

**RODRIGO DE ARRUDA CAMPOS**

**DIAGNOSE FOLIAR EM CAFEIEIRO DE SEQUEIRO E IRRIGADO NA  
REGIÃO DO ALTO PARANAÍBA COM O USO DO DRIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Mestrado, área de concentração em Solos, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientadora:

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Regina Maria Quintão Lana

Co-orientador:

Prof. Dr. Benjamin de Melo

**UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2009**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

C198d Campos, Rodrigo de Arruda, 1974-  
DIAGNOSE FOLIAR EM CAFEIEIRO DE SEQUEIRO E IRRIGADO NA  
REGIÃO DO ALTO PARANAÍBA COM O USO DO DRIS / RODRIGO DE  
ARRUDA CAMPOS. - 2009.  
56 f. : il.

Orientadora: Regina Maria Quintão Lana.  
Co-orientador: Benjamin de Melo.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia.  
Inclui bibliografia.

1. Café - Nutrição - Teses. 2. Plantas - Nutrição - Teses. I. Lana, Regina Maria  
Quintão. II. Melo, Benjamin de. III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de  
Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU: 633.73:631.811

**RODRIGO DE ARRUDA CAMPOS**

**DIAGNOSE FOLIAR EM CAFEIEIRO DE SEQUEIRO E IRRIGADO NA  
REGIÃO DO ALTO PARANAÍBA COM O USO DO DRIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de  
Uberlândia como parte das exigências do Programa de  
Pós-Graduação em Agronomia - Mestrado, área de  
concentração em Solos, para a obtenção do título de  
“Mestre”.

APROVADA em 30 de outubro de 2009.

Prof. Dr. Benjamin de Melo  
(co-orientador)

ICIAG - UFU

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Adriane de Andrade Silva

ICIAG - UFU

Prof. Dr. Paulo Roberto Sá Santos

IFTM - UBERABA

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Regina Maria Quintão Lana  
ICIAG-UFU  
(Orientadora)

**UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2009**

À minha esposa Maída e aos meus filhos  
Álvaro, Laura, Melina e ao nosso quarto filho que  
nascerá em fevereiro, dedico esse trabalho.

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela minha vida e por colocar em meu caminho pessoas tão especiais como meus familiares, minha esposa, meus filhos e amigos.

À Universidade Federal de Uberlândia, pela oportunidade de realização do Mestrado.

À minha orientadora, Prof<sup>a</sup>. Dra. Regina Maria Quintão Lana pelo apoio, convívio e compreensão a mim dispensados.

Aos Professores membros da Banca examinadora Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Adriane de Andrade Silva, ao Prof. Dr. Paulo Roberto Rezende Sá Santos, e Prof. Dr. Benjamim de Melo pelas valorosas contribuições.

Aos Professores Carlos Machado, Césio Humberto, Marcus Vinícius e Adriane Andrade pelos ensinamentos e decisivo apoio à conclusão desse trabalho.

Aos meus pais, Joaquim de Arruda Campos e Silvany Pontalti de Arruda Campos, pelo carinho, paciência e incentivo em todos os momentos.

Aos meus sogros Jesus Messias Pilotto e Maria Ilda Granvile Pilotto pelo carinho, incentivo e apoio decisivos para concluir esse curso.

Aos secretários da Pós graduação Cida e Eduardo pela constante atenção dispensada a todos os pós graduandos.

Aos Colegas Ithamar Prada Neto, Carlos Henrique E. de Sousa, Letícia Barbaresco e Érika Sagata pelo incentivo e amizade.

Aos meus avós, Silvio Pontalti e Fanny Lapa Pontalti (“in memorian”) e Paulo de Arruda Campos (“in memorian”) e Maria Amélia Leite Aranha Arruda (“in memorian”) por tudo o que representaram em minha vida.

Aos meus irmãos Paulo e Simone, e respectivas famílias, pela amizade e  
companheirismo em todos os momentos.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	i
LISTA DE FIGURAS.....	ii
RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	iv
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	13
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	16
4.1 Diagnose nutricional da cafeicultura de sequeiro.....	16
4.1.1 Índices DRIS.....	16
4.1.2 Níveis de suficiência.....	20
4.1.3 Índice de Balanço Nutricional.....	21
4.1.4 Potencial de Resposta à Adubação (PRA).....	24
4.1.5 Correlação entre índices DRIS e entre Concentração de Nutrientes Foliare..	25
4.2 Diagnose nutricional da cafeicultura irrigada.....	28
4.2.1 Índices DRIS.....	28
4.2.2 Níveis de suficiência.....	31
4.2.3 Índice de Balanço Nutricional.....	32
4.2.4 Potencial de Resposta à Adubação (PRA).....	34
4.2.5 Correlação entre índices DRIS e entre Concentração de Nutrientes Foliare..	35
5 CONCLUSÕES.....	38
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39

## LISTA DE TABELAS

TABELA		Página
1	CrITÉrios para classificaÇão do Potencial de Resposta à AdubaÇão com um nutriente (potencial de responder com aumento de produÇão).....	11
2	CrITÉrios para classificaÇão do Potencial de Resposta à AdubaÇão com um nutriente (potencial de responder com diminuiÇão de produÇão).....	11
3	Potencial de Resposta à AdubaÇão de acordo com índices de DRIS, segundo WADT (1996).....	14
4	Índices DRIS para amostras de folhas de 59 lavouras cafeeiras em condiÇões de sequeiro, na regiãO do Alto Paranaíba – MG.....	17
5	Níveis de suficiênciA estimados através dos índices DRIS para amostras foliares obtidos de 59 lavouras comerciais, variedade catuaí, na regiãO do Alto Paranaíba – MG.....	21
6	Valores de IBN, IBNm e produtividade para 59 lavouras comerciais da variedade catuaí na regiãO do Alto Paranaíba – MG.....	22
7	FreqüênciA de Resposta à AdubaÇão em porcentagem (%), para amostras foliares de 59 lavouras comerciais, variedade catuaí, na regiãO do Alto Paranaíba – MG.....	24
8	CorrelaçãO entre concentraÇão dos nutrientes nas amostras foliares de 59 lavouras cafeeiras, variedade catuaí, na regiãO do Alto Paranaíba – MG.....	25
9	CorrelaçãO entre índices DRIS para amostras foliares de 59 lavouras de cafeeiros, variedade catuaí, na regiãO do Alto Paranaíba – MG.....	26
10	Índices DRIS para amostras de folhas de 52 lavouras comerciais da variedade Catuaí, na regiãO do Alto Paranaíba – MG.....	29
11	Níveis de suficiênciA estimados através dos índices DRIS para amostras foliares obtidos de 52 lavouras comerciais, variedade catuaí, na regiãO do Alto Paranaíba – MG.....	31

...continua...

## LISTA DE TABELAS – Cont.

12	Valores de IBN, IBNm e produtividade para 52 lavouras comerciais, variedade catuaí, na região do Alto Paranaíba – MG.....	32
13	Frequência de Resposta à Adubação em porcentagem (%), para amostras foliares de 52 lavouras comerciais, variedade catuaí, na região do Alto Paranaíba – MG.....	34
14	Correlação entre concentrações dos nutrientes nas amostras foliares de cafeeiros do Alto Paranaíba – MG (valores significativos a 5% de probabilidade).....	35
15	Correlação entre índices DRIS para amostras foliares de cafeeiros do Alto Paranaíba – MG (valores significativos a 5% de probabilidade).....	36

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA		Página
1	Relação entre produção e teor de nutrientes na folha.....	5
2	Produtividade de 59 lavouras cafeeiras em função do IBN.....	23
3	Produtividade de 52 lavouras cafeeiras em função do IBN.....	33

## RESUMO

CAMPOS, R. A. **Diagnose foliar em cafeeiro de sequeiro e irrigado na região do alto Paranaíba com o uso do DRIS**. 2009. 56f. Dissertação. (Mestrado em Agronomia/Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG<sup>1</sup>.

Os solos sob vegetação de cerrado têm a característica marcante da baixa fertilidade natural e o uso de subdosagens de fertilizantes acarreta em desequilíbrio nutricional da cultura cafeeira. Este trabalho teve por objetivos: caracterizar comparativamente as principais deficiências, excessos e desequilíbrios nutricionais na parte aérea do cafeeiro; indicar os nutrientes que apresentam maior resposta à adubação e as interações sinérgicas e antagônicas; bem como, com o uso do DRIS em análise de folhas para definir os níveis críticos e avaliar o Potencial de Resposta à Adubação. O experimento foi realizado no período de 2007 a 2009 na região do Alto Paranaíba - MG, em solo fase cerrado foram selecionadas 59 unidades amostrais com café produzido em condição de sequeiro e 52 lavouras com café produzido em condição irrigado. Com o uso do DRIS (Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação), definiu-se a ordem geral de limitação de macro e micronutrientes, níveis de suficiência, Índice de Balanço Nutricional (IBN), Índice de Balanço Nutricional médio (IBNm) e correlação entre os índices DRIS e concentração de nutrientes nas folhas. As amostras foliares foram coletadas na fase fenológica chumbinho, retirando-se dois pares de folhas de cada planta em 20 plantas ao acaso. A cafeicultura irrigada mostrou potencial de resposta à adubação diferente da cafeicultura de sequeiro, sendo o Mn (25%) e o S (13%) os que apresentaram como mais limitantes da produtividade. O DRIS apontou os seguintes nutrientes limitantes da produtividade do café de sequeiro, P(18,6%), Fe(15,3%), K=Mn (13,5%) e Zn=B(10,2%). As correlações entre os índices DRIS permitiram visualizar o antagonismo e o sinergismo entre os nutrientes, observando que as correlações N(P, K e S), P(K, Mg e S) e K(Mg e S) foram sinérgicas e as correlações N(Ca, B, Fe e Zn), P(Ca, B, Fe e Zn) e K(Ca, B, Fe e Zn) foram antagônicas. Os níveis de suficiência estimados através do índice DRIS para café de sequeiro foram 33-36 g.kg<sup>-1</sup> para N, 1,4-1,8 g.kg<sup>-1</sup> para P, 46-52 g.kg<sup>-1</sup> para K, 11-12 g.kg<sup>-1</sup> para Ca, 8-9 g.kg<sup>-1</sup> para Mg, 2-3

---

<sup>1</sup> Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Regina Maria Quintão Lana – UFU.

g.kg<sup>-1</sup> para S, 30-42 mg.kg<sup>-1</sup> para B, 235-263 mg.kg<sup>-1</sup> para Fe, 158-240 mg.kg<sup>-1</sup> para Mn e 18-19 mg.kg<sup>-1</sup> para Zn e para o café irrigado o teores foram 30,1g.kg<sup>-1</sup> para N, 1,3 g.kg<sup>-1</sup> para P, 22,5 g.kg<sup>-1</sup> para K, 7,1 g.kg<sup>-1</sup> para Ca, 2,5 g.kg<sup>-1</sup> para Mg, 2,2 g.kg<sup>-1</sup> para S, 28,3 mg.kg<sup>-1</sup> para B, 131,9 mg.kg<sup>-1</sup> para Fe, 103,9 mg.kg<sup>-1</sup> para Mn, 9,0 mg.kg<sup>-1</sup> para Cu e 8,2 mg.kg<sup>-1</sup> para Zn , na camada de 0-5 cm foram: S, P, Ca e Mg e na camada de 5-20 cm: S, Zn e K. Pode-se concluir que há uma taxa de suficiência diferenciada para o café irrigado e sequeiro e os nutrientes que mostraram maior probabilidade de resposta positiva à sua aplicação em ordem decrescente foram: S > P = Zn > K = Mg = Ca.

Palavras-chave: Nutrição. Adubação. Café de sequeiro e irrigado. DRIS. Potencial de Resposta à Adubação.

## ABSTRACT

CAMPOS, R. A. **Coffee leaf analysis using DRIS from irrigated and non-irrigated plantations in the alto Paranaíba region.** 2009. 56f. Dissertation. (Master in Agronomy / Soils) - Federal University of Uberlândia-MG<sup>1</sup>.

Cerrado soils have low fertility and under-dosing of fertilizers leads to nutritional imbalance on coffee plantations. This study aimed to: comparatively characterize the main deficiencies, nutritional imbalances and excesses in the aerial part of coffee plant; indicate nutrients which respond well to fertilization and their synergistic and antagonistic interactions; define the critical levels and assess the potential response to fertilization using the DRIS analysis of leaves. The experiment was carried out from 2007 to 2009 in the alto Paranaíba region - Brazil, in cerrado soil. There were selected 59 samples with coffee produced on non-irrigated and 52 on irrigated plantations. With the use of DRIS (The Diagnosis and Recommendation Integrated System) there were defined: a general limitation of macro and micronutrients, levels of sufficiency, Nutritional Balance Index (NBI), Average Nutritional Balance Index (NBIA) and correlation between DRIS indices and concentration of nutrients in leaves. The leaf samples were collected during the phenological phase of buds, removing at random two pairs of leaves from each plant with 20 plants in total. The irrigated coffee showed different response to fertilization than the non-irrigated coffee where Mn (25%) and S (13%) limited the productivity the most. DRIS showed the following nutrients limiting the productivity of non-irrigated coffee: P (18.6%), Fe (15.3%), K = Mn (13.5%) and Zn = B (10.2%). Correlations between DRIS indices allowed the visualization of antagonism and synergism between nutrients, noting that the correlations between N (P, K and S), P (K, Mg and S) and K (Mg and S) were synergistic and the correlations between N (Ca, B, Fe and Zn), P (Ca, B, Fe and Zn) and K (Ca, B, Fe and Zn) were antagonistic. Sufficiency levels estimated by the DRIS index for non-irrigated coffee were: 33-36 g.kg<sup>-1</sup> for N, 1.4<sup>-1</sup>.8 g.kg<sup>-1</sup> for P, 46-52 g.kg<sup>-1</sup> for K, 11-12 g.kg<sup>-1</sup> for Ca, 8-9 g.kg<sup>-1</sup> for Mg, 2-3 g.kg<sup>-1</sup> for S, 30-42 mg.kg<sup>-1</sup> for B, 235-263 mg.kg<sup>-1</sup> for Fe,

---

<sup>1</sup> Advisor: Prof Dr Regina Maria Quintão Lana – UFU

158-240 mg.kg<sup>-1</sup> for Mn and 18-19 mg.kg<sup>-1</sup> for Zn. For irrigated coffee the levels were: 30.1 g.kg<sup>-1</sup> for N, 1.3 g.kg<sup>-1</sup> for P, 22.5 g.kg<sup>-1</sup> for K, 7.1 g.kg<sup>-1</sup> for Ca, 2.5 g.kg<sup>-1</sup> for Mg, 2.2 g.kg<sup>-1</sup> for S, 28.3 mg.kg<sup>-1</sup> for B, 131.9 mg.kg<sup>-1</sup> for Fe, 103.9 mg.kg<sup>-1</sup> for Mn, 9.0 mg.kg<sup>-1</sup> for Cu, 8.2 mg.kg<sup>-1</sup> and for Zn. In the layer of 0-5 cm were: S, P, Ca, Mg and in the layer of 5-20 cm: S, Zn and K. It can be concluded that there is a different sufficiency rate for irrigated and non-irrigated coffee. Presented in descending order are the nutrients which are more likely to respond positively: S > P = Zn > Mg = K = Ca.

