

LETÍCIA PASTORE MENDONÇA

**CURVAS DE RESPOSTA POTENCIAL E FAIXAS DE SUFICIÊNCIA  
NUTRICIONAL PARA CAFÉ ARÁBICA EM MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de Magister Scientiae.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS-BRASIL  
2016

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

M539c  
2016 Mendonça, Leticia Pastore, 1989-  
Curvas de resposta potencial e faixas de suficiênciã  
nutricional para café arábica em Minas Gerais / Leticia Pastore  
Mendonça. – Viçosa, MG, 2016.  
ix, 56f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Júlio César Lima Neves.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Referências bibliográficas: f.48-56.

1. Café - Análise. 2. Análise foliar. 3. Planta - Nutrição.  
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Fitotecnia.  
Programa de Pós-graduação em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 633.73

LETÍCIA PASTORE MENDONÇA

**CURVAS DE RESPOSTA POTENCIAL E FAIXAS DE SUFICIÊNCIA  
NUTRICIONAL PARA CAFÉ ARÁBICA EM MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiarum*.

APROVADA: 18 de julho de 2016.



---

Gerival Vieira



---

Yonara Poltronieri Neves



---

Victor Hugo Alvarez V.



---

Júlio César Lima Neves  
(Orientador)

***“A querida Mãe Nossa Senhora Aparecida que foi luz quando tudo parecia tão escuro. Mostrou-me que diante de todas as dificuldades eu seria capaz, e que não existe limites para sonhar.”***

***“A minha família a quem devo tudo o que sou.”***

***“Ao Josimar, pela amizade e amor.”***

**Dedico**

## AGRADECIMENTOS

A Deus e a Nossa Senhora Aparecida essenciais em minha vida, fonte extrema de luz, fé e amor incondicional.

Aos meus pais por todos os esforços para que eu me tornasse uma pessoa forte, e que não desistisse dos meus sonhos. Minha eterna gratidão por toda compreensão, carinho e incentivo.

A minha irmã Liliane que no momento onde mais fraquejei me mostrou que eu era capaz.

Aos meus tios e primos pelo incentivo e apoio.

Em especial aos meus amados sobrinhos Kaio, Daniel e Lorena pela alegria que me proporcionam;

Ao Josimar que de forma especial e carinhosa, torna-se cada vez mais presente e essencial na minha vida.

Ao Instituto Federal do Espírito Santo (Antiga Escola Agrotécnica Federal de Alegre) onde todo o sonho começou.

À querida Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, por ter sido fundamental na minha formação como profissional e como cidadã.

Ao professor Roberto Oscar Pereyra Rossiello que foi o meu primeiro orientador de Iniciação Científica. Seus ensinamentos foram de extrema importância para que eu chegasse até aqui.

Ao professor Ricardo Luiz Louro Berbara por todo apoio, incentivo e amizade.

Aos professores da Universidade de Vigo Juan Carlos Muñoz, José Eugênio López Periago e Monserrat Bernárdez Míguez por todos os ensinamentos durante o meu intercâmbio. A Paula Perez, Izabel Rodríguez e Fabiano que foram companheiros de laboratório, que fizeram meus dias de trabalho mais alegres e descontraídos.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia pela oportunidade de realização do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Júlio César Lima Neves, por ter sido um excepcional orientador, por toda compreensão, paciência e amizade durante esses dois anos. Um exemplo de profissional exemplar dedicado e comprometido, muito obrigada.

À professora Hermínia pelo auxílio imprescindível na elaboração do trabalho.

À Dr. Yonara Poltronieri Neves, e aos professores Víctor Hugo Alvarez V e Gerival Vieira, por aceitarem participar da minha banca examinadora de defesa.

A todos os professores que de forma direta e indireta contribuíram para o meu enriquecimento de conhecimento nas diversas disciplinas que fiz.

Aos meus amigos e amigas sempre presentes: Welliton, Janaína, Josimar, Mayara, Fabiano, Fabíola, Wiane, Rangel, Bruna.

