8,3	3,5	4,12	216,9	462	27,6	75,9	3,9	12,8	56,5	192	11,3
20	6,2	0,00	12,8	3,0	5,49	14,2	554	21,5	75,8	3,9	32,8	31,4	398	9,0
21	5,9	0,04	5,8	2,0	5,65	109,4	307	26,1	60,3	3,5	11,3	48,3	181	8,4
22	6,0	0,02	5,1	1,4	5,34	8,6	216	15,2	57,1	3,1	14,1	164,6	189	3,6
23	5,3	0,25	2,9	1,7	7,32	7,3	106	14,2	41,4	3,4	12,5	69,1	166	5,4
24	7,2	0,00	6,7	2,8	1,98	35,8	368	16,4	84,1	2,7	10,6	74,5	120	9,7
25	6,3	0,00	4,8	1,8	4,27	27,5	70	20,7	61,4	2,6	6,3	63,3	71	4,9
26	6,0	0,02	4,1	1,0	4,96	33,8	61	21,6	51,7	2,3	1,8	131,8	17	1,0
27	6,3	0,00	4,5	1,4	4,43	58,4	139	23,9	58,3	2,5	2,5	96,1	20	1,3
28	6,0	0,00	5,2	1,8	5,11	28,5	72	21,9	58,6	3,6	5,9	132,1	96	3,1

Apêndice A2. Caracterização química de 28 amostras de solo coletadas na camada de 10 a 20cm de profundidade, em lavouras de soja da região de Dourados, MS, no ano agrícola 2001/2002.

Nº talhão	pH em água	Al	Ca	Mg	H+Al	P	K	P rem	V	M.O.	Cu	Fe	Mn	Zn
		- - - - - - - -	$cmol_c/dm^3$		- - - - - - - -	- - - - -	mg/dm³	- - - - -	%	dag/kg	- - - - - - - - -	mg/dm³		- - - - - - - - -
1	6,4	0,02	7,8	2,3	3,79	16,7	212	19,8	73,6	3,1	11,7	50,0	188	10,3
2	6,9	0,00	11,9	3,9	3,48	14,4	289	17,5	82,6	3,4	10,6	22,6	378	7,9
3	6,9	0,02	19,5	5,0	3,64	13,0	567	18,1	87,7	3,5	5,9	15,4	362	10,1
4	6,6	0,00	9,8	2,4	3,94	27,1	281	19,3	76,7	1,9	9,9	25,0	216	8,3
5	6,1	0,02	5,6	1,8	4,86	18,2	246	19,6	62,5	2,1	8,5	42,5	190	4,9
6	5,7	0,04	4,2	1,5	5,62	17,5	203	18,8	52,7	2,4	7,4	70,8	108	3,4
7	6,4	0,02	11,4	1,6	4,09	12,0	328	25,3	77,2	2,5	29,8	24,3	362	11,9
8	6,1	0,02	5,0	1,4	3,79	10,3	345	37,9	65,7	2,1	11,8	48,9	276	6,5
9	6,3	0,00	4,6	1,3	2,87	7,3	68	38,9	68,0	2,7	7,2	98,4	210	4,9
10	6,4	0,02	6,5	1,9	4,09	12,6	345	32,1	69,5	2,9	11,7	98,8	252	5,3
11	6,1	0,00	6,7	1,4	5,16	13,1	382	30,2	63,8	2,4	11,6	88,3	224	5,5
12	6,5	0,00	10,2	1,8	3,87	20,7	302	24,2	76,8	3,1	35,4	35,3	237	19,0
13	7,1	0,00	9,3	3,2	2,57	27,2	303	25,2	83,7	2,9	15,4	19,6	239	11,3
14	6,1	0,00	7,7	1,8	5,62	14,4	337	24,8	64,8	3,1	18,1	32,3	166	14,7
15	6,6	0,00	8,8	1,7	4,09	20,5	324	25,4	73,4	3,6	20,6	27,8	223	20,4
16	6,3	0,00	5,6	2,3	4,55	17,3	125	19,5	64,4	2,6	16,5	83,3	186	3,1
17	6,2	0,00	10,2	2,6	6,38	8,3	753	25,2	69,8	3,7	17,2	34,8	346	12,9
18	6,2	0,02	12,1	2,6	5,85	4,3	268	20,6	72,5	3,7	17,0	18,6	360	19,9
19	6,2	0,00	6,7	2,7	4,86	111,0	475	25,0	68,7	3,3	14,5	61,5	180	9,0
20	6,2	0,02	11,8	2,6	5,70	7,0	435	19,6	73,2	3,1	33,8	35,5	335	4,5
21	5,6	0,04	4,7	1,7	6,31	57,3	265	20,9	52,8	3,1	12,0	53,9	158	4,3
22	5,7	0,02	4,5	1,4	6,00	6,3	173	13,5	51,5	2,9	13,2	101,8	158	2,8
23	5,3	0,19	2,8	1,5	7,91	5,9	132	12,6	38,2	3,3	13,1	66,1	181	7,1
24	7,1	0,00	7,6	2,8	2,26	19,7	160	14,1	82,7	2,5	7,7	71,9	113	6,8
25	6,0	0,02	4,5	1,5	4,93	14,6	55	17,9	55,8	2,3	6,3	62,9	38	3,0
26	5,1	0,34	1,8	0,5	6,99	9,9	41	15,1	27,8	2,2	1,9	175,5	13	0,8
27	5,9	0,04	3,4	1,1	4,86	15,7	91	18,6	49,8	2,1	2,6	116,6	13	0,5
28	5,9	0,04	4,9	1,6	5,01	18,1	41	18,5	57,3	3,1	5,9	142,5	82	1,3

Apêndice A3. Rendimento de grãos (RG) de soja e teores de macro e micronutrientes determinados em amostras de terceiro trifólio com pecíolo coletadas nos estádios de desenvolvimento R1 e R2, em 257 lavouras comerciais[1] cultivadas no sistema plantio direto, em 29 municípios dos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás, entre os anos agrícolas 1997/1998 e 2001/2002.