**Keywords:** nutrition, fertilization, irrigated and non-irrigated coffee, DRIS, Potential Response to Fertilization.

## 1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura no Brasil teve novo impulso a partir da década de 70 com a conquista das áreas sob vegetação de Cerrado, principalmente devido às novas pesquisas em fertilidade do solo e nutrição de plantas desenvolvidas nessa região. Atualmente, o Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café e o segundo maior consumidor do produto. O café nacional é produzido em 14 estados e 1.900 municípios, com 2,3 milhões de hectares plantados, além de empregar cerca de 8,4 milhões de trabalhadores (diretos e indiretos) (MAPA, 2009). Segundo dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, a safra colhida em 2008 alcançou 45,99 milhões de sacas de 60 kg de café beneficiado, superior à safra passada em 27,5%.

O café é uma cultura que apresenta alta exigência nutricional, principalmente em micronutrientes como, zinco (Zn), boro (B), cobre (Cu), manganês (Mn), e a deficiência de certos nutrientes podem limitar a produção. Com isso, caracterizar as principais deficiências, excessos ou desequilíbrios nutricionais existentes no cafeeiro através da análise foliar e de solo, torna-se uma ferramenta importante na identificação dos nutrientes que indiquem maior resposta à adubação àquela lavoura, influenciando na produtividade da cultura.

Para interpretação da análise de folhas e de solo existem padrões de referência que devem ser estabelecidos e executados de forma que representem uma condição que se aproxime de um estado nutricional ideal para a cultura cafeeira. Os métodos mais usados para o diagnóstico do estado nutricional são os Níveis Críticos, as Faixas Críticas de Concentração e o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) (BATAGLIA et al. 1996; MALAVOLTA et al., 1997), os quais, ultimamente, têm recebido bastante atenção. Dentre estes métodos de diagnose nutricional, o DRIS tem sido o mais estudado. Este método avalia o equilíbrio nutricional da planta através de índices para cada nutriente, levando em consideração sua relação com os demais, dentro de uma escala contínua. Para calculá-los, os valores das razões entre os teores dos nutrientes da amostra, são comparados aos padrões, denominados normas DRIS, que consistem nos valores médios das razões dos nutrientes e seus respectivos desvios padrões, extraídos de uma população de alta produtividade.

Os padrões nutricionais de qualquer método diagnóstico, para que possam ser idealmente utilizados em uma região, devem ter sido originados dela mesmo, ou validados de outras bases de dados. A vantagem de serem originados da mesma região é que são mantidas semelhantes as condições de clima, solo e comportamento fenológico entre as plantas padrão e amostra, favorecendo a precisão do diagnóstico.

No DRIS, a população de referência deve apresentar toda variabilidade de fatores que agem sobre a população base. Assim, a população de referência pode ser selecionada a partir do maior universo possível de dados, podendo obter normas DRIS para o uso, independente do local ou região para qual o método será aplicado (COSTA, 1995).

As características positivas apontadas pelo DRIS são: a escala é contínua e facilmente interpretada; o DRIS classifica os nutrientes desde o mais deficiente ao mais excessivo; o DRIS pode identificar alguns casos, em que a produtividade está limitada por um desequilíbrio de nutrientes, mesmo que nenhum deles esteja abaixo de seu nível crítico; e o IBN (Índice de Balanço Nutricional) dá a medida do efeito conjunto dos níveis de nutriente sobre a produtividade.

Wadt (1996) desenvolveu o método chamado Potencial de Resposta à Adubação, como tentativa de indicar qual é o nutriente problema, seja por excesso ou deficiência, indicando também uma possibilidade de resposta à adubação. O método do Potencial de Resposta à Adubação ajuda na identificação do nutriente, que pode promover maior resposta em produtividade.

Com isso, o objetivo deste trabalho foi caracterizar comparativamente as principais deficiências, excessos e desequilíbrios nutricionais na parte aérea do cafeeiro. Indicar os nutrientes que apresentam maior resposta à adubação e as interações sinérgicas e antagônicas. E com o uso do DRIS, em análise de solo e de folhas, definir os níveis críticos para essas análises e avaliação do Potencial de Resposta à Adubação.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A importância da cafeicultura é observada pela sua influência econômica e política exercida principalmente no final do século XIX e início do século XX.

Nas últimas décadas, a espécie *Coffea arabica* tem expandido suas áreas de cultivo, alcançando o domínio dos Cerrados, instalando-se inicialmente no Triângulo Mineiro e por último no Oeste Baiano. Com essa expansão da área de cultivo, houve um conseqüente aumento da produção. A escolha dessa fronteira agrícola deve-se a existência de pesquisas em fertilidade do solo e nutrição de plantas capazes de tornarem estes solos produtivos (MACEDO, 1996).

Os solos sob vegetação de cerrado têm a característica marcante da baixa fertilidade natural, exigindo a suplementação de nutrientes por meio da adubação, seja de solo e/ou foliar, para obter altas produtividades. Devido à heterogeneidade do solo, os nutrientes nele aplicados sofrem reações complexas, as quais podem alterar a disponibilidade dos nutrientes, influenciando diretamente a sua absorção pelas plantas e causando desordens nutricionais. Dessa forma, nem todo nutriente aplicado ao solo é absorvido pela planta, em razão da influência de vários fatores no processo de absorção. Assim, Prezotti (2001) relata a existência de fatores nos quais deve ser baseada a quantidade de nutriente a ser aplicada à lavoura cafeeira, como: idade das plantas, população de plantas, produção pendente, tipo de solo e teor de nutrientes no solo.

Os principais fatores que afetam a disponibilidade de um nutriente no solo são: pH, umidade, teor de nutriente no solo, forma química do nutriente, capacidade de absorção da cultura, desenvolvimento do sistema radicular, tempo de crescimento, condições climáticas, presença de elementos tóxicos, balanço interno de cargas e disponibilidade de outros nutrientes.

Para obtenção de alta produtividade e qualidade de frutos, a lavoura cafeeira, assim como qualquer outra planta, depende de fatores, tais como, luz, temperatura, CO<sub>2</sub>, água e nutrientes disponíveis no solo, além de condições físicas para o desenvolvimento do sistema radicular (COSTA, 2001). Já Martinez et al. (1999) citam como fatores que afetam a produtividade os genético-culturais, edáficos, climáticos e de manejo, como sendo os responsáveis pelas diferenças entre anos, entre propriedades e entre áreas de uma mesma propriedade. Weill (1990) estudou a influência de vários fatores sobre a

produtividade dos cafezais, e observou que as características químicas do solo influenciaram mais do que os atributos físicos e hídricos, sendo que a fertilidade do solo é mais facilmente corrigível que as características físicas.

A identificação e quantificação das condições adversas ao desenvolvimento das plantas são feitas através da análise de solo, podendo, com estes resultados, recomendar adubos em geral e inferir sobre a causa das desordens nutricionais (MARTINEZ et al., 1999).

A análise química de solos é a principal ferramenta para a determinação da necessidade de adubação para as culturas em geral. Através dela são determinados os teores de nutrientes disponíveis para as plantas, além das condições de acidez, alcalinidade e salinidade. Então, a partir da análise de solo, fazem-se as recomendações de gesso, calcário e fertilizante. Porém, é essencial que se conheça o histórico da área e também que se tenha uma estimativa da produção pendente em casos de lavouras em produção, mostrando a importância de uma maior quantidade de ferramentas para uma recomendação correta quanto ao tipo e a quantidade de fertilizante a ser usado.

A recomendação da quantidade de adubo a ser aplicada, diferentemente das recomendações de gesso e calcário, é feita com base em tabelas de adubação, as quais geralmente são desenvolvidas por comissões estaduais. Estas comissões baseiam-se em dois fatores básicos para criação destas tabelas de adubação: através de curvas de calibração desenvolvidas a partir de experimentos de campo em locais estratégicos e através da experiência técnica de alguns dos membros da comissão, naquela cultura específica.

Outra ferramenta que vem sendo usada e aperfeiçoada é a análise química de tecido vegetal, usando-se principalmente as folhas, pois é o local onde ocorre a maior produção de fotossintatos e para onde se dirige a maior quantidade de nutrientes absorvidos pelas plantas. Com esta ferramenta avalia-se o efeito da adubação de solo e foliar e ainda os teores de nutrientes nas folhas, quantificando os nutrientes absorvidos. Os nutrientes, que são encontrados em uma amostra de tecido vegetal e interpretados com base no critério do nível crítico, podem ter seus comportamentos descritos por uma curva (Figura 1), a qual pode ser dividida em cinco classes diferenciadas pelo estado nutricional da planta: a) Zona de deficiência aguda; b) Zona de deficiência latente; c) Zona de adequação; d) Zona de consumo de luxo; e) Zona de excesso ou toxidez.

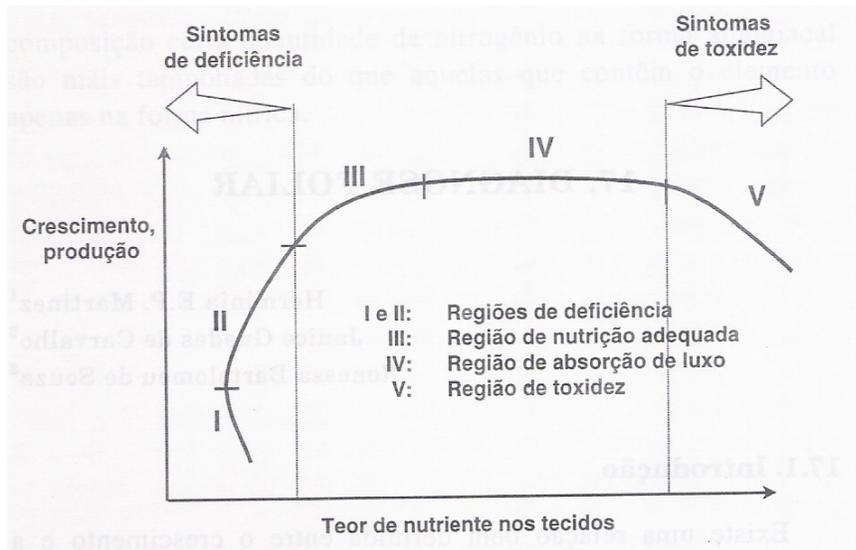


FIGURA 1 - Relação entre produção e teor de nutrientes na folha.

Assim, há a necessidade de se fazer a análise de tecido vegetal para se conhecer o teor de cada nutriente na planta naquele estágio fenológico; e a partir daí, proceder a interpretação. O teor de cada nutriente na planta pode ser interpretado por vários métodos de avaliação do estado nutricional.

Para interpretação da análise de solos existem padrões de referência, que também devem ser estabelecidos para análise de folhas. Estes padrões de referência devem ser conseguidos com muita experimentação e executados de forma que representem uma condição que se aproxime de um estado nutricional ideal para a cultura cafeeira. Os métodos mais usados para o diagnóstico do estado nutricional são os Níveis Críticos, as Faixas Críticas de Concentração e o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) (BATAGLIA et al., 1996; MALAVOLTA et al., 1997), os quais, ultimamente, têm recebido bastante atenção.

O método do nível crítico é baseado na comparação da concentração de determinado nutriente na amostra com um valor aceito como padrão. A partir daí, se a concentração deste nutriente na amostra for menor que o padrão, implica alta probabilidade de distúrbios nutricionais quanto a este nutriente. Por outro lado, se a

concentração for igual ou superior ao padrão, implica boa condição nutricional quanto ao nutriente em questão (MARTINEZ et al., 2000a).

Aqueles autores relatam ainda que é muito importante que os padrões sejam confiáveis e apropriados, pois eles dizem respeito à época de amostragem, posição na planta, número de folhas por talhão, etc. Porém, a interpretação dos resultados de análise foliar pelo método do nível crítico ou das faixas críticas avalia cada nutriente isoladamente, desconsiderando as relações e interações entre eles, as variações de concentração dos nutrientes com a idade e com o desenvolvimento da planta e as diferenças varietais (MALAVOLTA et al., 1997), o que tem gerado dificuldade nas interpretações, levando à procura de alternativas que considerem a relação entre os teores de nutrientes, como por exemplo, o DRIS (ALVAREZ e LEITE, 1999).

O método do nível crítico tem a desvantagem de apresentar uma faixa de produção ampla para uma faixa de concentração do nutriente em questão estreita (VAN RAIJ, 1991) e mostra-se sem habilidade para relacionar de forma adequada a variação de concentração de nutrientes com base na matéria seca, com o tamanho e idade da planta (MARTINEZ et al., 2000b). Outro problema deste método é a necessidade de instalação de experimentos de campo, os quais demandam muito tempo e recursos financeiros. Assim, deve-se assumir que apenas o nutriente em questão é o fator de variação e ainda que a produtividade está atrelada apenas a ele.

Nick (1998) chama a atenção para a região onde foram desenvolvidos os padrões, independentemente do método de diagnóstico utilizado, Ele relata que os padrões regionalizados têm a vantagem da manutenção das condições de clima, solo e comportamento fenológico entre os padrões e a amostra. Isto favorece a acurácia do diagnóstico.

Havendo mais de um nutriente abaixo do nível crítico, há também uma maior dificuldade de se saber qual é o mais limitante (MALAVOLTA et al., 1997). Além disso, quando vários fatores estão atuando diretamente sobre a produção, a avaliação do estado nutricional torna-se muito complexa (COSTA, 1995). Assim, Beaufils (1973) relata que o estado nutricional de uma cultura é uma resposta da planta às condições ambientais e de manejo, pois afeta a capacidade fotossintética da planta e, conseqüentemente, a translocação de açúcares no sistema de fontes e drenos.

A principal fonte de açúcares solúveis para a planta é a folha. De acordo com Rena e Maestri (1987) os principais drenos do cafeeiro são, em ordem de intensidade:

frutos e flores, crescimento secundário de caules, desenvolvimento de novos brotos, desenvolvimento de raízes e metabolismo de manutenção celular.