Enfim, a todos aqueles que, de alguma forma, auxiliaram na realização deste trabalho, o meu reconhecimento e gratidão.

## **BIOGRAFIA**

LETÍCIA PASTORE MENDONÇA, filha de Adalto Fonseca de Mendonça e Vilma Pastore Mendonça, natural de Muniz Freire, Espírito Santo, nasceu no dia 02 de Janeiro de 1989.

Em fevereiro de 2004, iniciou o curso de Técnico Agrícola pela Escola Agrotécnica Federal de Alegre, atual Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Alegre.

Em agosto de 2009, ingressou no curso de Agronomia pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, onde graduou-se em julho de 2014. No período de agosto de 2012 a junho de 2013 cursou graduação Sanduíche na Universidade de Vigo – Espanha. Durante a graduação foi bolsista de Iniciação Científica por três anos no Departamento de Solos da UFRRJ.

Em agosto de 2014, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se a defesa em julho de 2016.

## RESUMO

MENDONÇA, Letícia Pastore, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2016. **Curvas de resposta potencial e faixas de suficiência nutricional para café arábica em Minas Gerais.** Orientador: Júlio César Lima Neves.

O estado de Minas Gerais é o maior produtor de café arábica do país. Grande parte das lavouras do estado apresenta baixas produtividades devido ao inadequado manejo nutricional. A avaliação do estado nutricional, com base na diagnose foliar, é uma estratégia capaz de subsidiar o manejo nutricional dessas lavouras. Dentre os métodos usados para a interpretação dessas análises, o método proposto por Kenworthy, avalia o grau de balanço nutricional, que apresenta acepção quantitativa, considerando os nutrientes de forma individual além de incorporar a variabilidade do teor na população de referência. O balanço nutricional pode ser entendido como o grau de saciedade da “fome” da planta em relação ao nutriente. Já o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) proposto por Beaufils, avalia o grau de equilíbrio, por meio das relações duais entre nutrientes, o equilíbrio pode ser entendido como a “qualidade da dieta”. Os objetivos desse trabalho foram: 1) Obter curvas de resposta potencial (CRP) da cultura do café arábica em Minas Gerais com índices Kenworthy e DRIS, que expressam o estado nutricional quanto ao grau de balanço e de equilíbrio, respectivamente; 2) Propor faixas de suficiência quanto ao grau de balanço e de equilíbrio para a cultura do café arábica em Minas Gerais com base na técnica da linha de fronteira; 3) Diagnosticar o estado nutricional de lavouras de café arábica de Minas Gerais com base nas faixas de suficiência obtidas. Para tanto, foi utilizado um banco de dados contendo informações referentes aos teores totais foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Zn, Mn e B e produtividade, de três regiões representativas quanto a produção de café arábica no estado de Minas Gerais. Para compor a população de referência, foram consideradas todas as lavouras que apresentavam produtividade relativa superior a 44,03 %, sendo esta a produtividade relativa média das lavouras do ano de alta produtividade. As normas nutricionais foram obtidas dessa população de referência. A seguir com o auxílio do Nutri – Café Arábica, parametrizado com as normas obtidas no presente trabalho, foi realizada a diagnose do estado nutricional das 257 lavouras, pelos métodos Kenworthy e DRIS. Posteriormente, foram confeccionados gráficos de dispersão relacionando a produtividade relativa dos anos de alta produtividade, com os respectivos índices balanceados de Kenworthy e com os índices DRIS, estabelecendo-se

para cada gráfico a linha de fronteira superior (LFS). Com base na LFS de cada relacionamento, equações foram ajustadas selecionando os pares de pontos que melhor se ajustou aos dados. Por meio da abordagem da LFS foram obtidas curvas de resposta potencial CRP para a cultura do café arábica em Minas Gerais, que expressem o estado nutricional quanto ao grau de balanço e de equilíbrio, respectivamente. Com base nas CRP foram obtidas faixas de suficiência quanto ao grau de balanço e de equilíbrio nutricional, para N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Zn, Mn e B. O emprego LFS permitiu à obtenção de faixas de suficiência com maior aplicabilidade dos aspectos biológicos. O uso das faixas de suficiência obtidas no presente trabalho permitiu avaliar o estado nutricional das lavouras. O uso do método da linha de fronteira permitiu determinar o grau de limitação à produtividade, em função do grau de balanço e de equilíbrio nutricional de cada nutriente, isolando os efeitos de fatores não nutricionais.