N° talhão	RG	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	- kg/ha -	- g/kg -						- - - - - - - - - - - - - - - mg/kg - - - - - - - - - - - - - - -				
1	2.030	35,0	3,6	26,5	14,1	4,6	4,5	48,6	10,4	82,7	121,5	15,8
2	2.175	39,6	2,4	20,5	7,8	3,5	2,8	39,7	13,0	59,0	57,0	74,0
3	2.378	43,4	2,2	25,6	8,0	2,1	2,3	17,4	6,3	103,6	25,1	38,2
4	2.411	46,9	2,5	15,5	7,3	3,2	3,2	37,8	15,0	89,0	66,0	107,0
5	2.513	45,9	4,0	22,5	8,9	4,6	2,2	37,9	5,2	156,7	44,1	44,3
6	2.520	62,0	2,8	25,0	8,0	4,0	2,7	41,5	10,4	58,1	91,0	54,4
7	2.597	48,0	3,7	24,0	8,3	3,7	2,3	30,6	3,4	128,5	53,5	46,0
8	2.643	46,2	3,1	23,6	9,5	4,1	2,3	27,2	12,0	143,0	46,0	26,0
9	2.685	40,6	2,9	18,0	12,4	4,2	3,0	38,0	9,9	72,1	27,5	21,1
10	2.685	40,6	2,9	18,0	12,4	4,2	3,0	38,0	9,9	72,1	27,5	21,1
11	2.774	37,8	4,5	32,5	14,3	4,7	4,2	53,3	12,2	104,0	80,4	22,5
12	2.793	38,9	2,2	22,8	9,1	2,3	2,2	63,3	8,1	56,3	15,0	52,2
13	2.807	55,0	4,1	24,5	7,8	3,7	1,5	43,4	8,7	86,3	54,8	53,5
14	2.844	38,2	2,3	18,5	10,2	4,4	2,2	51,6	5,6	51,5	76,0	44,3
15	2.851	42,0	3,7	19,0	5,0	3,9	2,6	51,6	8,4	57,7	56,5	55,0
16	2.856	38,9	3,8	21,0	11,6	3,6	2,4	74,1	11,9	87,7	38,6	33,7
17	2.880	40,0	3,0	26,4	10,8	2,4	2,3	23,4	14,0	165,0	42,0	34,0
18	2.896	42,4	2,7	24,0	5,1	2,5	2,0	49,4	6,8	29,8	40,7	54,0
19	2.898	43,1	2,9	23,0	13,0	4,0	2,3	29,6	13,5	67,4	72,2	59,2
20	2.905	36,1	2,4	26,5	6,8	2,6	2,5	47,1	6,3	34,2	17,5	25,6
21	2.923	41,3	3,2	19,0	6,1	4,1	2,3	58,9	8,4	62,3	84,1	65,9
22	2.938	42,0	3,6	29,0	6,5	2,9	3,2	46,2	6,3	57,0	15,9	20,0
23	2.942	32,6	3,1	19,5	8,8	3,1	2,1	39,9	4,2	137,3	86,4	40,6
24	3.000	55,7	2,7	22,0	9,9	4,4	2,9	48,9	12,2	86,3	73,6	61,9
25	3.009	39,2	3,6	29,5	4,9	2,7	2,2	53,5	4,4	59,8	36,9	35,7
26	3.020	37,1	2,4	15,0	11,0	4,7	2,6	59,7	8,0	72,1	62,9	55,7
27	3.053	37,8	2,0	34,4	10,8	2,6	2,1	34,0	8,1	96,8	44,5	33,7

Continuação...

Apêndice A3. Continuação.

N° talhão	RG	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	- kg/ha -	- g/kg -						- - - - - - - - - - - - - - - mg/kg - - - - - - - - - - - - - - -				
28	3.061	33,6	5,4	18,0	16,4	5,2	3,2	44,1	8,6	98,7	33,8	21,5
29	3.079	45,5	3,0	19,0	7,3	3,9	1,7	35,5	5,2	191,9	69,6	37,6
30	3.089	37,1	2,9	22,5	5,7	2,6	2,2	37,8	4,4	34,2	8,3	14,3
31	3.089	46,6	3,2	24,5	7,7	2,6	2,7	52,5	8,1	85,5	25,1	23,0
32	3.101	48,7	3,5	17,5	5,8	3,5	1,7	47,2	2,7	34,0	34,2	53,1
33	3.104	44,8	2,5	22,6	11,5	2,4	1,5	16,1	2,6	83,2	22,6	34,1
34	3.108	39,1	3,7	33,2	8,9	3,6	2,5	42,2	15,0	204,0	52,0	32,0
35	3.109	45,9	4,0	22,5	8,9	4,6	2,2	37,9	5,2	156,7	44,1	44,3
36	3.118	42,0	3,0	16,0	5,8	2,6	2,2	36,2	2,6	51,3	79,9	46,6
37	3.154	31,5	3,0	22,0	10,2	4,1	2,5	41,3	10,4	109,3	70,8	13,5
38	3.157	45,3	3,0	25,0	10,4	4,0	2,4	35,1	15,0	267,0	61,0	33,0
39	3.171	42,0	3,5	18,0	5,1	3,6	2,9	46,1	5,1	62,3	66,3	61,0
40	3.187	31,5	2,6	24,0	12,8	3,7	3,3	48,8	8,0	76,9	64,5	50,0
41	3.196	37,1	2,9	26,0	9,4	3,1	2,4	47,5	9,9	136,4	95,2	62,6
42	3.210	37,8	3,2	26,8	9,0	4,4	2,1	38,7	14,0	156,0	48,0	33,0
43	3.215	38,2	3,0	23,6	7,8	3,5	3,1	66,3	5,4	112,6	15,3	33,2
44	3.227	48,7	2,6	19,0	6,0	1,8	4,1	40,0	6,0	67,0	13,0	11,0
45	3.227	41,7	2,0	21,6	6,3	2,9	1,7	51,8	8,1	62,9	20,1	40,3
46	3.240	44,8	2,3	24,2	10,0	3,6	2,2	16,1	4,4	83,2	17,5	30,3
47	3.244	42,7	3,1	27,0	7,2	2,7	2,2	49,8	4,4	142,5	27,7	15,2
48	3.247	33,3	1,8	24,0	9,5	4,9	2,5	44,0	8,3	40,4	110,1	42,8
49	3.261	43,1	3,2	26,8	10,6	7,0	2,0	35,6	9,0	145,0	40,0	15,0
50	3.265	27,0	4,4	19,0	14,6	3,6	2,7	31,0	5,1	48,0	43,4	17,7
51	3.274	65,1	2,4	21,5	10,6	3,8	1,6	41,7	8,7	86,3	91,0	58,6
52	3.274	39,2	3,0	21,5	6,2	2,8	2,4	43,9	4,4	42,7	19,2	26,5
53	3.275	39,1	3,6	25,0	16,6	4,0	2,5	45,3	16,0	219,0	94,0	51,0
54	3.276	39,2	3,0	31,0	6,6	2,3	1,9	54,8	4,4	102,6	46,2	42,2
55	3.290	43,8	3,0	25,0	11,7	4,1	2,5	41,0	5,6	95,4	24,7	41,5
56	3.290	38,5	3,5	24,2	5,8	2,9	2,9	61,9	10,0	69,5	16,7	26,6
57	3.300	55,3	2,3	19,5	9,9	3,2	2,6	54,0	4,0	72,0	71,0	53,0

Continuação...