Outro método de avaliação do estado nutricional das plantas é o Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação (DRIS). Ele foi desenvolvido por Beaufils (1973), com propósitos de diagnosticar as causas primárias e secundárias que afetam a produtividade das culturas, e é baseado no cálculo de índices para cada nutriente, levando em consideração sua relação com os demais. É um esquema geral de experimentação e calibração, baseado em princípios desenvolvidos em pesquisas de fertilidade de solos e nutrição de plantas, e é uma extensão da técnica da diagnose fisiológica (BEAUFILS, 1973; BATAGLIA e DECHEN, 1986; ZAMBELLO JÚNIOR, 1979; LEITE, 1993).

O índice DRIS de um determinado nutriente ( $I_A$ ) é a média aritmética dos quocientes do teor deste nutriente (A) com os teores dos demais nutrientes (B, C, ..., N) determinados na análise química foliar ou de solo. Estes quocientes devem seguir distribuição normal reduzida, ou seja, são transformados em variáveis normais reduzidas (z); por conseguinte, são quocientes estudentizados (ALVAREZ e LEITE, 1999).

O procedimento de cálculo dos índices DRIS segue alguns passos como relatam Martinez et al. (2000b). Assim, com os resultados de análise foliar e das normas, procede-se do seguinte modo:

- 1) calculam-se as relações binárias entre os nutrientes da amostra em teste;
- 2) aplica-se o teste de normalidade, uma vez que um quociente deve seguir distribuição normal reduzida de média zero e desvio padrão igual a um, ou seja, a distribuição de Z;
- 3) Calcula-se a relação normal reduzida dos teores de dois nutrientes (A/B) com a fórmula de cálculo da distribuição Z;
- 4) Calculam-se os índices primários;
- 5) Calcula-se o índice de balanço nutricional (IBN) para cada lavoura.

Quando o índice DRIS de um nutriente assume valor negativo, é sinal que ocorre limitação deste nutriente; no caso do índice deste nutriente assumir valor positivo indica uma não limitação do nutriente; e quanto mais próximo de zero estiver indicará que a planta encontra-se nutricionalmente equilibrada em relação ao nutriente estudado (MARTINEZ et al., 2000a; COSTA, 1995; SANTOS, 1997). Isto permitirá uma

classificação e importância de cada nutriente, pois quanto mais negativo for o índice DRIS, mais limitante na produtividade será o nutriente em questão. Com o suprimento do nutriente mais limitante não significará que o segundo mais limitante passará a maior limitação, pois as relações são alteradas.

Por outro lado, o somatório dos índices DRIS em módulo fornecerá o Índice de Balanço Nutricional (IBN). Este índice é que permitirá a comparação de diversas lavouras entre si. De acordo com Wadt (1999), uma lavoura com baixo IBN indica que está equilibrada do ponto de vista nutricional. Porém, pode ocorrer alta ou baixa produtividade, sendo que no caso de baixa produtividade, este índice indica que fatores não-nutricionais estão limitando a produtividade. Quando ocorre alto IBN e baixa produtividade, esta é uma indicação de limitação de ordem não nutricional.

Para interpretação da análise de tecidos, é necessário, primeiro, estabelecer valores padrões ou normas para que, por comparação, seja feita a avaliação da amostra. Bataglia e Santos (1990) ressaltam que para o cálculo dos índices DRIS deve-se, primeiramente, estabelecer os valores padrões ou normas, as quais são definidas para todos os nutrientes. Martinez et al. (2000a) relatam que estes padrões podem ser obtidos de plantas normais, ou seja, aquelas que possuem todos os nutrientes em quantidades e proporções capazes de resultar em produtividades elevadas. Então, faz-se a média das funções de todas as relações que contém um dado nutriente, obtendo, assim, o índice DRIS para este nutriente.

No DRIS, a população de referência deve apresentar toda variabilidade de fatores que agem sobre a população base. Assim, a população de referência pode ser selecionada a partir do maior universo possível de dados, podendo obter normas DRIS para o uso, independente do local ou região para qual o método será aplicado (COSTA, 1995). As vantagens nesta forma de obtenção das normas estão na facilidade de acúmulo de informações, tornando o processo mais rápido e menos oneroso, porque permite o aproveitamento de dados coletados em diferentes condições de manejo.

Porém, a restrição das normas a uma mesma região de origem, de um mesmo material genético, que estejam sujeitos a um mesmo conjunto de fatores ecofisiológicos daqueles da amostra em estudo, obtém-se maior acurácia no diagnóstico (WORTMANN et al. *apud* COSTA, 1995).

Índices DRIS apropriados para a interpretação de uma amostra dependem da escolha de uma população de referência conveniente. Esta, por sua vez, depende do

número de dados observados, da experiência e perspicácia do executor das interpretações (ZAMBELLO JÚNIOR e ORLANDO FILHO, 1979), pois deve representar as condições adequadas ou desejáveis da cultura.

Como o DRIS se baseia no cálculo de índices para cada nutriente, considerando sua relação com os demais e comparando com as médias de uma população de referência, seus índices informam um balanço relativo dos nutrientes na planta (BEAUFILS, 1971).

Com o DRIS, tenta-se avaliar o máximo de fatores que possam afetar a produtividade e as respostas das culturas à aplicação de fertilizantes; porém, o seu desenvolvimento está acontecendo, principalmente em relação aos aspectos nutricionais das plantas, tornando-se um método de interpretação dos resultados de análise foliar (VAN RAIJ, 1991). Este método permite conhecer a ordem de limitação dos nutrientes da lavoura pela relação mais adequada entre os nutrientes. Porém, o seu estágio de desenvolvimento ainda não permite o cálculo da quantidade de nutrientes que deve ser aplicado, informando apenas a ordem de limitação e se essa limitação ocorre por deficiência ou excesso (MATINEZ et al., 1999).

Oliveira e Sousa (1993) relatam que o DRIS foi originalmente proposto para a utilização em análises foliares e posteriormente utilizado em análise de solo. Desta forma, os índices DRIS podem ser calculados para avaliação do equilíbrio de nutrientes em tecidos vegetais e em solos, resultando em uma calibração de composição destes em relação à produtividade. Pode-se também determinar com que intensidade o índice de um nutriente na amostra aproxima-se ou afasta-se das normas, sendo desta forma ordenados de acordo com a sua limitação na produtividade. E ainda, considerando-se o balanço de nutrientes na planta e os índices DRIS, pode-se indicar o grau em que o solo ou planta necessitam de um determinado nutriente para manter o equilíbrio (SUMNER, 1977).

Para a avaliação do estado nutricional de plantas, parte-se do pressuposto de que pelo método DRIS as relações entre dois nutrientes são melhores indicadores do que apenas um nutriente isolado (BEAUFILS, 1973; JONES, 1981). Assim, as relações dois a dois entre os nutrientes são menos afetadas pelos efeitos de concentração e de diluição de massa, proporcionando uma maior independência das condições que os padrões gerados por curvas de calibração (COSTA, 1995; WADT, 1999).

Toda a avaliação ambiental afeta as relações internas entre os nutrientes na planta, afetando também a produtividade, sendo que para compilação dos dados são reunidos um grande número de amostras, o maior possível, em condições ambientais muito variadas. Estes dados são submetidos a procedimentos estatísticos, cujos objetivos são: escolher as relações nutricionais usadas como referência e para estabelecer a fórmula de cálculo mais adequada para a espécie vegetal em questão (WADT et al., 1999).

Segundo Costa, (1995); Leite, (1993), o DRIS apresenta algumas vantagens, sendo as principais:

- uso das relações das concentrações dos nutrientes, dois a dois, são, frequentemente, melhores indicadoras de deficiências nutricionais do que a concentração do nutriente sozinho.
- para fazer a diagnose, considera-se o equilíbrio nutricional com base em padrões nutricionais de referência ou normas, sendo, particularmente importante em altos níveis de produção, em que o equilíbrio nutricional é, muitas vezes, o fator mais importante e crítico na determinação da produtividade vegetal.
- os nutrientes limitantes da produção, tanto por deficiência quanto por excesso, podem ser prontamente identificados e ordenados em função de sua importância na limitação da produtividade.

Segundo Baldock e Schulte (1996), o método DRIS tem quatro vantagens, a saber: a escala é contínua e facilmente interpretada; o DRIS classifica os nutrientes desde o mais deficiente ao mais excessivo; o DRIS pode identificar alguns casos, em que a produtividade está limitada por um desequilíbrio de nutrientes, mesmo que nenhum deles esteja abaixo de seu nível crítico; e o IBN (Índice de Balanço Nutricional) dá a medida do efeito conjunto dos níveis de nutriente sobre a produtividade. Os mesmos autores também apontam quatro desvantagens do DRIS: é um sistema que exige computação não muito simples; os índices não são independentes, ou seja, o nível de um nutriente pode ter um efeito marcante sobre os outros índices; ele resulta em diagnoses positivas falsas com muita frequência; e, embora tenha sido mostrado que este sistema é menos sensível à maturidade da planta, na prática ele é frequentemente tão sensível à idade da planta quanto o método concorrente da Faixa de Suficiência.

A principal vantagem do método foi levantada por Oliveira (1993); Oliveira e Sousa (1993) devido à possibilidade de se definir os níveis de suficiência através do DRIS. Com o uso de programa desenvolvido por Oliveira S. A. (programa em desenvolvimento e dados não publicados) pode-se definir qual o nível de suficiência para macronutrientes e micronutrientes, nas folhas e no solo, além da CTC e da matéria orgânica. Estes níveis tornam-se mais importantes devido à forma como são obtidos, pois levam em consideração as relações e interações entre os nutrientes e como são usados dados de lavouras comerciais; o resultado final é rápido e econômico quando comparado com o método convencional.

Wadt (1996) apresenta dificuldades no uso do DRIS como ferramenta de avaliação do estado nutricional das plantas, a escolha do critério a ser adotado para separar nutrientes limitantes dos demais e a escolha de qual método DRIS é mais adequado para essa avaliação. O DRIS apresenta dois agravantes, segundo este mesmo autor:

- um índice DRIS com valor negativo pode ser resultante de um desequilíbrio por excesso de um segundo nutriente;
- quando se usa a fórmula de Jones (1981), a frequência esperada de um nutriente como sendo o mais limitante, em 100 lavouras e 11 nutrientes, é de 9,09 lavouras.

Estes dois aspectos deixam em dúvida se o nutriente é ou não o mais limitante por deficiência, afetando a recomendação, pois com a adição do nutriente pode não haver resposta à produtividade. Dessa forma, o uso de faixas normais pode fazer com que pequenos desvios nas relações entre os nutrientes sejam desconsiderados como indício de desequilíbrio. Segundo Wadt (1996), esta é uma solução parcial, pois ainda haveria índices DRIS negativos que não indicam deficiência.

Desta forma, Wadt (1996) sugere o uso de Índice de Balanço Nutricional Médio (IBNm), que é o valor do IBN dividido pelo número de nutrientes envolvidos na relação. Este índice reflete a média dos desvios de cada nutriente em relação ao ótimo. Este mesmo autor relata que quando a fórmula de Jones (1981) é usada a soma dos índices DRIS é sempre zero; para que isso ocorra, o desvio de um nutriente deve ser compensado nos valores dos desvios dos outros nutrientes. Dessa forma, como um determinado nutriente em excesso pode induzir índices DRIS negativos em outro, há

uma dificuldade na identificação do nutriente problema, ou seja, aquele que causa desvios nos índices de outros nutrientes.

Wadt (1996) desenvolveu o método chamado Potencial de Resposta à Adubação, como tentativa de indicar qual é o nutriente problema, seja por excesso ou deficiência, indicando também uma possibilidade de resposta à adubação. O autor estabeleceu o grau de probabilidade de resposta à adubação e o dividiu em quatro classes: Muito provável, Provável, Pouco Provável e Não Provável. Em seguida, estabeleceu os critérios para cada classe, conforme as tabelas 1 e 2.

TABELA 1. Critérios para classificação do Potencial de Resposta à Adubação com um nutriente (potencial de responder com aumento de produção)

Grau de probabilidade para resposta à Adubação	Mais limitante por Deficiência	Índices DRIS	Módulo do Índice DRIS
Muito Provável	Sim	$< 0$	$> \text{IBNm}$
Provável	Não	$< 0$	$> \text{IBNm}$
Pouco Provável	Indiferente	$< 0$	$\leq \text{IBNm}$
Não-Provável	Indiferente	$\geq 0$	Indiferente

TABELA 2. Critérios para classificação do Potencial de Resposta à Adubação com um nutriente (potencial de responder com diminuição de produção)

Grau de probabilidade para resposta à Adubação	Mais limitante por Deficiência	Índices DRIS	Módulo do Índice DRIS
Muito Provável	Sim	$< 0$	$> \text{IBNm}$
Provável	Não	$< 0$	$> \text{IBNm}$
Pouco Provável	Indiferente	$< 0$	$\leq \text{IBNm}$
Não-Provável	Indiferente	$\geq 0$	Indiferente

A partir destas tabelas, foram definidas cinco classes de probabilidade de resposta à adubação, comparando-se o índice calculado para um dado nutriente e o índice de balanço nutricional médio (IBNm). De acordo com Martinez et al. (2000b), as cinco classes de probabilidade de resposta à adubação de Wadt (1996) são definidas da seguinte maneira:

Classe 1: Resposta Positiva (P) – tem probabilidade de ocorrer quando os índices DRIS do nutriente mais negativo for maior, em módulo, que o IBNm.

Classe 2: Resposta Positiva ou Nula (PZ) – tem probabilidade de ocorrer quando o índice de DRIS do nutriente for maior em módulo que o IBNm e não for o mais negativo.

Classe 3: Resposta Nula (Z): tem probabilidade de ocorrer quando o índice DRIS do nutriente em módulo for menor ou igual ao IBNm.

Classe 4: Resposta Negativa ou Nula (NZ) – tem probabilidade de ocorrer quando o índice DRIS do nutriente for maior em módulo que o IBNm, porém sem ser o índice DRIS de maior valor.

Classe 5: Resposta Negativa (N) - tem probabilidade de ocorrer quando o índice DRIS do nutriente for maior que o IBNm e maior que todos os índices DRIS.