Apêndice A3. Continuação.

N° talhão	RG	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	- kg/ha -	- g/kg -						- - - - - - - - - - - - - - - mg/kg - - - - - - - - - - - - - - -				
58	3.300	37,1	2,5	22,2	7,9	3,3	2,7	75,8	10,0	46,4	13,3	35,4
59	3.310	35,7	3,5	16,5	11,4	4,1	2,8	50,2	15,3	74,5	59,8	45,4
60	3.310	35,7	3,5	16,5	11,4	4,1	2,8	50,2	15,3	74,5	59,8	45,4
61	3.324	43,4	4,0	24,0	9,4	3,6	2,4	44,1	11,7	93,6	82,9	66,1
62	3.339	43,4	2,5	20,0	11,7	4,2	2,9	48,8	13,5	53,1	126,0	53,4
63	3.345	42,7	2,6	25,5	6,4	2,9	2,9	39,2	8,1	54,1	18,4	29,6
64	3.347	32,4	2,3	23,4	16,1	3,6	1,7	42,2	11,0	127,0	69,0	23,0
65	3.351	37,1	2,7	26,4	6,8	2,3	2,7	64,6	8,1	43,0	16,7	34,1
66	3.359	33,6	1,9	25,0	9,4	3,4	2,5	36,2	10,0	104,0	52,0	41,9
67	3.365	32,9	3,4	22,0	13,0	5,8	2,5	32,1	1,7	137,7	40,3	14,3
68	3.365	44,5	2,9	17,5	8,9	3,4	1,8	60,2	5,1	148,5	44,3	25,8
69	3.366	60,2	2,5	11,5	8,5	3,1	2,8	52,0	9,0	76,0	84,0	79,0
70	3.374	46,6	2,3	23,2	8,6	2,7	1,8	29,1	2,6	80,9	18,4	29,9
71	3.384	42,4	2,9	25,0	5,0	2,0	2,7	53,1	10,0	71,2	24,3	25,2
72	3.388	37,1	3,0	26,5	4,4	2,2	2,4	43,3	4,4	39,9	8,3	22,6
73	3.392	45,9	2,9	23,2	7,4	2,1	2,6	18,1	2,6	110,5	22,6	47,5
74	3.396	48,0	2,7	29,0	7,9	3,1	2,2	40,8	13,5	96,0	72,2	58,0
75	3.397	40,3	3,1	25,0	7,3	2,4	3,0	53,1	2,6	62,7	15,0	37,9
76	3.401	39,9	1,7	26,8	7,8	1,9	2,2	28,8	11,9	99,1	55,5	31,8
77	3.402	39,5	3,2	29,4	9,2	4,8	2,4	41,4	17,0	175,0	115,0	49,0
78	3.408	41,7	3,1	29,5	8,4	2,6	2,2	63,6	6,3	151,0	30,2	23,0
79	3.409	42,0	2,1	19,0	10,2	3,0	2,1	45,0	4,0	41,0	40,0	43,0
80	3.420	48,3	3,0	24,5	6,3	2,3	3,0	40,4	6,3	45,6	16,7	29,1
81	3.426	42,7	2,7	18,0	5,6	3,0	2,1	27,7	2,6	30,1	69,8	20,4
82	3.431	39,9	3,0	22,5	5,4	2,3	2,8	43,0	6,3	42,7	28,5	24,3
83	3.458	49,3	3,3	27,2	8,9	4,7	2,1	41,2	17,0	137,0	57,0	48,0
84	3.466	40,6	3,1	24,6	8,0	3,0	2,7	65,0	7,2	43,0	27,6	34,6
85	3.475	39,2	2,9	22,0	11,1	3,5	2,7	69,0	8,1	74,0	31,9	28,2
86	3.480	38,9	2,5	21,6	10,0	2,8	3,0	73,4	6,3	56,3	24,3	50,9
87	3.491	45,5	2,4	13,0	7,9	3,5	2,6	50,2	2,7	98,7	55,2	96,8

Continuação...

Apêndice A3. Continuação.

N° talhão	RG	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	- kg/ha -	- g/kg -						- - - - - - - - - - - - - - - mg/kg - - - - - - - - - - - - - - -				
88	3.495	40,6	2,1	29,6	8,5	1,8	2,0	26,8	10,0	92,3	26,0	27,0
89	3.503	33,6	2,4	20,0	14,0	3,7	3,1	50,2	13,5	100,7	87,5	101,6
90	3.512	38,5	2,6	20,2	8,2	3,1	2,6	56,5	8,1	62,9	15,9	46,9
91	3.515	38,5	4,6	19,0	18,1	4,9	3,6	25,8	12,2	106,7	46,2	31,1
92	3.521	42,4	3,2	27,5	5,8	3,1	2,9	43,0	11,9	111,1	13,3	36,1
93	3.527	38,5	1,7	24,6	11,3	3,1	2,1	31,8	3,9	94,5	42,0	22,8
94	3.537	50,8	3,6	17,0	11,9	4,6	3,0	33,1	15,3	84,0	50,6	66,1
95	3.540	35,0	2,3	16,0	10,7	4,5	2,1	42,2	4,2	114,0	43,8	29,1
96	3.540	38,2	2,3	21,5	6,8	2,8	2,2	60,2	2,6	42,7	37,8	31,3
97	3.549	41,7	3,0	23,5	7,0	2,8	2,4	39,2	6,3	48,4	14,2	21,7
98	3.553	45,5	2,6	26,5	4,9	2,5	3,3	57,5	2,6	54,1	22,6	27,4
99	3.556	41,7	3,4	24,0	6,6	2,4	2,4	31,4	10,0	96,9	14,2	27,0
100	3.557	38,2	2,8	23,4	7,2	2,7	2,7	63,6	8,1	62,9	9,9	37,2
101	3.563	38,7	2,6	25,0	8,5	2,4	1,8	35,6	15,0	149,0	72,0	36,0
102	3.563	36,4	2,9	12,5	12,3	4,7	3,1	36,8	9,9	76,9	27,5	43,1
103	3.564	37,8	2,8	24,5	12,6	3,5	3,3	34,9	13,5	86,4	73,7	59,2
104	3.569	39,5	3,1	24,4	8,1	3,9	1,9	21,9	12,0	124,0	52,0	36,0
105	3.571	40,6	3,4	27,0	6,3	1,9	2,8	36,9	6,3	94,0	11,6	30,4
106	3.581	36,8	3,1	20,6	7,8	2,2	1,8	58,9	10,0	79,5	14,2	46,5
107	3.602	41,3	2,1	23,8	11,2	3,3	2,2	26,3	4,4	85,5	17,5	34,1
108	3.611	32,9	1,8	27,5	12,6	3,4	1,8	37,5	7,2	148,7	61,0	23,6
109	3.629	59,5	3,4	18,5	7,8	3,9	2,0	42,5	12,2	181,3	113,8	77,1
110	3.638	40,6	3,3	22,0	11,1	4,2	3,0	23,8	11,7	65,0	26,0	48,9
111	3.639	41,3	3,7	24,0	12,5	3,5	2,8	26,5	17,2	96,0	67,5	64,9
112	3.640	31,2	2,2	21,0	8,2	3,8	1,7	38,7	5,6	67,0	61,1	53,2
113	3.648	37,8	2,5	26,5	10,8	3,0	2,2	50,2	5,4	82,6	56,0	22,8
114	3.662	40,6	2,6	18,5	10,3	4,0	2,7	40,1	13,5	84,0	47,5	44,3
115	3.662	40,6	2,6	18,5	10,3	4,0	2,7	40,1	13,5	84,0	47,5	44,3
116	3.665	57,8	2,9	19,5	7,3	2,9	2,9	31,0	11,0	144,0	61,0	35,0
117	3.666	40,3	4,0	21,5	5,2	4,1	2,6	62,0	6,8	53,0	86,0	69,9

Continuação...

Apêndice A3. Continuação.

N° talhão	RG	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	- kg/ha -	- g/kg -						- - - - - - - - - - - - - - - mg/kg - - - - - - - - - - - - - - -				
118	3.670	37,5	1,9	27,0	8,6	4,2	2,8	35,2	8,3	43,6	94,6	41,0
119	3.683	32,9	4,1	27,6	6,2	2,7	3,0	60,6	11,9	66,2	26,0	24,9
120	3.684	48,4	3,9	31,4	9,4	4,0	2,3	43,0	14,0	149,0	43,0	49,0
121	3.685	43,8	3,4	25,0	5,5	3,0	3,1	36,9	6,3	88,3	20,9	21,3
122	3.686	44,1	3,0	30,0	5,8	2,5	2,9	46,2	8,1	57,0	21,8	44,0
123	3.691	36,1	2,4	25,2	9,1	2,8	1,7	55,8	10,0	62,9	36,9	29,3
124	3.692	57,1	2,1	11,0	9,2	3,3	3,7	54,0	8,0	72,0	105,0	71,0
125	3.719	39,2	2,1	36,2	7,1	2,3	2,0	26,3	8,1	90,0	42,8	27,0
126	3.742	61,3	2,1	12,0	9,7	3,0	3,2	52,0	9,0	85,0	87,0	60,0
127	3.744	35,7	2,2	17,0	7,5	3,0	2,0	28,3	3,6	105,8	43,1	15,4
128	3.754	38,5	3,6	21,0	6,8	4,3	2,5	58,9	6,8	62,3	74,2	68,9
129	3.756	42,0	3,3	27,5	4,7	2,4	2,6	42,3	2,6	57,0	16,7	23,0
130	3.787	27,3	2,1	22,0	9,9	3,1	1,4	38,9	4,2	78,1	68,8	54,0
131	3.791	35,0	4,1	15,5	13,4	4,0	1,8	18,0	5,1	101,3	24,2	18,7
132	3.793	33,3	3,4	29,4	13,0	4,3	2,0	37,1	9,0	134,0	29,0	46,0
133	3.803	39,9	1,9	18,0	13,2	5,1	2,7	36,2	11,7	43,6	88,8	43,7
134	3.805	36,8	3,0	24,0	10,0	3,8	2,7	38,0	11,7	53,1	41,4	51,1
135	3.805	36,8	3,0	24,0	10,0	3,8	2,7	38,0	11,7	53,1	41,4	51,1
136	3.812	42,4	4,4	19,0	11,0	3,9	3,8	32,7	8,6	61,3	40,7	22,5
137	3.813	28,7	1,9	25,0	9,6	4,3	2,8	38,7	10,0	86,0	67,5	36,4
138	3.825	40,6	4,2	25,0	8,1	2,6	2,6	65,0	8,1	92,7	11,6	40,3
139	3.837	39,2	2,4	10,0	5,0	3,0	1,7	47,9	3,5	94,9	19,1	48,1
140	3.842	36,1	3,3	20,0	8,8	3,2	2,0	28,1	1,7	100,0	48,9	24,9
141	3.847	40,3	4,2	28,2	7,4	2,8	3,1	62,6	8,1	92,7	19,2	45,6
142	3.849	39,6	3,4	32,4	9,7	2,9	2,9	68,7	8,1	79,5	13,3	37,2
143	3.852	33,6	3,3	25,0	4,4	2,5	2,1	42,9	8,0	50,7	75,2	25,7
144	3.852	39,2	3,2	22,5	11,0	2,9	2,7	50,5	15,3	57,9	76,8	54,6
145	3.856	38,9	2,0	22,0	6,5	2,4	2,0	47,1	6,3	49,7	11,6	26,2
146	3.864	47,3	2,7	16,5	11,0	3,9	3,4	44,5	2,7	118,1	54,0	64,5
147	3.872	26,6	3,4	13,5	13,1	4,0	1,8	17,6	5,1	77,3	43,4	18,7

Continuação...

Apêndice A3. Continuação.