Assim, com o DRIS pode-se identificar aqueles nutrientes que estão contribuindo para o desequilíbrio nutricional da cultura, sendo que o IBN permite a comparação entre lavouras, desta forma, definindo aquelas que estão nutricionalmente desequilibradas. O método do Potencial de Resposta à Adubação ajuda na identificação de nutriente, que pode promover maior resposta em produtividade.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em lavouras na região do Alto Paranaíba - Minas Gerais. Foram coletadas amostras de folhas da espécie *Coffea arabica* L., cultivar Catuaí, com idade de 4 a 8 anos. Foram instaladas Unidades Amostrais (UAs) de aproximadamente 1,00 ha., em 59 propriedades do Alto Paranaíba em café de sequeiro e 52 lavouras em café irrigado, obtendo produtividade da safra 2007/2008.

As amostragens de folhas foram realizadas quando as plantas apresentavam frutos na fase fenológica de "chumbinho". As amostragens foliares foram realizadas retirando-se 2 pares de folhas (um par de cada lado da planta) em 20 plantas escolhidas ao acaso em cada UA. Foram retiradas folhas do terceiro ou quarto par, a partir do ápice, em dois ramos produtivos (plagiotrópicos) em uma altura mediana na copa, tomando-se o cuidado de escolher ramos com alternância das faces de exposição cardinal. As 80 folhas coletadas foram acondicionadas em sacos de papel e enviadas imediatamente ao Laboratório de Análise de Solos da Universidade Federal de Uberlândia, para as determinações de macronutrientes e micronutrientes, segundo (BATAGLIA et al., 1983).

Após determinações químicas nas amostras de folha e solo foram traçadas as tabelas com os resultados obtidos visando ao cálculo dos índices DRIS.

Foi aplicado sobre os teores de nutrientes das amostras de folhas das lavouras cafeeiras o teste de normalidade pelo método do qui-quadrado. Depois, foram calculadas as relações entre os 11 nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Mn, Zn e Cu) das amostras de folhas dividindo-se o valor de um pelo outro, de acordo com o observado nas análises químicas. A partir dessas relações, foram calculados as médias, a variância e o coeficiente de variação das relações dos nutrientes, os quais são as normas ou valores de referência. A seguir, procedeu-se o cálculo dos índices primários, utilizando-se para tal a metodologia proposta por Ewali e Gascho (1984), onde:

**a) Cálculo dos índices DRIS:** O cálculo dos índices primários foi feito utilizando para tal a metodologia proposta por (MALAVOLTA et al., 1997), usando-se a fórmula de (EWALI e GASCHO, 1984), onde:

**Índice X=  $f(X/A) + f(X/B) + \dots - f(A/X) - f(B/X) - \dots$**

Para:

$$f(X/A) = K [(X/A)/(x/a)-1]/CV \text{ se } X/A > x/a + S_{x/a}$$

$$f(X/A) = K [1 - (x/a)/(X/A)]/CV \text{ se } X/a < x/a - S_{x/a}$$

$$f(X/A) = 0 \text{ se } x/a - S_{x/a} \leq X/A \leq x/a + S_{x/a}$$

$x/a$  = média da relação dos nutrientes  $x$  e  $a$  da população de alta produtividade

$CV_{x/a}$  = Coeficiente de variação da população de alta produtividade

$S_{x/a}$  = Desvio padrão da média da população de alta produtividade

$X/A$  = Relação de concentração dos nutrientes X e A na amostra.

$K$  = Coeficiente de sensibilidade

Todos esses cálculos foram executados por programa desenvolvido em 2007, pelo professor Sebastião Alberto Oliveira da Universidade de Brasília (UNB), (Programa em fase de registro e dados não publicados).

Em seguida calcula-se o Índice de Balanço Nutricional (IBN), através da soma, em módulo, de todos os índices DRIS obtidos anteriormente, desconsiderando-se o sinal, ou seja, em módulo.

$$IBN = \sum |I_{amostra}|$$

Com este valor do IBN dividido pelo número de nutrientes envolvidos analisados, foi obtido o IBNm:

$$IBNm = IBN / N^{\circ} \text{ de nutrientes}$$

$$N^{\circ} \text{ de relações} = n (n-1)$$

## **b) Interpretação dos índices DRIS:**

A interpretação dos índices DRIS se deu através do Potencial de Resposta à Adubação, conforme metodologia proposta por (WADT, 1996), conforme a Tabela 3.

Foram determinados os níveis de suficiência para macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Fe, Mn e Zn), para amostras foliares usando regressão polinomial do segundo grau, entre os índices DRIS (variáveis independentes) e os teores na folha (variáveis dependentes).

Foram realizados testes de correlação com os índices DRIS dos nutrientes entre si e com as concentrações de nutrientes nas folhas entre si, usando fórmula recomendada por (Gomes, 1990).

TABELA 3. Potencial de Resposta à Adubação de acordo com índices de DRIS, segundo WADT (1996)

Potencial de Resposta à Adubação	+ LD	Índices DRIS	Módulo do Índice DRIS
Positiva (p)	Sim	$< 0$	$> \text{IBNm}$
Positiva ou Nula (pz)	Não	$< 0$	$> \text{IBNm}$
Nula (z)	Indiferente	$\leq 0$	$\leq \text{IBNm}$
+ LE			
Nula (z)	Indiferente	$\geq 0$	$\leq \text{IBNm}$
Negativa ou Nula (nz)	Não	$> 0$	$> \text{IBNm}$
Negativa (n)	Sim	$> 0$	$> \text{IBNm}$

+ LD = mais limitante por deficiência; + LE = mais limitante por excesso.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Diagnose nutricional da cafeicultura de sequeiro

#### 4.1.1. Índices DRIS

Na Tabela 4 são mostrados os índices DRIS e a ordem geral de limitação para as amostras foliares de lavouras comerciais da variedade Catuaí em condições de sequeiro, na região do Alto Paranaíba.

Os índices DRIS (Tabela 4), indicam que os nutrientes mais limitantes em lavouras de sequeiro foram P (18,6%), Fe (15,3%), K e Mn (13,5%), Zn e B (10,2%), Ca (8,5%), S (6,8%), N e Mg (1,7%).

Borges et al. (2001) avaliando a cultura do café em 98 propriedades no Estado de Minas Gerais, região do Alto Paranaíba, constataram que o cafeeiro apresenta problemas nutricionais. Sendo que os nutrientes foliares que estavam abaixo do nível adequado, em 87 propriedades o Mg estava deficiente, em 75 propriedades o P, em 52 o K, em 23 o N, e em 18 para S e todas as 98 propriedades apresentaram o teor de Ca inadequado.

Observa-se que o fósforo (P) é o nutriente mais limitante, em 18,6% das lavouras cafeeiras. O que pode ser ocasionado devido a fixação do fósforo nos óxidos de ferro e alumínio. E também em condições de sequeiro em função da bianualidade da produção do cafeeiro e também com a desvalorização do produto, o que muitas vezes leva os produtores a realizarem uma adubação insatisfatória com o nutriente. Este manejo não deveria ser utilizado pois, a bianualidade do café é em função de em um ano a planta desenvolver os ramos vegetativos e assim ter menor produtividade e no outro ano desenvolver mais os frutos, assim gerando maior produção de grãos. De acordo com Guimarães & Ponte, (1978) o fósforo é importante na fase adulta exerce importante papel na floração, frutificação e maturação dos frutos.

As lavouras cafeeiras do Alto Paranaíba estão sendo cultivadas em solos, que evidenciam baixa fertilidade natural, elevada acidez, altamente intemperizados, tendo na fração argila o predomínio de minerais, como a goetita, gibsitita e a hematita. Estes solos

indicam alta fixação de P, em condições de baixo pH, sendo este efeito um dos motivos da observação deste nutriente como mais limitante em 14% das lavouras cafeeiras amostradas na região do Alto Paranaíba. Outro motivo é o uso de subdosagens de P.

A alta frequência de limitação com que o Mn aparece pode ser justificada pelo baixo fornecimento de Mn pelo solo devido ao baixo conteúdo deste nutriente ou pelo uso de calcário superficial que eleva o pH, insolubilizando-o (REISENAUER, 1988). Quanto ao K, pode haver pouco fornecimento pelo solo, uso de doses insuficientes na adubação, perdas de nutriente por lixiviação devido à menor adsorção quando comparado com o Ca, Mg e Al. Ainda, pode haver um desbalanço no fornecimento desse elemento pelo solo devido à sua relação com Mg, conforme relatam (MARSCHNER, 1997; MALAVOLTA et al., 1997).

Já o ferro não era esperada a sua deficiência uma vez que esse elemento é muito presente no material de origem dos solos da região. Porém ele apresentou-se limitante em 15,3%.

Martinez et al. (2000a) observaram que os nutrientes mais desequilibrados, na região de Patrocínio – MG, foram Zn, Cu e Mn. Segundo estes autores, o Zn esteve em falta em 28% das lavouras de baixa produtividade, não sendo observada limitação por deficiência em lavouras de alta produtividade; enquanto que o Cu foi limitante em 35% das lavouras de baixa produtividade e em 20% das de alta produtividade. Observou-se, ainda, que o Mn foi limitante em 21% das lavouras de baixa produtividade e 13% das lavouras de alta produtividade.

Assim como Martinez et al., (2000a) neste trabalho observou-se um grande desequilíbrio de micronutrientes o que indica a necessidade de retomar as avaliações e aplicações desses elementos. O desequilíbrio observado pode ter sido motivado por em alguns anos fez-se o uso de fontes de baixa disponibilidade em aplicações no solo o que acabaram pela baixa eficiência sendo substituídos por uso de fontes foliares, mas esse manejo quando não realizado corretamente e pelo seu alto custo o que as vezes deixa de serem aplicados, dependendo de condições de preço de café no mercado leva as lavouras a desequilíbrios de micronutrientes, o que tem ocorrido mais nos últimos tempos pela alta extração que já foi realizada nessa região.

TABELA 4. Índices DRIS para amostras de folhas de 59 lavouras cafeeiras em condições de sequeiro, na região do Alto Paranaíba – MG

Nº	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Fe	Mn	Zn	Ordem de limitação
1	9	-9	-26	-17	41	14	-36	2	65	-88	Zn>B>K>Ca>P>Fe>N>S>Mg>Mn
2	21	-74	-83	-15	54	-29	-43	5	77	-83	K=Zn>P>B>S>Ca>Fe>N>Mg>Mn
3	-1	106	64	-107	-10	93	-36	-99	-126	-52	Mn>Ca>Fe>Zn>B>Mg>N>K>S>P
4	-4	27	29	-29	-14	26	4	-22	-42	-20	Mn>Ca>Fe>Zn>Mg>N>B>S>P>K
5	-8	-33	-3	20	-45	112	249	-135	12	445	Fe>Mg>P>N>K>Mn>Ca>S>B>Zn
6	-21	6	-15	9	8	92	144	-91	-41	236	Fe>Mn>N>K>P>Mg>Ca>S>B>Zn
7	28	117	71	-157	-20	106	-76	-121	-121	-146	Ca>Zn>Mn=Fe>B>Mg>N>K>S>P
8	10	501	327	-420	20	380	-5	-405	-566	-238	Mn>Ca>Fe>Zn>B>N>Mg>K>S>P
9	35	164	87	-177	-3	112	-114	-124	-123	-169	Ca>Zn>Fe>Mn>B>Mg>N>K>S>P
10	-1	193	114	-165	6	190	24	-183	-230	-76	Mn>Fe>Ca>Zn>N>Mg>B>K>S>P
11	-7	27	-38	-35	54	34	-74	-1	-7	-130	Zn>B>K>Ca>Mn=N>Fe>P>S>Mg
12	0	85	-9	-89	70	87	-12	-48	-78	-72	Ca>Mn>Zn>Fe>B>K>N>Mg>P>S
13	-7	90	38	-25	-1	1	-153	67	64	-145	B>Zn>Ca>N>Mg>S>K>Mn>Fe>P
14	19	141	46	-179	44	163	-39	-166	-166	-135	Ca>Fe=Mn>Zn>B>N>Mg>K>P>S
15	7	-19	24	11	-24	60	140	-109	-15	200	Fe>Mg>P>Mn>N>Ca>K>S>B>Zn
16	-54	-51	-107	92	83	-53	-44	156	73	-112	Zn>K>N>S>P>B>Mn>Mg>Ca>Fe
17	4	-305	-205	191	4	-172	77	135	302	157	P>K>S>Mg=N>B>Fe>Zn>Ca>Mn
18	8	25	-11	-55	52	27	-27	-36	-42	-80	Zn>Ca>Mn>Fe>B>K>N>P>S>Mg
19	-7	151	77	-136	5	155	-20	-130	-168	-91	Mn>Ca>Fe>Zn>B>N>Mg>K>P>S
20	12	-48	-63	3	33	-6	43	-26	24	71	K>P>Fe>S>Ca>N>Mn>Mg>B>Zn
21	41	-242	-178	153	26	-196	-163	195	557	-37	P>S>K>B>Zn>Mg>N>Ca>Fe>Mn
22	7	164	78	-123	-4	23	-226	-5	-56	-190	B>Zn>Ca>Mn>Fe>Mg>N>S>K>P
23	1	171	104	-104	-17	61	-169	-22	-54	-165	B>Zn>Ca>Mn>Fe>Mg>N>S>K>P
24	-35	-98	-98	86	19	52	182	-31	46	269	P=K>N>Fe>Mg>Mn>S>Ca>B>Zn
25	-29	-30	-46	42	26	38	132	-34	-11	235	K>Fe>P>N>Mn>Mg>S>Ca>B>Zn
26	-18	-112	-110	65	18	46	194	-53	37	279	P>K>Fe>N>Mg>Mn>S>Ca>B>Zn
27	5	-87	-98	18	11	107	254	-160	16	426	Fe>K>P>N>Mg>Mn>Ca>S>B>Zn

TABELA 4. Cont.