N° talhão	RG	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	- kg/ha -	- g/kg -						- - - - - - - - - - - - - - - mg/kg - - - - - - - - - - - - - - -				
148	3.877	39,2	2,7	22,0	4,5	2,1	2,6	43,3	10,0	59,8	18,4	16,5
149	3.887	34,3	3,3	19,0	7,5	3,4	2,1	49,9	5,6	65,0	19,0	29,5
150	3.901	38,5	3,5	30,8	8,3	3,8	2,7	74,1	8,1	76,2	19,2	28,8
151	3.902	38,5	3,6	22,0	6,9	4,2	2,8	48,8	6,8	76,3	44,7	50,0
152	3.911	35,7	3,1	24,0	17,8	4,8	2,1	34,6	8,9	71,7	85,9	45,7
153	3.913	41,7	3,4	23,0	6,6	2,8	2,5	41,3	6,3	54,1	18,4	29,1
154	3.923	35,4	2,7	15,0	11,4	5,1	2,9	48,4	5,6	66,3	34,0	42,0
155	3.926	41,3	2,5	13,5	10,0	3,7	2,1	34,8	6,1	87,0	52,6	37,7
156	3.936	35,4	3,5	27,5	8,0	4,1	1,9	39,7	5,4	120,3	43,1	20,1
157	3.944	34,0	3,6	28,0	16,3	4,3	2,2	39,1	8,9	75,3	63,2	96,1
158	3.950	38,9	3,1	26,5	13,3	3,1	2,2	44,5	8,0	112,6	50,6	83,3
159	3.951	41,3	3,5	27,0	6,4	2,6	2,7	48,2	8,1	57,0	16,7	31,8
160	3.958	46,6	3,9	17,5	8,3	3,8	3,3	50,5	6,2	85,8	45,3	72,3
161	3.961	37,1	2,8	17,5	11,0	5,1	2,3	34,3	8,3	30,9	42,4	33,7
162	3.983	37,5	2,6	20,5	9,2	3,4	2,0	37,6	4,2	116,6	116,4	55,0
163	3.992	37,5	3,7	23,5	5,0	2,4	2,1	41,6	8,1	119,7	17,5	25,6
164	3.992	42,0	3,6	19,5	4,6	3,6	1,7	58,3	5,1	62,3	76,2	62,9
165	3.998	43,4	2,6	29,6	9,5	3,3	2,1	25,6	4,4	174,1	22,6	40,8
166	4.007	35,0	2,8	18,5	11,9	3,5	2,2	30,3	3,6	140,6	41,7	25,5
167	4.044	43,1	4,2	17,0	5,0	4,0	2,5	48,8	6,8	76,3	88,0	43,1
168	4.058	33,3	2,3	24,0	11,7	3,6	2,8	35,8	11,7	72,1	53,7	68,3
169	4.066	40,6	3,0	12,0	11,0	5,0	2,6	40,4	5,6	69,2	30,0	43,2
170	4.066	40,6	3,0	12,0	11,0	5,0	2,6	40,4	5,6	69,2	30,0	43,2
171	4.070	31,9	2,7	24,5	15,1	4,2	1,7	35,2	3,6	88,4	43,1	21,7
172	4.072	30,5	2,4	13,5	12,6	3,3	1,1	18,0	1,7	47,8	41,7	12,7
173	4.073	43,4	2,5	30,8	14,2	3,4	2,5	35,3	8,1	124,1	36,9	27,7
174	4.078	32,2	2,3	24,5	12,0	3,2	2,8	26,6	11,7	65,0	49,1	47,7
175	4.079	34,3	2,9	22,0	10,9	3,4	2,6	41,3	11,7	69,8	21,4	53,4
176	4.109	33,3	3,4	20,0	16,1	5,4	3,1	48,6	5,4	152,2	48,9	17,5
177	4.115	34,7	2,9	16,5	12,0	6,0	2,8	26,0	11,7	62,7	44,3	32,8

Apêndice A3. Continuação.

N° talhão	RG	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	- kg/ha -	- g/kg -						- - - - - - - - - - - - - - - mg/kg - - - - - - - - - - - - - - -				
178	4.126	43,4	2,9	26,5	7,0	2,2	3,2	43,0	6,3	88,3	22,6	26,5
179	4.132	42,0	3,6	19,0	5,5	3,8	2,4	55,0	5,1	53,0	86,0	58,0
180	4.136	37,1	5,5	20,0	9,1	4,2	3,0	41,0	8,6	72,0	33,8	23,9
181	4.148	46,6	2,2	13,0	7,4	3,2	4,1	40,4	7,5	88,8	24,8	72,1
182	4.167	49,7	3,4	20,0	17,8	4,9	2,9	49,8	12,6	150,5	79,1	85,8
183	4.174	58,5	3,2	22,5	10,3	3,7	1,5	51,3	8,7	103,9	74,9	81,3
184	4.177	58,8	3,3	25,5	9,0	3,5	2,0	44,9	6,9	82,7	58,8	67,8
185	4.193	43,8	3,0	25,0	5,4	1,7	2,8	39,0	4,4	71,2	20,1	38,3
186	4.200	29,4	2,0	22,0	7,8	3,9	1,7	21,8	3,6	47,8	34,5	7,4
187	4.203	44,8	4,4	16,0	11,0	3,9	3,8	40,2	10,4	85,3	137,9	20,1
188	4.203	33,6	1,6	28,5	9,5	4,3	2,2	38,9	11,7	92,0	52,0	34,6
189	4.209	48,0	2,2	12,0	7,0	3,3	3,1	43,6	7,5	81,5	36,7	79,4
190	4.232	45,5	3,0	27,0	5,7	2,4	3,1	47,9	6,3	142,5	22,6	47,5
191	4.240	47,6	2,7	15,0	10,0	4,6	2,5	47,5	7,6	69,2	38,0	36,3
192	4.250	56,0	2,5	24,0	10,1	3,2	2,3	41,7	8,7	82,7	40,1	53,5
193	4.252	43,8	2,1	27,2	7,9	3,7	2,0	39,2	4,4	96,8	26,0	39,3
194	4.254	43,8	2,9	15,0	6,2	2,8	1,9	53,1	3,5	57,7	28,9	56,0
195	4.255	35,0	2,1	25,0	10,3	2,7	1,8	35,0	4,2	87,0	46,3	35,8
196	4.255	39,1	3,7	33,4	10,4	3,5	2,2	51,2	11,0	116,0	62,0	66,0
197	4.258	37,1	3,7	26,5	9,8	4,5	2,2	50,2	7,3	114,5	46,0	30,2
198	4.260	37,1	2,2	25,0	7,2	4,2	2,5	34,8	13,4	50,0	54,0	21,0
199	4.266	40,6	3,6	26,0	11,2	4,3	2,8	36,6	13,4	40,4	67,5	41,9
200	4.269	38,9	3,8	15,0	17,5	6,0	3,8	32,3	8,6	90,7	69,5	23,5
201	4.269	46,6	2,5	25,0	9,2	2,9	2,4	32,0	2,6	92,3	22,6	40,8
202	4.274	32,6	4,4	16,0	11,0	3,5	2,1	19,8	3,4	85,3	28,4	23,0
203	4.285	47,3	3,9	22,5	8,8	3,5	1,9	47,2	6,9	110,9	83,0	65,3
204	4.286	35,0	3,2	25,0	9,3	4,6	1,7	61,1	7,3	129,0	41,7	35,5
205	4.292	27,0	2,1	21,0	9,9	2,9	2,0	40,7	4,2	101,8	51,3	51,2
206	4.302	41,0	3,4	32,0	6,2	2,5	3,1	53,4	8,1	57,0	19,2	24,3
207	4.302	42,4	3,4	18,5	5,5	4,1	2,7	47,9	8,4	62,3	66,3	60,0