Nº	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Fe	Mn	Zn	Ordem de limitação
28	19	100	28	-158	28	124	-4	-167	-186	-78	Mn>Fe>Ca>Zn>B>N>K=Mg>P>S
29	-34	-183	-103	127	-14	-82	72	91	86	34	P>K>S>N>Mg>Zn>B>Mn>Fe>Ca
30	-136	-1957	-1022	844	-200	-557	1489	156	402	1445	P>K>S>Mg>N>Fe>Mn>Ca>Zn>B
31	-42	-3	-39	30	40	91	168	-62	-80	189	Mn>Fe>N>K>P>Ca>Mg>S>B>Zn
32	66	103	64	-139	-35	57	-86	-160	-51	2	Fe>Ca>B>Mn>Mg>Zn>S>K>N>P
33	18	31	-5	-54	31	37	-11	-60	-27	-15	Fe>Ca>Mn>Zn>B>K>N>P=Mg>S
34	-3	-86	-108	50	1	52	199	-94	47	401	K>Fe>P>N>Mg>Mn>Ca>S>B>Zn
35	67	-125	-99	-5	-7	-91	-122	12	267	-39	P>B>K>S>Zn>Mg>Ca>Fe>N>Mn
36	73	42	6	-109	-23	35	-49	-153	-8	46	Fe>Ca>B>Mg>Mn>K>S>P>Zn>N
37	65	-8	-27	-96	-9	13	-53	-118	-2	-28	Fe>Ca>B>Zn>K>Mg>P>Mn>S>N
38	68	15	-33	-94	2	-5	-143	-84	67	-85	B>Ca>Zn>Fe>K>S>Mg>P>Mn>N
39	26	-4	-31	-41	8	12	-69	-38	29	-93	Zn>B>Ca>Fe>K>P>Mg>S>N>Mn
40	-19	-59	-58	43	45	-4	47	39	55	19	P>K>N>S>Zn>Fe>Ca>Mg>B>Mn
41	-10	-106	-65	74	-14	5	140	-21	102	266	P>K>Fe>Mg>N>S>Ca>Mn>B>Zn
42	-10	13	26	-12	-16	86	137	-91	-60	162	Fe>Mn>Mg>Ca>N>P>K>S>B>Zn
43	4	104	63	-104	11	68	-30	-86	-130	-64	Mn>Ca>Fe>Zn>B>N>Mg>K>S>P
44	-29	-28	-56	34	50	20	32	24	2	-17	K>N>P>Zn>Mn>S>Fe>B>Ca>Mg
45	-48	-3	-95	59	88	72	132	-23	-3	250	K>N>Fe>P=Mn>Ca>S>Mg>B>Zn
46	7	64	-71	-68	131	23	-132	2	-8	-186	Zn>B>K>Ca>Mn>Fe>N>S>P>Mg
47	-12	9	-18	-8	10	30	23	0	-10	25	K>N>Mn>Ca>Fe>P>Mg>B>Zn>S
48	-50	-44	-38	79	6	52	168	7	2	206	N>P>K>Mn>Mg>Fe>S>Ca>B>Zn
49	-16	-1	36	23	-38	-32	3	36	-22	-19	Mg>S>Mn>Zn>N>P>B>Ca>K=Fe
50	29	48	33	-61	-1	-18	-57	-42	-45	-45	Ca>B>Mn=Zn>Fe>S>Mg>N>K>P
51	51	95	56	-117	-23	18	-126	-76	-21	-87	B>Ca>Zn>Fe>Mg>Mn>S>N>K>P
52	33	14	32	-52	-36	-29	-66	-14	11	-56	B>Zn>Ca>Mg>S>Fe>Mn>P>K>N
53	-9	-14	9	21	-25	-38	-8	53	24	-1	S>Mg>P>N>B>Zn>K>Ca>Mn>Fe
54	-4	-27	-6	39	-23	-40	12	33	38	46	S>P>Mg>K>N>B>Fe>Mn>Ca>Zn
55	3	-72	-199	52	65	-41	-25	53	79	16	K>P>S>B>N>Zn>Ca>Fe>Mg>Mn

...continua...

TABELA 4. Cont.

Nº	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Fe	Mn	Zn	Ordem de limitação
56	-27	-79	-29	91	-12	-54	75	62	47	100	P>S>K>N>Mg>Mn>Fe>B>Ca>Zn
57	-3	16	34	12	-25	-45	-41	57	30	-35	S>B>Zn>Mg>N>Ca>P>Mn>K>Fe
58	-79	-243	-135	266	-16	-216	51	330	261	67	P>S>K>N>Mg>B>Zn>Mn>Ca>Fe
59	31	-42	-11	30	-29	-119	-94	81	149	4	S>B>P>Mg>K>Zn>Ca>N>Fe>Mn

Ordem geral de limitação: P(18,6%)>Fe(15,3%)>K=Mn (13,5%)>Zn=B(10,2%)>Ca(8,5%)>S(6,8%)>N=Mg(1,7%)

Bataglia et al. (2001), trabalhando na mesma região, observou que no ano de 1999, 8,6% dos talhões apresentavam baixos teores de cálcio; no ano de 2000, além do cálcio, o manganês e magnésio também apresentaram baixos teores.

A limitação pelo enxofre (S) pode ser entendida provavelmente pelo uso preferencial de adubos fosfatados e nitrogenados concentrados, que não contêm o nutriente (S) em sua formulação, e ainda devido à lixiviação do elemento para fora do alcance das raízes. Malavolta (1986) descreve seis causas dos baixos teores de S nas plantas, que são: (1) pobreza dos solos em matéria orgânica combinada com dificuldades de mineralização; (2) pobreza em S nos solos sob cerrado; (3) altas produções com elevadas taxas de exportação do nutriente; (4) lavouras de café distantes de indústrias que lançam este nutriente na atmosfera e que depois são depositados no solo pelas chuvas; (5) uso contínuo de adubos fosfatados e nitrogenados concentrados; e (6) pouca adubação orgânica.

Quanto aos nutrientes (Ca, S, N e Mg), eles aparecem em menores porcentagens como mais limitantes, o que não implica dizer que estão em condições de equilíbrio quando comparados com P, Fe, K, Mn, Zn e B. Isto é apenas a observação da frequência com que cada nutriente apresenta-se como o principal fator limitante da produção.

#### 4.1.2. Níveis de suficiência

Os níveis de suficiência para amostras foliares obtidos de lavouras cafeeiras onde foi observada produtividade maior ou igual a 40 sacas de café beneficiada por hectare são apresentados na Tabela 5.

TABELA 5. Níveis de suficiência estimados através dos índices DRIS para amostras foliares obtidos de 59 lavouras comerciais, variedade catuaí, na região do Alto Paranaíba – MG

Nutriente	Unidades	Alto Paranaíba	Foliar <sup>1</sup>	Foliar <sup>2</sup>
N	g kg <sup>-1</sup>	33,0 – 36,0	31,5	29,0 – 32,0
P	g kg <sup>-1</sup>	1,4 – 1,8	1,7	1,2 - 1,6
K	g kg <sup>-1</sup>	46,0 – 52,0	21,1	18,0 – 22,0
Ca	g kg <sup>-1</sup>	11,0 – 12,0	13,0	10,0 – 13,0
Mg	g kg <sup>-1</sup>	8,0 – 9,0	3,6	3,1 - 4,5
S	g kg <sup>-1</sup>	2,0 – 3,0	2,0	1,5 - 2,0
B	mg kg <sup>-1</sup>	30,0 – 42,0	51,0	40,0 – 80,0
Fe	mg kg <sup>-1</sup>	235,0 – 263,0	99,0	70,0 – 180,0
Mn	mg kg <sup>-1</sup>	158,0 – 240,0	123,0	50,0 – 200,0
Zn	mg kg <sup>-1</sup>	18,0 – 19,0	9,0	10,0 – 20,0

1 – Oliveira; Malavolta (dados não publicados) 2 – CFSEMG – 5ª Aproximação (1999).

Comparando os níveis de suficiência do Alto Paranaíba com os dados observados por Oliveira & Malavolta (dados não publicados) e aqueles relacionados pela CFSEMG (1999), observa-se que os teores de K, Mg, Fe e Mn estão em níveis acima dos considerados adequados, com exceção do B, que apresenta níveis abaixo dos relacionados pelos respectivos autores.

Apesar de estes valores serem estimados a partir de lavouras com produtividade maior ou igual a 40 sacas de café beneficiada por hectare, com manejo mais adequado para o boro (B) pode-se melhorar ainda mais a produtividade dessa cultura. Esse baixo teor estimado pode ser explicado devido à época em que as amostras foram coletadas, pois na fase fenológica de chumbinho, há pouca água disponível para a planta de café, dificultando a absorção do B, uma vez ele é absorvido principalmente por fluxo de massa, e também pela sua imobilidade na planta, não havendo redistribuição dos mesmos.

Em relação aos teores de K, Mg, Fe, Mn na região do alto Paranaíba deve-se incrementar as adubações pois o uso desses elementos irá favorecer a produtividade.

#### 4.1.3. Índice de Balanço Nutricional

Os valores de IBN, IBNm e produtividade para amostras foliares são apresentados na Tabela 6.

TABELA 6. Valores de IBN, IBNm e produtividade para 59 lavouras comerciais da variedade catuaí na região do Alto Paranaíba – MG

Nº	IBN	IBNm	Produtividade (sacas ha <sup>-1</sup> )
1	307	31	20
2	484	48	70
3	694	69	50
4	217	22	50
5	1062	106	51
6	663	66	10
7	963	96	28
8	2872	287	25
9	1108	111	15
10	1182	118	30
11	407	41	55
12	461	46	42
13	591	59	15
14	1098	110	20
15	1707	171	55
			...continua...

Tabela 6 – Cont. Continua...  
Produtividade (sacas ha<sup>-1</sup>)

Nº	IBN	IBNm	Produtividade (sacas ha <sup>-1</sup> )
16	825	83	67
17	1552	155	38
18	363	36	54
19	940	94	25
20	329	33	30
21	1788	179	30
22	916	92	30
23	868	87	21
24	916	92	40
25	623	62	20
26	932	93	25
27	1182	118	35
28	892	89	18
29	826	82	10
30	8208	821	13
31	744	74	40
32	763	76	25
33	289	29	42
34	1041	104	38
35	834	83	22
36	544	54	25
37	419	42	38
38	596	60	50
39	351	35	38
40	388	39	43
41	803	80	50
42	613	61	58
43	664	66	46
44	292	29	28
45	773	77	20
46	692	69	30
47	145	15	10
48	652	65	62
49	226	23	50
50	379	38	50
51	670	67	58
52	343	34	50
53	202	20	50
54	268	27	56
55	605	61	60
56	576	58	44
57	298	30	40
58	1664	166	40
59	590	59	19

De acordo com os dados da Tabela 6, pode-se observar que as lavouras nº 1; 13; 47 e

59 pelo baixo IBNm e baixa produtividade enquadram-se como lavouras com baixa produção em função de fatores não nutricionais. Já as lavouras nº 5 e 58, por exemplo, apresentam um IBNm alto mas produtividades elevadas, o que indica que não há problemas nutricionais, ou seja por apresentarem dados discrepantes pode levar a obtenção de falsos negativos enquanto as lavouras 8; 9; 14 e 30 por exemplo são exemplos de lavouras com deficiências nutricionais.

Costa (2001) e Wadt et al. (1999) trabalhando com a cultura de café arábica, soja e café conilon, respectivamente, obtiveram uma relação entre IBN e produtividade, que se traduz-se assim na ocorrência de um valor de IBN baixo pode-se obter alta ou baixa produtividade; em ambos os casos, a lavoura encontra-se nutricionalmente equilibrada; porém, quando se obtém baixa produtividade, fatores de ordem não nutricional estão afetando a produtividade. Na ocorrência de IBN alto a produtividade é baixa, e isto ocorre devido ao desequilíbrio nutricional da lavoura.

Na Figura 2 foi observado que a maior parte das lavouras apresentou IBN baixo e produtividade baixa e alta, sendo que estas produtividades não se devem a um desequilíbrio nutricional e sim a outros fatores de ordem não nutricional, como: irrigação e manejos inadequados. Enquanto poucas lavouras apresentam IBN alto e produtividade baixa, e isto ocorre devido ao desequilíbrio nutricional da lavoura, conforme a lavoura número 8 com limitação de manganês e a lavoura número 30 com limitação de fósforo. Ao contrário de dados obtidos por (COSTA, 1995), que observou altos valores de IBN em lavouras de alta produtividade. Ou seja, independente da produtividade os valores de IBN concentram-se entre a faixa de 0 a 2000.

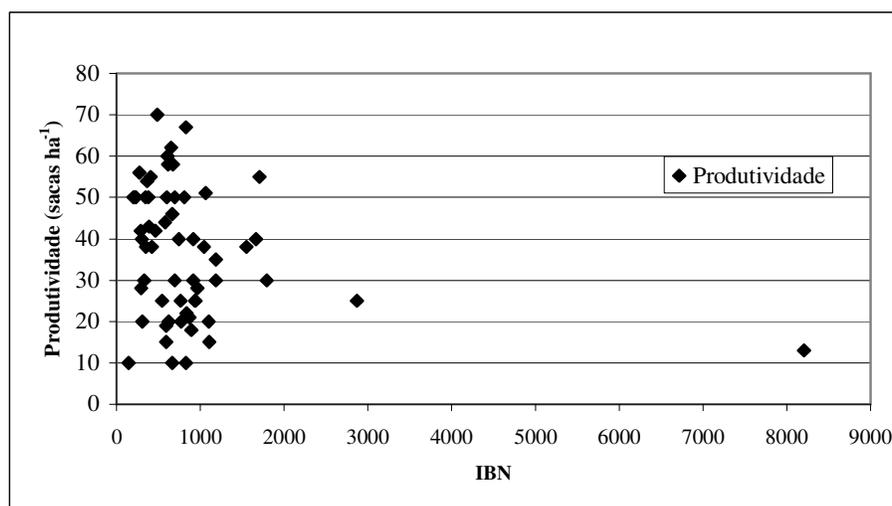


FIGURA 2. Produtividade de 59 lavouras cafeeiras em função do IBN.

#### 4.1.4. Potencial de Resposta à Adubação (PRA)

A porcentagem de lavouras que possuem chances de responder à adubação de determinado nutriente de acordo com os índices DRIS para amostras foliares, encontra-se na Tabela 7. O PRA indica cinco possibilidades de resposta à adubação, que são: positiva, positiva ou nula, nula, negativa ou nula e negativa.

Este método apresenta como ponto de fragilidade o IBNm, que é a média aritmética dos índices DRIS, em módulo de uma amostra. Esta média pode não apresentar o desvio do ótimo sofrido por um nutriente em uma amostra, já que, mesmo desconsiderando o sinal dos índices, a amplitude entre estes valores é grande, tornando o IBNm tendencioso. Através deste método, um índice negativo, indicando deficiência, pode não ser considerado como responsivo à adubação, pois índices, positivos ou negativos maiores em módulo, podem elevar a média (IBNmédio).

De acordo com a Tabela 7, pode-se observar que P foi limitante por deficiência em 18,6 % das lavouras, e obteve resposta favorável à adubação com este nutriente em 23,7 % das lavouras (Tabela 7), somando-se a frequência com que este aparece com resposta positiva e positiva ou nula. Este mesmo fato pode ser observado para o Fe, que apresenta como mais limitante em 15% das lavouras, ou seja, possui menor índice DRIS para este nutriente; porém, o PRA diz que 13,6 % das lavouras terão resposta positiva à adubação com este elemento, acontecendo o mesmo com o K e o Mn.