Apêndice A3. Continuação.

N° talhão	RG	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	- kg/ha -	- g/kg -						- - - - - - - - - - - - - - - mg/kg - - - - - - - - - - - - - - -				
208	4.306	47,6	3,4	22,5	6,6	4,7	3,2	41,5	6,8	48,4	91,9	50,0
209	4.331	45,2	3,3	18,0	5,0	3,8	1,7	40,9	5,1	43,7	80,1	49,1
210	4.335	33,3	3,1	21,5	12,6	4,8	2,7	46,2	13,5	60,2	61,4	85,6
211	4.340	37,5	3,0	25,0	11,2	2,8	2,7	46,9	15,3	50,7	55,2	60,3
212	4.342	49,7	3,9	23,0	8,1	3,2	3,6	45,9	2,6	54,1	11,6	36,6
213	4.347	40,6	3,5	28,5	12,9	3,3	3,5	45,3	11,7	105,5	149,1	118,8
214	4.361	34,0	2,2	27,0	10,7	4,3	1,7	36,8	5,4	129,0	41,7	16,4
215	4.363	30,5	2,0	26,0	10,4	4,1	2,4	38,2	11,7	34,1	61,7	41,0
216	4.377	42,4	3,0	22,0	8,9	4,2	2,8	39,3	8,8	240,8	57,0	81,7
217	4.408	35,6	2,3	21,6	13,9	4,5	1,6	45,0	8,0	178,0	95,0	38,0
218	4.411	40,6	3,0	25,0	10,7	3,4	3,0	43,6	17,2	110,2	67,5	122,2
219	4.412	36,8	2,8	25,0	10,0	3,7	2,4	42,2	6,1	116,6	53,8	46,4
220	4.421	38,2	3,6	28,5	15,5	4,3	2,2	38,8	8,9	164,9	70,0	103,9
221	4.429	43,8	2,4	26,5	11,6	3,9	2,7	40,2	17,2	55,5	122,9	67,2
222	4.436	36,4	5,8	19,5	14,9	5,2	3,9	33,7	12,2	82,7	22,9	30,1
223	4.436	32,6	2,2	24,0	10,8	4,2	2,5	34,8	11,7	56,4	65,6	31,9
224	4.439	45,9	1,9	14,5	6,8	2,7	4,0	35,7	9,3	34,4	38,4	65,9
225	4.441	37,5	4,0	12,5	9,8	2,9	2,6	37,0	6,9	74,7	46,2	41,1
226	4.450	50,1	2,6	15,0	8,1	3,0	3,8	42,5	9,3	45,3	38,4	79,4
227	4.480	32,2	3,3	26,5	16,0	4,3	1,9	40,5	8,9	93,2	60,9	69,0
228	4.497	32,9	3,7	12,0	16,4	4,5	1,9	24,9	8,6	107,7	32,5	20,6
229	4.500	42,0	3,6	26,0	5,8	2,4	2,6	61,1	2,6	45,6	11,6	33,5
230	4.513	38,5	2,7	21,5	12,0	4,3	4,3	37,1	15,1	69,1	79,1	51,0
231	4.516	46,6	2,8	24,0	18,0	4,1	2,4	39,4	8,9	125,4	70,0	69,0
232	4.576	45,9	1,9	13,5	8,0	3,4	3,5	41,0	7,5	59,8	29,9	64,9
233	4.576	33,6	2,9	22,0	10,0	3,2	1,9	43,8	4,2	113,6	42,6	37,7
234	4.583	35,0	2,7	25,0	10,9	3,1	2,8	40,3	13,5	57,9	46,0	72,9
235	4.585	38,9	3,2	24,0	10,7	2,8	1,7	43,9	11,7	76,9	67,5	59,2
236	4.590	50,4	3,2	19,5	10,3	3,7	2,1	43,3	8,7	93,3	72,3	69,5
237	4.597	42,0	3,4	27,6	6,5	2,8	2,5	51,5	11,9	56,3	20,9	50,9

Apêndice A3. Continuação.