TABELA 7. Frequência de Resposta à Adubação em porcentagem (%), para amostras foliares de 59 lavouras comerciais, variedade catuaí, na região do Alto Paranaíba – MG

Nutriente	Positiva	Positiva ou nula	Nula	Negativa ou nula	Negativa
N	0	0	94,9	0	5,1
P	18,6	5,1	47,5	8,5	20,3
K	13,6	13,6	64,3	6,8	1,7
Ca	6,8	30,5	45,7	15,3	1,7
Mg	1,7	3,4	77,9	10,2	6,8
S	5,1	10,2	57,6	18,6	8,5
B	16,9	11,9	40,7	28,8	1,7
Fe	13,6	23,7	44,0	10,2	8,5
Mn	13,6	10,2	50,7	11,9	13,6
Zn	8,5	23,7	35,6	3,4	28,8

Contudo, o PRA apontou também a necessidade de adubação com Ca, Zn, B e S em 37,3; 33,2; 28,8 e 15,3 % das lavouras, respectivamente, com resposta positiva ou nula.

Para o N observa-se que as lavouras avaliadas apresentaram taxas numa correta aplicação deste elemento, uma vez que 94,9% das lavouras, encontravam-se com os níveis adequados. Os demais elementos em média, apresentaram 50% de eficiência na adubação, o que corresponde a possibilidades de resposta da adubação nos 50% restante.

#### 4.1.5. Correlação entre Concentrações de Nutrientes Foliare e entre Índices DRIS

As correlações entre concentração dos nutrientes nas amostras foliares e as correlações entre índices DRIS são apresentadas nas Tabelas 8 e 9.

TABELA 8. Correlação entre concentração dos nutrientes nas amostras foliares de 59 lavouras cafeeiras, variedade catuaí, na região do Alto Paranaíba – MG

	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Fe	Mn	Zn
N	1,0	n.s.	n.s.	-0,3	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
P		1,0	0,5	n.s.	n.s.	0,4	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
K			1,0	n.s.						
Ca				1,0	n.s.	n.s.	0,5	0,5	0,3	0,3
Mg					1,0	0,3	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
S						1,0	0,4	n.s.	n.s.	n.s.
B							1,0	n.s.	n.s.	0,6
Fe								1,0	0,3	n.s.
Mn									1,0	n.s.
Zn										1,0

\* significativo a 5% de probabilidade.

Fazendo-se a comparação entre as tabelas, pode-se observar que os coeficientes de correlações entre os índices DRIS (Tabela 9) apresentam maiores valores, significativos a 5% de probabilidade. Com isso, há uma melhor explicação do comportamento de um nutriente frente aos outros envolvidos na obtenção dos índices, como pode ser observado na interação PxK, na qual houve um aumento no coeficiente de correlação de 0,5 para 0,90, quando se usou os índices DRIS. Isto mostra com mais clareza a interação sinérgica entre P e K. Contudo, esse resultado não é o observado por (MALAVOLTA et al., 1997). Estes autores trabalharam apenas com concentração de nutrientes, e relataram esta interação como sendo antagonica. Estes autores ainda relataram como interações sinérgicas NxCa, PxCa e MgxP. Neste trabalho estas interações comportaram-se como antagonicas.

Para o entendimento da interatividade dos nutrientes, (OLSEN, 1972) resumiu em quatro itens as possibilidades de efeito de uma adubação: (i) Interação dos nutrientes no solo, podendo haver competição pelo mesmo sítio de absorção; (ii) diminuição da taxa de translocação das raízes para a parte aérea; (iii) um simples efeito de diluição na concentração de um nutriente em função do maior crescimento promovido pela aplicação de outro nutriente; (iv) um metabolismo celular desordenado devido a um desbalanço entre dois nutrientes. Assim sendo, pode-se observar na Tabela 9 que N, P, K e S produzem efeitos negativos quando correlacionados com micronutrientes, provavelmente devido ao maior efeito na produção de biomassa das plantas, causando a diluição destes nutrientes em relação à condição inicial.

TABELA 9. Correlação entre índices DRIS para amostras foliares de 59 lavouras de cafeeiros, variedade catuaí, na região do Alto Paranaíba – MG

	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Fe	Mn	Zn
N	1,0	0,5	0,5	-0,7	n.s	0,3	-0,7	-0,4	n.s	-0,6
P		1,0	0,9	-0,9	0,6	0,8	-0,9	-0,5	-0,7	-0,8
K			1,0	-0,9	0,4	0,8	-0,8	-0,5	-0,7	-0,8
Ca				1,0	-0,4	-0,9	0,8	0,7	0,8	0,8
Mg					1,0	0,5	-0,5	n.s	n.s	-0,6
S						1,0	-0,5	-0,8	-0,9	-0,5
B							1,0	n.s	0,3	0,9
Fe								1,0	0,8	n.s
Mn									1,0	0,4
Zn										1,0

\* significativo a 5% de probabilidade.

A Tabela 9 dá uma ideia do manejo da adubação, pois com os coeficientes de correlação apresentados pode-se observar as interações entre os nutrientes na planta. Quando se faz uma adubação nitrogenada, deve-se ter atenção para os teores de Ca, B, Fe e Zn devido ao antagonismo existente entre estes nutrientes e o nitrogênio. Por outro lado, o fornecimento de Ca para a cultura irá proporcionar um aumento nos teores dos micronutrientes, devido a interação sinérgica entre estes nutrientes. Porém, há restrições aos aumentos nos teores de N, P e K, devido ao antagonismo entre eles.

A seguir é apresentada a discussão envolvendo correlação entre concentrações e comparadas com as correlações entre índices DRIS.

Desta forma, Foy et al. (1988) observam que o aumento da concentração interna de P pode abaixar a concentração de Mn em alfafa e tabaco. Altas concentrações de P inibiram a

movimentação do Fe na planta (OLSEN, 1972; LUCAS e KNEZEK, 1972), sendo mais acentuado em solos com o pH = 7 ou maior. Olsen (1972) relatou ainda que, com a aplicação de P, a redução do conteúdo de Zn depende do balanço de fatores, como o incremento em produção devido ao nutriente aplicado e da concentração de Zn na copa da planta. Tiffin (1972) relatou que dependendo da relação Ca/P pode haver inibição da absorção e translocação do Fe. Essa relação do P com os micronutrientes catiônicos pode ser observada na Tabela 9, onde os coeficientes de correlação indicam que aumentos nos teores de P contribuem para deficiência de Fe, Mn e Zn, principalmente.

Pode-se observar uma correlação positiva entre Ca e B (Tabela 9); porém, os altos níveis de Ca associados a pH elevado podem induzir a absorção de B (LUCAS e KNEZEK, 1972). Em condições de excesso de B no solo ou substrato, Olsen (1972) relatou que o efeito tóxico deste elemento pode ser reduzido ou prevenido pela aplicação de Ca. Por outro lado, ele relata que a relação K/B tem efeito negativo, ou seja, oposto à correlação Ca/B, o que está de acordo com os resultados da tabela 9.

O Ca, com sua atuação na estabilidade funcional da membrana, acaba por favorecer o incremento dos micronutrientes, mesmo que alguns sofram com a inibição competitiva que o Ca, quando presente, exerce sobre eles (MALAVOLTA et al., 1997). O Ca, em níveis elevados, dificulta a absorção do K, mas em níveis mais baixos favorece a entrada deste elemento na planta (MARSCHNER, 1997; MALAVOLTA et al. 1997).

Apesar de ser observado sinergismo entre Ca/Mn, Moore (1972); Clarkson (1988) relatam grande diminuição na absorção de Mn quando em presença de Ca e Mg, com o incremento na absorção destes. Marschner (1997) relata que quando Ca e K são aplicados ao solo competem efetivamente com Mg, causando uma deficiência induzida. O K foi apontado por Moore (1972) como sendo responsável pela redução na absorção de Mn, o que é confirmado no presente trabalho. Foy et al. (1988) notaram diminuição na concentração de Mn nas folhas e incremento do peso fresco devido à interação com K.

Observa-se que os índices de N, P, K e S causaram efeitos negativos, quando correlacionados com os índices do Fe (Tabela 9). Lucas & Knezek (1972) destacaram como os principais nutrientes que acarretam deficiência de Fe, os altos teores de P, Zn, Mn, Cu e Mo. No presente trabalho, pôde-se observar que o Fe teve uma correlação positiva com o Mn, o que indica que o acúmulo de um está favorecendo o acúmulo do outro pela planta, ou seja, há aqui uma interação sinérgica. Desta forma, os nutrientes observados como responsáveis pelos efeitos negativos sobre o Mn são o P, K e o S. Moore (1972) acrescenta que Na e K também

influenciam na absorção de Mn podendo levar a uma situação de deficiência.

Através do teste de correlação dos índices DRIS para amostras foliares, pôde-se perceber as interações entre os nutrientes de forma mais eficiente do que quando se faz a correlação entre concentração de nutrientes nas folhas.

## **4.2. Diagnose nutricional da cafeicultura irrigada**

### **4.2.1. Índices DRIS**

Na Tabela 10 encontram-se os índices DRIS e a ordem geral de limitação para as amostras foliares.

Os índices DRIS para as amostras foliares (Tabela 10) indicam que os nutrientes mais limitantes nas lavouras foram Mn (27%), K (15%), S (13,5%), B (8%), N e P (11%) Cu, Fe e Zn (4%), Ca (2%). A alta frequência com que o Mn aparece como o mais limitante pode ser justificada pelo baixo fornecimento de Mn pelo solo devido ao baixo conteúdo deste nutriente ou pelo uso de calcário que eleva o pH, insolubilizando-o (REISENAUER, 1988). Quanto ao K, pode haver pouco fornecimento pelo solo, uso de doses insuficientes na adubação, perdas do nutriente por lixiviação devido à menor adsorção quando comparado com o Ca, Mg e Al. Ainda, pode haver um desbalanço no fornecimento desse elemento pelo solo devido à sua relação com Mg, conforme relatam Marchner (1997); Malavolta et al., (1997).

Os baixos teores de S podem ser entendidos com a observação dos baixos teores de matéria orgânica no solo; e, provavelmente, ao uso de adubos fosfatados e nitrogenados que não contêm o nutriente em sua formulação, e ainda devido à lixiviação do elemento para fora do alcance das raízes.

Observa-se que N e P aparecem em 11% das lavouras, apresentando índices DRIS mais limitantes. O que pode ser ocasionado devido à bianualidade da produção do cafeeiro e também com a desvalorização do produto, o que muitas vezes acarreta em uma adubação insatisfatória em P e N. Mas outros fatores podem estar afetando a eficiência de utilização destes nutrientes pelas plantas, como por exemplo a fixação do P nos óxidos de ferro e de alumínio e a lixiviação ou volatilização do N devidos às falhas na aplicação de cobertura nitrogenada.

Martinez et al. (2000a) observaram que os nutrientes mais desequilibrados, na região de Patrocínio – MG, foram Zn, Cu e Mn. Segundo estes autores, o Zn esteve em falta em 28%

das lavouras de baixa produtividade, não sendo observada limitação por deficiência em lavouras de alta produtividade; enquanto que o Cu foi limitante em 35% das lavouras de baixa produtividade e em 20% das de alta produtividade. Observou-se, ainda, que o Mn foi limitante em 21% das lavouras de baixa produtividade e 13% das lavouras de alta produtividade. Bataglia et al., (2001), trabalhando na mesma região, observaram que, no ano de 1999, 86% dos talhões apresentaram baixos teores de Ca; no ano de 2000, além do Ca, o Mg e Mn também mostraram baixos teores.

Quanto aos demais nutrientes, (B, Cu, Fe, Zn, Ca e Mg), eles aparecem em menores porcentagens como mais limitantes, o que não implica dizer que estão em condições de equilíbrio quando comparado com Mn, K, S, N e P. Isto é apenas a observação da frequência com que cada nutriente apresenta-se como o principal fator nutricional limitante da produção.

TABELA 10. Índices DRIS para amostras de folhas de 52 lavouras comerciais de café irrigado da variedade Catuaí, na região do Alto Paranaíba – MG

UA	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Ordem de limitação
01	-22	-31	54	79	-54	-98	-39	-91	99	-6	-14	S>Cu>Mg>B
02	31	137	68	-140	-15	103	-52	-68	-93	-193	-129	Mn>Ca>Zn>Fe
03	-24	80	-48	-50	117	78	35	5	16	-88	-13	Mn>Ca>K>N
04	-229	-196	-220	263	197	260	933	1446	-154	423	1246	N>K>P>Fe
05	-83	-70	-119	132	97	104	371	699	40	118	427	K>N>P>Fe
06	81	-19	-49	-8	-22	-88	-146	-41	96	56	-110	B>Zn>S>K
07	-32	89	-11	-72	91	170	126	218	-11	-194	64	Mn>Fe>Ca>N
08	-234	-182	-244	361	249	213	905	1644	2	333	1180	K>N>P>Fe
09	17	100	68	-116	-32	110	-15	-29	-91	-172	-103	Mn>Ca>Zn>Fe
10	-34	252	98	-153	55	214	15	-10	-117	-357	-106	Mn>Ca>Fe>Zn
11	-18	141	30	-125	64	174	34	-2	-115	-209	-73	Mn>Ca>Fe>Zn
12	134	-273	-208	30	22	-179	-110	56	20	422	49	P>K>S>B>Fe
13	-245	-291	-314	386	236	251	1044	1790	-40	475	1297	K>P>N>Fe
14	30	-43	-37	-18	15	-29	0	50	-19	14	27	P>K>S>Fe
15	37	-19	-24	-55	6	-11	2	39	-15	66	124	Fe>Ca>K>P
16	47	3	-199	-10	244	-42	-155	-85	95	-2	-144	K>B>Zn>Cu
17	-98	-152	-60	155	32	-47	222	205	12	327	469	P>N>K>S
18	-81	283	160	-156	-7	296	115	46	-181	-354	-9	Mn>Fe>Ca
19	-152	-18	-152	167	237	24	224	249	75	171	466	N=K>P>S
20	-272	-172	-189	382	165	246	959	1590	40	315	1113	N>K>P>Fe
21	-146	600	381	-320	-5	516	244	96	-332	-901	-95	Mn>Fe>Ca>N
22	-212	-241	-277	323	204	187	908	1564	-79	483	1294	K>P>N>Fe
23	63	-62	-56	-60	18	-34	-72	-57	-75	55	-19	Fe>B>P>Ca
24	-4	-136	-176	102	87	87	302	738	-29	162	321	K>P>Fe>N
25	0	-497	-331	321	98	-257	171	428	196	667	414	P>K>S>N
26	-157	-198	-174	204	106	125	606	851	-91	425	832	P>K>N>Fe
27	65	-42	-30	-33	1	-71	-91	-38	-17	43	-30	B>S>P>Cu

...continua...

TABELA 10. Cont...

UA	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Ordem de limitação
28	-76	-144	-54	201	26	-100	164	248	131	190	280	P>S>N>K
29	9	-36	16	62	-35	-116	-46	-36	114	50	-1	S>B>P=Cu
30	-22	-18	-67	23	90	46	127	246	-23	34	157	K>Fe>N>P
31	-144	17	21	91	60	57	216	104	-38	91	408	N>Fe>P>K
32	-39	178	101	-110	-15	214	110	118	-146	-248	-23	Mn>Fe>Ca>N
33	-47	-122	-101	224	52	-148	19	142	257	143	111	S>P>K>N>B
34	-154	217	151	-42	-1	338	420	510	-180	-203	365	Mn>Fe>N>Ca
35	104	-82	-112	-54	38	-71	-134	-30	-49	126	-42	B>K>P>S
36	-42	168	96	-100	-1	153	6	-94	-84	-233	-87	Mn>Ca>Cu>Zn
37	-20	23	7	1	14	16	-6	-55	-2	-26	-9	Cu>Mn>N>Zn
38	78	-56	-133	-29	89	-62	-137	-66	77	64	-123	B>K>Zn>Cu
39	31	5	17	-13	13	-93	-105	-124	15	-37	-38	Cu>B>S>Zn
40	52	-42	15	-17	-46	-78	-70	-44	16	33	-33	S>B>Mg>Cu
41	16	-11	-90	8	97	-15	-97	-96	60	0	-114	Zn>B>Cu>K
42	-1	42	-13	-28	31	46	-13	-22	-14	-39	-53	Zn>Mn>Ca>Cu
43	-180	-41	45	119	-1	101	453	417	-107	248	739	N>Fe>P>Mg
44	-157	-82	-6	178	31	131	539	760	-96	180	659	N>Fe>P>K
45	-24	-79	-19	103	-12	-102	34	54	85	121	133	S>P>N>K
46	-72	345	200	-213	-1	331	119	41	-217	-483	-85	Mn>Fe>Ca>Zn
47	69	26	5	-74	-14	-17	-68	27	-53	-17	-15	Ca>B>Fe>S
48	-6	-59	-4	76	-21	-94	-4	16	113	72	53	S>P>Mg>N
49	41	-76	-23	34	-26	-106	-54	6	53	88	4	S>P>B>Mg
50	-89	227	138	-104	1	237	154	81	-136	-320	14	Mn>Fe>Ca>N
51	-14	-113	-204	168	167	-138	-94	-29	281	127	-75	K>S>P>B
52	-6	46	10	-37	0	66	-3	-25	-24	-67	-58	Mn>Zn>Ca>Cu

Ordem geral de Limitação: Mn(27%)>K(15%)>S(13,5%)>B(8%)>Cu=Fe=Zn(4%)>Ca(2%)>Mg(0%)

#### 4.2.2. Níveis de suficiência

Os níveis de suficiência obtidos de lavouras onde se observou produtividade acima de 40 sacas de café beneficiado por hectare, para amostras foliares, são apresentados na Tabela 11.

Comparando-se os níveis de suficiência para amostras foliares (Tabela 16) com os observados por Oliveira; Malavolta (dados não publicados) e aqueles relacionados pela CFSEMG (1999), observa-se que os teores de Ca, Mg e B estão abaixo daqueles sugeridos por estes autores. O B encontra-se mais distante dos valores citados como referência.

Tabela 11. Níveis de suficiência estimados através dos índices DRIS para amostras foliares obtidos de 52 lavouras comerciais, variedade catuaí, na região do Alto Paranaíba – MG

Nutrientes	Unidades	Alto Paranaíba	Foliar <sup>1</sup>	Foliar <sup>2</sup>
N	g kg <sup>-1</sup>	30,1	31,5	29,0-32,0
P	g kg <sup>-1</sup>	1,3	1,7	1,2-1,6
K	g kg <sup>-1</sup>	22,5	21,1	18,0-22,0
Ca	g kg <sup>-1</sup>	7,1	13,0	10,0-13,0
Mg	g kg <sup>-1</sup>	2,5	3,6	3,1-4,5
S	g kg <sup>-1</sup>	2,2	2,0	1,5-2,0
B	mg kg <sup>-1</sup>	28,3	51,0	40-80
Cu	mg kg <sup>-1</sup>	9,0	13,0	8-16
Fe	mg kg <sup>-1</sup>	131,9	99,0	70-180
Mn	mg kg <sup>-1</sup>	103,9	123,0	50-200
Zn	mg kg <sup>-1</sup>	8,2	9,0	10-20

<sup>1</sup>- Oliveira; Malavolta (dados não publicados)

<sup>2</sup>- CFSEMG – 5º Aproximação

Apesar de estes valores serem estimados a partir de lavouras com produtividade acima de 40 sacos de café beneficiado por hectare, com um manejo mais adequado para estes nutrientes (Ca, Mg e B) pode-se melhorar ainda mais a produtividade dessa cultura.

Comparando com as lavouras de sequeiro (Tabela 5) observa-se que os níveis de suficiência são menores para a cafeicultura irrigada. Esse fato deve-se as lavouras submetidas a irrigação terem mais nutrientes disponíveis na solução do solo, uma vez que não encontram-se limitação de água, stress hídrico, o que faz com que sempre haja nutrientes na solução. Outro fato deve-se aos produtores que utilizam-se de irrigação realizarem normalmente adubações mais balanceadas, uma vez que pelo maior

investimento realizado devem ter mais cuidado para manter a fertilidade das plantas equilibradas não limitando a produção.

#### 4.2.3. Índice de Balanço Nutricional

Os valores de IBN, IBNm e produtividade para amostras foliares são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12. Valores de IBN, IBNmédio e produtividade para 52 lavouras comerciais, variedade catuaí, na região do Alto Paranaíba – MG

Unidade amostral	IBN	IBNm	Produtividade (sc.ha <sup>-1</sup> )
01	587	53	5
02	1029	94	10
03	554	50	10
04	5567	506	10
05	2260	205	13
06	716	65	15
07	1178	107	15
08	5547	504	20
09	853	77	20
10	1411	128	20
11	985	89	20
12	1503	136	22
13	6369	579	25
14	282	25	25
15	498	45	25
16	1026	93	25
17	1779	161	25
18	1688	153	28
19	1935	175	28
20	5443	494	30
21	3636	330	30
22	5772	524	38
23	571	51	38
24	2144	194	38
25	3362	305	38
26	3769	342	40
27	461	41	40
28	1614	146	40
29	521	47	40
30	853	77	42
31	1247	113	42
32	1302	118	43
33	1366	124	44

...continua...

Unidade amostral	IBN	IBNm	TABELA 12. Cont... Produtividade (sc.ha <sup>-1</sup> )
34	2581	234	46
35	842	76	50
36	1064	96	50
37	179	16	50
38	914	83	50
39	491	44	50
40	446	40	50
41	604	54	51
42	302	27	54
43	2451	222	55
44	2819	256	55
45	766	69	56
46	2107	161	58
47	385	35	58
48	518	47	60
49	511	46	60
50	1501	136	62
51	1410	128	67
52	342	31	70

Com relação ao IBNm (Tabela 12) pode-se observar que as lavouras 27; 29; 35; 36; 37; 38; 39; 40; 41; 42; 45; 47; 48; 49; 52 por exemplo encontram-se equilibradas nutricionalmente Já as lavouras 1; 2 e 3 tem a produtividade limitada por fatores não nutricionais, uma vezque apresentam IBNm baixo. E as lavouras 4; 5; 8; 7; 10; 12; 13; 20; 21; 22 apresentam deficiência nutricional.

Costa (2001) e Wadt et al. (1999) trabalhando com as culturas café arábica, soja e café conilon, respectivamente, obtiveram uma relação entre IBN e produtividade, que se traduz assim na ocorrência de um valor de IBN baixo pode-se obter alta ou baixa produtividade; em ambos os casos, a lavoura encontra-se nutricionalmente equilibrada; porém, quando se obtém baixa produtividade, fatores de ordem não nutricional estão afetando a produtividade. Na ocorrência de IBN alto a produtividade é baixa, e isto ocorre devido ao desequilíbrio nutricional da lavoura.

Contudo, esta relação entre IBN e produtividade não foi observada no presente trabalho (Figura 3), sendo observado-se, apenas a tendência deste acontecimento com um coeficiente de correlação de -0,24, não significativo a 5% de probabilidade.

Comparando-se com o comportamento do café de sequeiro observa-se uma distribuição diferenciada do ilustrado na figura 3. No café irrigado a amplitude dos valores de IBN estão entre 6.000 enquanto no seuqiero se concentram entre 0 e 2000.

Portanto, é questionável esta relação, uma vez que não é sempre que o relatado acima ocorre (OLIVEIRA, S.A.comunicação pessoal) e conforme observação de Costa (1995), sendo que este autor observou altos valores de IBN em lavouras de alta produtividade e com análise de correlação não-significativa. Como pode ser observado, há valores de IBN altos para produtividades maiores que 40 sacas/ha.

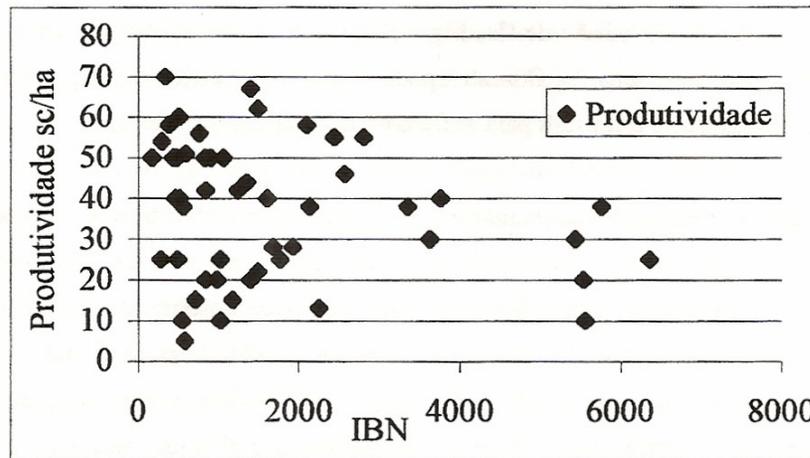


FIGURA 3. Produtividade de 52 lavouras cafeeiras em função do IBN.

#### 4.2.4. Potencial de Resposta à Adubação (PRA)

A porcentagem de lavouras que possuem chances de responder à adubação de determinado nutriente de acordo com os índices DRIS para amostras foliares encontram-se na Tabela 13. O PRA indica cinco possibilidades de resposta à adubação, que são: positiva, positiva ou nula, nula, negativa ou nula e negativa.

Para um nutriente possuir resposta positiva o seu índice DRIS deve ser o mais negativo (ou mais limitante) e maior que o valor de IBNm; e com resposta positiva ou nula deve ter índice DRIS que, mesmo não sendo o mais limitante por deficiência, apresenta valor absoluto maior que o IBNm. Como pode ter havido uma elevação da média, pode haver uma subestimação daquele índice negativo que não é o mais limitante.

Assim, pode-se observar que N foi limitante por deficiência em 11% das lavouras, e obteve resposta favorável à adubação com este nutriente em apenas 4% das lavouras, somando-se a frequência com que este aparece com resposta positiva e

positiva ou nula. Este mesmo fato pode ser observado para o K, que se apresenta como mais limitante em 15% das lavouras, ou seja, possui menor índice DRIS para este nutriente; porém, o PRA diz que apenas 4% das lavouras terão resposta positiva à adubação com este elemento.

TABELA 13. Potencial de Resposta à Adubação em porcentagem (%), para amostras foliares de 52 lavouras comerciais, variedade catuaí, na região do Alto Paranaíba – MG

PRA Foliar	Positiva	Positiva ou nula	Nula	Negativa ou nula	Negativa
N	1,9	1,9	82,7	5,8	7,7
P	5,8	13,5	53,8	15,4	11,5
K	3,8	13,5	70,1	9,6	0,0
Ca	1,9	21,2	61,5	15,4	0,0
Mg	0,0	3,8	80,1	7,7	7,7
S	13,5	11,5	46,1	15,4	13,5
B	7,7	13,5	44,2	51,9	11,5
Cu	3,8	7,7	51,9	11,5	25,0
Fe	3,8	15,4	61,5	7,7	11,5
Mn	25,0	3,8	42,3	21,2	7,7
Zn	3,8	11,5	44,2	26,9	13,5

Contudo, o PRA apontou um maior número de lavouras com resposta positiva à adubação com Mn (25%) e S (13%), que foram os nutrientes que se apresentaram em maior frequência como os mais limitantes na produtividade. Apontou também a necessidade de adubação com Ca, Fe, P, K e B em 21, 15, 14, 14 e 14% das lavouras, respectivamente, com resposta positiva ou nula.

#### 4.2.5. Correlação entre Índices DRIS e entre Concentrações de Nutrientes Foliares

As correlações entre as concentrações de nutrientes nas folhas que geraram os índices DRIS e as correlações entre os índices DRIS para amostras foliares são mostradas nas Tabelas 14 e 15.

Fazendo-se a comparação entre as tabelas, pode-se observar que os coeficientes de correlações entre os índices DRIS apresentam maiores valores, significativos a 5% de probabilidade. Com isso, há uma melhor explicação do comportamento de um nutriente frente aos outros envolvidos na obtenção dos índices, como pode ser observado na interação PxK, na qual houve um aumento no coeficiente de correlação de 0,45 para

0,90, quando se usou os índices DRIS. Isto mostra com mais clareza a interação sinérgica entre P e K. Contudo, este resultado não é o observado por Malavolta et al., (1997). Estes autores trabalharam apenas com concentração de nutrientes, e relataram esta interação como sendo antagônica. Estes autores relataram como interações sinérgicas as relações entre NxCa, PxCa e Mg x P, mas no presente trabalho essas relações foram antagônicas.