N° talhão	RG	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	- kg/ha -	- g/kg -						- - - - - - - - - - - - - - - mg/kg - - - - - - - - - - - - - - -				
238	4.625	35,4	3,8	22,0	5,4	3,9	2,4	62,0	8,4	48,4	78,1	62,9
239	4.651	31,2	2,4	17,0	7,8	2,3	2,0	40,1	8,0	98,8	46,3	67,5
240	4.660	30,6	3,8	18,5	12,7	2,9	2,0	60,6	9,1	58,9	26,8	45,6
241	4.676	46,9	2,2	24,5	11,2	3,5	2,0	38,9	7,2	77,7	19,3	37,3
242	4.697	36,8	3,1	23,0	11,9	3,1	2,3	45,1	11,7	134,0	62,9	55,5
243	4.753	36,4	2,2	25,0	10,6	2,9	3,3	26,9	15,3	96,0	56,8	84,4
244	4.753	35,7	3,4	27,5	15,6	4,3	2,2	42,8	10,8	78,9	67,7	84,5
245	4.757	35,7	2,5	24,5	11,6	4,4	2,5	55,6	5,4	152,2	37,4	20,7
246	4.759	44,1	3,0	17,0	12,1	4,1	2,7	29,5	8,0	105,5	38,3	33,7
247	4.760	32,6	3,0	24,0	12,0	2,9	2,5	35,8	9,9	81,7	79,8	78,7
248	4.763	44,1	2,9	17,5	12,4	4,5	2,5	35,1	8,0	96,0	36,8	46,3
249	4.785	37,1	2,8	25,0	11,0	3,2	3,2	32,3	2,6	76,9	56,8	72,9
250	4.788	42,7	3,1	25,5	5,1	2,2	2,3	59,6	4,4	34,2	18,4	27,0
251	4.798	43,1	3,7	29,0	8,6	3,6	3,6	46,5	4,4	82,6	11,6	37,9
252	4.834	44,5	3,1	17,5	7,2	2,7	3,1	48,9	2,7	56,6	37,9	74,9
253	4.845	38,5	3,0	25,0	15,0	4,1	2,1	39,7	8,9	107,5	88,2	66,4
254	4.925	41,0	3,2	19,5	15,9	5,0	2,3	36,9	8,9	103,9	97,2	69,0
255	4.965	47,3	2,2	14,5	6,5	2,5	3,6	35,4	11,1	45,3	24,8	62,8
256	5.006	39,2	3,2	23,5	18,0	4,1	2,5	37,1	8,9	110,4	72,3	65,1
257	5.024	45,2	1,9	13,0	9,8	3,6	3,9	45,4	9,3	48,9	29,9	67,0

[1] Incluindo-se 84 amostras coletadas no ano agrícola 2000/2001 por Maeda (2002).

Apêndice A4

Deduções matemáticas realizadas por ALVAREZ V. (informação pessoal) para o estabelecimento de equação única para cálculo do Índice Balanceado de Kenworthy (B) e, para cálculo de B , y_i , z , e CV_s em função de y_i , z , B , CV_r e CV_s.

Fórmulas originais para cálculo de B (Kenworthy, 1973)

$$P = 100 \frac{y_i}{\bar{y}}$$

a) $\forall \quad y_i \geq \bar{y}$

$$I' = (P - 100) \frac{CV}{100}$$

$$B = P - I'$$

b) $\forall \quad y_i < \bar{y}$

$$I'' = (100 - P) \frac{CV}{100}$$

$$B = P + I''$$

Fórmulas modificadas para cálculo de B, independente da magnitude do teor do nutriente da amostra (y_i) em relação ao teor médio da população de alta produtividade ($\bar{y}$):

$$P = 100 \frac{y_i}{\bar{y}}$$

c) $\forall \; y_i < = > \bar{y}$

$$I = CV \frac{(y_i - \bar{y})}{\bar{y}}$$

$$B = P - I$$

Demonstração

a) $\forall \quad y_i \geq \bar{y} \quad \Rightarrow \quad I$ é positivo

$$I = I' = (P - 100)\left(\frac{CV}{100}\right) = CV\,\frac{(P - 100)}{100}$$

$$= CV\,\frac{\left[\left(100\,\frac{y_i}{\bar{y}}\right) - 100\right]}{100} = CV\left[\left(\frac{y_i}{\bar{y}}\right) - 1\right] = CV\left[\left(\frac{y_i}{\bar{y}}\right) - \left(\frac{\bar{y}}{\bar{y}}\right)\right]$$

$$= CV\left(\frac{y_i - \bar{y}}{\bar{y}}\right)$$

$B = P - I' = P - I$

b) $\forall \quad y_i < \bar{y} \quad \Rightarrow \quad I$ é negativo

$$I'' = (100 - P)\left(\frac{CV}{100}\right)$$

$$I = I'' = -CV\,\frac{(100 - P)}{100} = -CV\,\frac{\left[100 - \left(100\,\frac{y_i}{\bar{y}}\right)\right]}{100}$$

$$= -CV\left[1 - \left(\frac{y_i}{\bar{y}}\right)\right] = -CV\left[\left(\frac{\bar{y}}{\bar{y}}\right) - \left(\frac{y_i}{\bar{y}}\right)\right] = -CV\left(\frac{\bar{y} - y_i}{\bar{y}}\right)$$

$$= CV\,\frac{(y_i - \bar{y})}{\bar{y}}$$

Como $B = P + I'' \Rightarrow B = P - I$

Cálculo de B, y_i, z e CV_s em função de y_i, z, B, CV_r e CV_s

Para $B = f(y_i, \bar{y}$ e $CV_s)$,
sendo $CV_s = CV$ para simulação

$B = P - I$

$$B = \left(100\,\frac{y_i}{\bar{y}}\right) - CV_s\,\frac{(y_i - \bar{y})}{\bar{y}} \qquad \text{Eq. 1}$$

Para B = f (z e CV_s), considerando que $y_i = \bar{y} + z.s$

Como $B = \left(100\,\frac{y_i}{\bar{y}}\right) - CV_s\,\frac{(y_i - \bar{y})}{\bar{y}}$

$$= \left[100\frac{(\bar{y} + z.s)}{\bar{y}}\right] - CV_s\left\{\left[\frac{(\bar{y} + z.s)}{\bar{y}}\right] - 1\right\}$$

$$= \left[\left(\frac{100}{\bar{y}}\right)(\bar{y} + z.s)\right] - \left[\left(\frac{CV_s}{\bar{y}}\right)(\bar{y} + z.s)\right] + CV_s$$

$$B = CV_s + \left(\frac{100}{\bar{y}}\right)(\bar{y} + z.s) - \left(\frac{CV_s}{\bar{y}}\right)(\bar{y} + z.s) \qquad \text{Eq 2}$$

Para B = f (z , CV_r e CV_s)

CV_r = CV realmente observado

A partir da Eq. 2:

$$B = CV_s + \left[\left(\frac{100}{\bar{y}}\right)(\bar{y} + z\,.\,s)\right] - \left[\left(\frac{CV_s}{\bar{y}}\right)(\bar{y} + z\,.\,s)\right]$$

$$= CV_s + 100 + 100\,z\,.\left(\frac{s}{\bar{y}}\right) - CV_s - CV_s\,.\,z\,.\left(\frac{s}{\bar{y}}\right)$$