TABELA 14. Correlação entre concentrações dos nutrientes nas amostras foliares de cafeeiros do Alto Paranaíba – MG (valores significativos a 5% de probabilidade)

	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
N	1,00	n.s	n.s	-0,3	n.s	n.s	-0,3	n.s	n.s	n.s	n.s
P		1,00	0,5	n.s	n.s	0,6	n.s	n.s	n.s	-0,5	n.s
K			1,00	n.s	-0,4	n.s	0,3	n.s	n.s	n.s	n.s
Ca				1,00	n.s	n.s	0,3	n.s	0,6	0,3	n.s
Mg					1,00	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
S						1,00	0,4	n.s	-0,3	-0,3	n.s
B							1,00	0,6	n.s	n.s	0,6
Cu								1,00	n.s	n.s	0,6
Fe									1,00	n.s	n.s
Mn										1,00	0,3
Zn											1,00

Assim sendo, pode-se observar na Tabela 15 que N, P e K produzem efeitos negativos quando correlacionados com os micronutrientes, provavelmente devido ao maior efeito na produção de biomassa das plantas, causando a diluição destes nutrientes em relação à condição inicial. A Tabela 15 dá uma idéia do manejo da adubação, pois com os coeficientes de correlação apresentados pode-se observar as interações entre os nutrientes na planta. Quando se faz uma adubação nitrogenada, deve-se ter atenção para os teores de Ca, Mg, S, B, Cu e Zn devido ao antagonismo existente entre estes nutrientes e o nitrogênio (MALAVOLTA, 1997). Por outro lado, o fornecimento de Ca e Mg para a cultura irá proporcionar um aumento nos teores dos micronutrientes, devido às interações sinérgicas entre estes nutrientes. Porém, há restrições aos aumentos nos teores de N, P e K, devido ao antagonismo entre eles, sem interferir com os teores de S. Desta forma, Murphy e Walsh (1972); Olsen (1972) observaram que adubações com P reduziram a toxidez de Cu e que, inversamente, em solos com altos teores de Cu houve redução na absorção de P. Lucas e Kenzek (1972) observaram que altos níveis de N e P causam deficiência de Cu e que excessos de Zn acentuam esta carência.

TABELA 15. Correlação entre índices DRIS para amostras foliares de cafeeiros do Alto Paranaíba – MG (valores significativos a 5% de probabilidade)

	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
N	1,00	n.s	n.s	-0,5	-0,5	-0,6	-0,9	-0,8	0,3	n.s	-0,8
P		1,00	0,9	-0,8	-0,4	0,6	-0,3	-0,5	-0,6	-0,9	-0,5
K			1,00	-0,8	-0,7	0,4	-0,4	-0,6	-0,6	-0,9	-0,6
Ca				1,00	0,61	n.s	0,67	0,75	0,51	0,88	0,81
Mg					1,00	n.s	0,58	0,65	n.s	0,47	0,62
S						1,00	0,55	0,42	-0,8	-0,5	0,31
B							1,00	0,97	n.s	0,43	0,96
Cu								1,00	n.s	0,55	0,95
Fe									1,00	0,53	n.s
Mn										1,00	0,65
Zn											1,00

Observa-se que os índices de P, K, S e B causaram efeitos negativos, quando correlacionados com os índices do Fe (Tabela 15). Lucas e Knezek (1972) destacaram como os principais nutrientes que acarretaram deficiência de Fe, os altos teores de P, Zn, Mn, Cu e Mo. Estes autores observaram uma deficiência de Cu em plantas foi observada sob condições de altos teores de P, N ou Zn no solo, exceto o Zn que teve interação positiva. Já a deficiência de Zn está, segundo estes autores, relacionada a altos teores de N e altos teores de P no solo, o que também foi encontrado no presente trabalho. Eles observaram também que a deficiência de Mn é geralmente observada quando Fe, Cu ou Zn apresentam altos teores no solo. Neste trabalho, pode-se observar que os nutrientes Fe, Cu, ou Zn tiveram uma correlação positiva com o Mn, o que indica que a presença de um está favorecendo o acúmulo dos outros pela planta, ou seja, há aqui uma interação sinérgica. Desta forma, os nutrientes observados como responsáveis pelos efeitos negativos sobre o Mn são o N, P, K e S. Moore (1972) acrescenta que Na e K também influenciam na absorção de Mn podendo levar a uma situação de deficiência.

## 5 CONCLUSÕES

- A cafeicultura irrigada mostrou potencial de resposta à adubação diferente da cafeicultura de sequeiro, sendo o Mn (25%) e o S (13%) os que apresentaram como mais limitantes da produtividade.

- O DRIS apontou os principais nutrientes limitantes da produtividade do café de sequeiro, na região do Alto Paranaíba – MG, os quais foram: P (18,6%), Fe (15,3%), K=Mn (13,5%) e Zn=B (10,2%) nas amostras foliares.

- As correlações entre os índices DRIS permitiram visualizar o antagonismo e o sinergismo entre os nutrientes, observando que as correlações N(P, K e S), P(K, Mg e S) e K(Mg e S) foram sinérgicas e as correlações N(Ca, B, Fe e Zn), P(Ca, B, Fe e Zn) e K(Ca, B, Fe e Zn) foram antagonicas.

- Os nutrientes que mostraram maior probabilidade de resposta positiva à sua aplicação em ordem decrescente foram:  $S > P = Zn > K = Mg = Ca$ .

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, V. V.H.; LEITE, R. de A. Fundamentos estatísticos das formulas usadas para cálculo dos índices DRIS. **Boletim informativo**, SBCS , Viçosa, v.24, n.1, p. 20-25, jan./mar. 1999.
- BALDOCK, J.O.; SCHULTE, E.E Plant analysis with standardized scores combines DRIS and sufficiency range approaches for corn. **Agronomy Journal**, v.88, n.3, p. 448-456. 1996.
- BATAGLIA, O.C.; SANTOS, W.R. dos; QUAGGIO, J.A. Monitoramento Nutricional de cafezais usando o critério de faixas de suficiência e o DRIS. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2001, Vitória. **Resumos...** Brasília: Embrapa Café, 2001. p. 172-173.
- BATAGLIA, O.C.; DECHEN, A.R.; SANTOS, W.R. dos; Princípio da diagnose foliar. In: ALVAREZ, V., V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES; M.P.F. (Eds.) **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCS; UFV. 1996. p. 647-660.
- BATAGLIA, O.C.; SANTOS, W.R. dos. Efeito do procedimento de cálculo e da população de referência nos índices do sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas. N. 14, p. 339-344, 1990.
- BATAGLIA, O.C.; DECHEN, A.R. Critérios alternativos para diagnose foliar. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 1, 1986, Piracicaba. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1986. p. 115-136.
- BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. **Métodos de análises químicas de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48p. (Boletim, 78)
- BEAUFILS, E.R. **Diagnosis and recommendation integrated sistem (DRIS). A general scheme of experimentation and calibration base on principles developed from research in plant nutrition**. South Africa: University of Natal, Pietermaritzburg, 1973, 132p. (Soil Science Bulletin, 1).
- BEAUFILS, E.R. Physiological diagnosis – a guide for improving maize production based on principlese developed for rubber tress. **Fertilezer Society of South African Journal**, v.1, p. 1-30. 1971.
- BORGES, I.B.; LANA, R.M.Q.; BORGES, E.N. Interacao entre atributos químicos e físicos em solos de Cerrado cultivados com cafeicultura no Alto Paranaíba - MG (Resultados preliminares). In: **SIMPOSIO de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 2. Vitória (Brasil), Septiembre 24-27, 2001...** Vitória (Brasil), Ministerio da Agricultura e do Abastecimento - EMBRAPA, 2001..6 p

COMISSÃO DE FERTILIDADE DE SOLOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação.** Viçosa, 1999. 359p.

CLARKSON, D.T. The uptake and translocation of manganese by plant roots. In: GRAHAN, R.D.; HANNAN, R.J.; UREN, N.C. (Eds.) **Manganese in soil and plants.** Dordrecht: Kluwer Academic, 1988. p. 101-111.

COSTA, A. N. da. Método de interpretação e diagnose foliar em café. In: ZAMBOLIM, L. (Ed) **Tecnologias de produção de café com qualidade.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Fitopatologia, 2001. p. 617-646.

COSTA, A. N. da. **Uso do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS), na avaliação do estado nutricional do Mamoeiro (*Carica papaya* L.) no estado do Espírito Santo.** 1995. 94 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

EWALI, A. M. O.; GASCHO, G. J. Soil testing, foliar analysis, and DRIS as guide for sugarcane fertilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 80, n. 3, p. 466-470. 1984.

FOY, C.D.; SCOTT, B.J.; FISHER, J.A. Genetics and breeding of plants tolerant of manganese toxicity. In: GRAHAN, R.D.; HANNAN, R.J.; UREN, N.C. (Eds.) **Manganese in soil and plants.** Dordrecht: Kluwer Academic. 1988. p. 293-307.

GUIMARÃES, P.T.G.; PONTE, A.M. Adubação do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.4, n.44, p.20-36, 1978.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental.** 13. ed. Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1990. 467 p.

JONES, C.A. Proposed modifications of the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for interpreting plant analysis. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 12, n. 8, p. 785-794, 1981.

LEITE, R. de A. **Avaliação do estado nutricional do cafeeiro Conilon no estado do Espírito Santo, utilizando diferentes métodos de interpretação de análise foliar.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993. 87f. 1993.

LUCAS, R.E; KNEZEK, B.D. Climatic and soil conditions promoting micronutrients in plants. In: MOTVERDT, J.J.; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L. (Eds.) **Micronutrients in agriculture.** Madison, Soil Science Society of America, 1972. p. 265-288.

MACEDO, J. **Os cerrados nos ambientes savânicos do Brasil.** In: VENEGAS, V.H.A.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F.O. O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa: SBCS/ UFV/ DPS, 1996. p. 135-155

MALAVOLTA, E; VITTI, G.C; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFÓS. 1997. 319p.

MALAVOLTA, E. Efeitos de doses e fontes de enxofre em culturas de interesse econômico . IV – Café. São Paulo: Centro de Pesquisa e Promoção do Sulfato de Amônio, 1986. 41p. (Boletim Técnico, 4).

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2<sup>nd</sup> Ed. Academic Press. 1997. 889p.

MARTINEZ, H. E. P.; SOUZA, R. B.; ALVAREZ V. V. H.; MENEZES, J. F. S.; OLIVEIRA, J. A. de; ALVARENGA, A. de P.; GUIMARÃES, P. T. G. **Nutrição mineral, fertilidade do solo e produtividade do cafeeiro nas regiões de Manhuaçu e Patrocínio**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2000a. 35 p. (Boletim Técnico, 59).

MARTINEZ, H. E. P.; SOUZA, R. B.; ALVAREZ V. V. H.; MENEZES, J. F. S.; OLIVEIRA, J. A. de; ALVARENGA, A. de P.; GUIMARÃES, P. T. G.; FONTES, P.C.R. Avaliação da fertilidade do solo, padrões nutricionais para diagnose foliar e potencial de resposta á adubação de lavouras cafeeiras de Minas Gerais. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Café: produtividade, qualidade e sustentabilidade**. Viçosa, Departamento de Fitopatologia, 2000. p.209-238. 2000b.

MARTINEZ, H.E.P.; CARVALHO, J.G.de; SOUZA, R.B. de. Diagnose foliar. In: Comissão de Fertilidade do Solo de Minas Gerais. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação**. Viçosa. 1999. P. 143 – 168.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (BRASIL). **Fundo de defesa da economia brasileira: Funcafé 2008**: relatório de atividades. Brasília. 2009. 100p. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 16 set. 2009.

MOORE, D.P. Mechanisms of micronutrient uptake by plants. In: MOTVERDT, J.J., GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L. (Eds.) **Micronutrients in Agriculture**. Madison: Soil Science Society of America. 1972. p. 171-198.

MURPHY, L.S.; WALSH, L.M. Fertilizer applications for correcting micronutrient deficiencies. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L. **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science of America. 1972.

NICK, J.A. **DRIS para cafeeiros podados**. 1998. 87p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

OLIVEIRA, S.A.; SOUSA, D.M.G. Uso do DRIS Modificado na interpretação de análise de solo para soja no leste de Mato Grosso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 1993, Goiânia. **Resumos...** Goiânia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. v. 1 p.83-84.

- OLIVEIRA, S.A. de. Avaliação do balanço no sistema solo-planta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 1993, Goiânia. **Resumos...** Goiânia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1993. v. 1 p.43-44.
- OLSEN, S. R. Micronutrientes Interactions. In: MOTVERDT, J.J., GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L. (Eds.) **Micronutrients in Agriculture**. Madison: Soil Science Society of America. 1972. p. 243-264.
- PREZOTTI, L.C. Fertilização do Cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. (Ed) **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Fitopatologia, 2001. p. 607-615.
- REISENAUER, H.M. Determination of plant-available soil manganese. In: GRAHAN, R.D.; HANNAN, R.J.; UREN, N.C. (Eds.) **Manganese in soil and plants**. Dordrecht: Kluwer Academic. 1988. p. 87-98.
- RENA, A.B.; FÁVARO, J.R.A. Nutrição do cafeeiro via foliar. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.) **Café: produtividade, qualidade e sustentabilidade**. Viçosa, Departamento de Fitopatologia, 2000. p. 149-208.
- RENA, A.B.; MAESTRI, M. Ecofisiologia do cafeeiro. In: **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e Fósforo, 1987. p.119-147.
- SANTOS, W.R. **Métodos diagnósticos do equilíbrio nutricional dos macronutrientes em citros**. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba. 1997. 56f.
- SUMNER, M.E. Use of the DRIS system in foliar diagnosis of crops at high yield level. *Communications in soil science and plant analysis*, New York, v. 8, p. 269-280. 1977.
- TIFFIN, L.O. Translocation of micronutrients in plants. In: MOTVERDT, J.J., GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L. (Eds.) **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America. 1972. p. 199-229.
- VAN RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres/Potafós, 1991. 343p.
- WADT, P. G. S. **Loucos em terras de doidos**. Viçosa: SBCS. v.24, n.1, p. 15-19. 1999. (Boletim Informativo)
- WADT, P. G. S.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BRAGANÇA, S. M. Alternativas do “DRIS” à cultura de café Conilon (*Coffea canephora* Pierre). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 1, p. 83-92, jan/mar, 1999.
- WADT, P. G. S. **Os métodos da chance matemática e do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) na avaliação nutricional de plantios de eucaliptos**. 1996. 123 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

WEILL, M.A.M. **Avaliação de fatores edafoclimáticos e do manejo na produção de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) na região de Marília e Garça, SP.** Piracicaba: USP, 1990. 182 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 1990.

ZAMBELLO JÚNIOR, E. **Aplicação do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação para diferentes épocas de amostragem foliar em soqueiras de cana-se açúcar (*Saccharum spp*).** Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1979. 95f.

ZAMBELLO JÚNIOR, E.; ORLANDO FILHO, J. Aplicação do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) em soqueiras de 3 variedades de cana-se açúcar. **Stab**, Piracicaba, n.3, p. 23-28. 1979.