Como $CV_r = 100\,\frac{s}{\bar{y}} \Rightarrow \bar{y} = 100\,\frac{s}{CV_r}$

$$B = 100 + 100\left[\frac{z.s}{\left(\frac{100\,s}{CV_r}\right)}\right] - \left[\frac{CV_s\,.\,z\,.\,s}{\left(\frac{100\,s}{CV_r}\right)}\right]$$

$$B = 100 + z \,.\, CV_r - \left(\frac{z}{100}\right) CV_r \,.\, CV_s \qquad \text{Eq. 3}$$

Para $y_i = f\,(CV_s)|_{B}$

A partir da Eq. 1:

$$B = \left(100\,\frac{y_i}{\bar{y}}\right) - CV_s\,\frac{(y_i - \bar{y})}{\bar{y}}$$

$$= \left(100\,\frac{y_i}{\bar{y}}\right) - CV_s\left(\frac{y_i}{\bar{y}}\right) + CV_s$$

$$B - CV_s = \left(\frac{y_i}{\bar{y}}\right)(100 - CV_s)$$

$$\frac{y_i}{\bar{y}} = \frac{(B - CV_s)}{(100 - CV_s)}$$

$$y_i = \frac{\bar{y}\,(B - CV_s)}{(100 - CV_s)} \qquad \text{Eq. 4}$$

Para $z = f\,(CV_s)\,|_{B,\,CV_r}$

A partir da Eq. 3:

$$B = 100 + z \,.\, CV_r - \left(\frac{z}{100}\right) CV_r \,.\, CV_s$$

$$B - 100 = z \,.\, CV_r - z \,.\, CV_r\left(\frac{CV_s}{100}\right) = z\left[CV_r - CV_r\left(\frac{CV_s}{100}\right)\right]$$

$$z = \frac{B - 100}{\left[CV_r - CV_r\left(\frac{CV_s}{100}\right)\right]} \qquad \text{Eq. 5}$$

Para $CV_s = f\,(z)\,|_{B,\,CV_r}$

A partir da Eq. 5:

$$z = \frac{B - 100}{\left[CV_r - CV_r\left(\frac{CV_s}{100}\right)\right]}$$

$$B - 100 = z \,.\, CV_r - \left(\frac{z \,.\, CV_r \,.\, CV_s}{100}\right)$$

$$100 - B + z \,.\, CV_r = \left(\frac{z}{100}\right) CV_r \,.\, CV_s$$

$$CV_s = \frac{(100 - B + z \,.\, CV_r)}{\left[\left(\frac{z}{100}\right) CV_r\right]} \qquad \text{Eq. 6}$$

Para $B = f\,(CV_r)|_z$

A partir da Eq. 6:

$$CV_s = \frac{100 - B + z \,.\, CV_r}{\left(\frac{z}{100}\right) CV_r}$$

$$CV_s \left(\frac{z}{100}\right) CV_r = 100 - B + z \,.\, CV_r$$

$$B = 100 + z \,.\, CV_r - CV_s \left(\frac{z}{100}\right) CV_r$$

Quando $CV_r = CV_s$

$$B = 100 + z \,.\, CV_r - \left(\frac{z}{100}\right) CV_r^2 \qquad \text{Eq. 7}$$

Modelo quadrático em que:

$b_0 = 100$

$b_1 = z$

$b_{11} = \frac{z}{100}$

Apêndice A5

Deduções matemáticas para demonstração de que, no método DRIS, em uma condição de equilíbrio nutricional, o teor ótimo é a sua própria média na população de referência.

Nas deduções abaixo, será considerado o cálculo do Índice DRIS para N a partir das relações duais deste com os nutrientes P e K, sendo:

N, P, K, N/P, N/K, P/N e K/N = teores e relações duais nas amostras;

n, p, k, n/p, n/k, p/n e k/n = teores e relações duais na população de referência;

s = desvio padrão

$$I_N = \frac{Z(N/P) + Z(N/K) - Z(P/N) - Z(K/N)}{4}$$

$$I_N = \frac{10\,(N/P - n/p)}{4\,s} + \frac{10\,(N/K - n/k)}{4\,s} - \frac{10\,(P/N - p/n)}{4\,s} - \frac{10\,(K/N - k/n)}{4\,s}$$

$$I_N = \frac{2{,}5}{s}\,(N/P - P/N + N/K - K/N - n/p + p/n - n/k + k/n)$$

$$0{,}4\,s\,I_N = \left(\frac{N^2K - P^2K + N^2P - PK^2}{NPK}\right) - \left(\frac{n^2k - p^2k + n^2p - pk^2}{npk}\right)$$

$$0{,}4\,s\,I_N = \left(\frac{N^2\,(P + K)}{NPK} - \frac{PK\,(P + K)}{NPK}\right) - \left(\frac{n^2\,(p + k)}{npk} - \frac{pk\,(p + k)}{npk}\right)$$

$$0{,}4\,s\,I_N = \left(\frac{N\,(P + K)}{PK} - \frac{(P + K)}{N}\right) - \left(\frac{n\,(p + k)}{pk} - \frac{(p + k)}{n}\right)$$

$$0{,}4\,s\,I_N = \left[(P + K)\left(\frac{N}{PK} - \frac{1}{N}\right)\right] - \left[(p + k)\left(\frac{n}{pk} - \frac{1}{n}\right)\right]$$

$$(P + K)\left(\frac{N}{PK} - \frac{1}{N}\right) = (p + k)\left(\frac{n}{pk} - \frac{1}{n}\right) + 0{,}4\,s\,I_N$$

$$\left(\frac{N}{PK} - \frac{1}{N}\right) = \frac{(p + k)\left(\frac{n}{pk} - \frac{1}{n}\right)}{P + K} + \frac{0{,}4\,s\,I_N}{P + K}$$

$$N = \frac{PK}{N} + \frac{(p + k)(PK)\left(\frac{n}{pk} - \frac{1}{n}\right)}{P + K} + \frac{0{,}4\ s\ (PK)\ I_N}{P + K}$$

Para uma condição de equilíbrio, $I_N = 0$, N =n, P = p e K = k e, portanto,

$$N = \frac{PK}{N} + (PK)\left(\frac{N}{PK} - \frac{1}{N}\right)$$

$$N = \frac{PK}{N} + \frac{NPK}{PK} - \frac{PK}{N} = N$$