## ABSTRACT

MENDONÇA, Letícia Pastore, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2016. **Potential response curves and nutritional sufficiency ranges for arabica coffee in Minas Gerais.** Adviser: Júlio César Lima Neves.

The state of Minas Gerais is the largest Arabica coffee producer in the country. Much of the state's crop has low productivity due to inadequate nutritional management. The assessment of nutritional status, based on leaf analysis is a strategy to support the nutritional management of these crops. Among the methods used for the interpretation of these analyzes, the method proposed by Kenworthy, assesses the degree of nutritional balance, which shows quantitative purposes, whereas the nutrients individually and incorporate variability of content in the reference population. The nutritional balance can be understood as the degree of fullness of the "hunger" of the plant in relation to nutrient. Already the Integrated Diagnosis and Recommendation (DRIS) proposed by Beaufils, assesses the degree of equilibrium, through the dual relationships between nutrients, the equilibrium can be understood as the "quality of the diet." The objectives of this study were: 1) Get potential response curves CRP of Arabica coffee crop in Minas Gerais with indexes Kenworthy and DRIS, expressing the nutritional status in the degree of balance and equilibrium, respectively; 2) Propose sufficiency tracks the degree of balance and equilibrium for arabica coffee crop in Minas Gerais based on the boundary line technique; 3) Diagnosing the nutritional status of Arabica coffee plantations in Minas Gerais based on obtained sufficiency ranges. Thus, a database was used containing information regarding the leaf total N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Zn, Mn and B and productivity, three representative regions as coffee production arabica in the state of Minas Gerais. To compose the reference population, they were considered all crops presenting higher relative productivity to 44.03%, which is the average relative productivity of the high productivity of the crop year. Nutritional standards were obtained this reference population. Then with the help of Nutri - Arabica Coffee, parameterized with standards obtained in this study, the diagnosis was made of the nutritional status of 257 crops, by Kenworthy and DRIS methods. Later, they were made scatter plots relating the relative productivity in the years of high productivity, with their balanced levels of Kenworthy and the DRIS indices, establishing for each the upper boundary line chart (LFS). Based on the LFS each relationship equations were adjusted by selecting the pairs of points that best fit the data. Through the LFS approach

potential response curves were obtained (CRP) for Arabica coffee crop in Minas Gerais, which express the nutritional status in the degree of balance and equilibrium, respectively. Based on the CRP were obtained sufficiency ranges for the degree of balance and nutritional equilibrium for N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Zn, Mn and B. The use LFS allowed to obtain track sufficiency with greater applicability of biological aspects. The use of sufficiency ranges obtained in this study allowed us to evaluate the nutritional status of crops. The use of the boundary line method allowed us to determine the degree of limitation on productivity, depending on the degree of balance and nutritional equilibrium of each nutrient, isolating the effects of non-nutritional factors.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Aspectos nutricionais do café arábica .....	5
2.2 Diagnose nutricional com base na análise de tecidos.....	8
2.3 Índices Balanceados de Kenworthy (IBKW) .....	9
2.4 Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) .....	10
2.5 Método da Linha de Fronteira (LF).....	12
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>14</b>
3.1 Caracterização do banco de dados.....	14
3.2 Análise dos dados .....	15
3.3 Diagnóstico do estado nutricional em lavouras de café arábica de Minas Gerais....	19
3.4 Utilização das CRPBNE e CRPENE para relacionar a produtividade com fatores nutricionais e não nutricionais.....	19
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>21</b>
4.1 Normas para uso na avaliação do grau de balanço e de equilíbrio em lavouras de café arábica de Minas Gerais.....	21
4.2 Método da Linha de Fronteira na determinação de faixas de suficiência para uso dos métodos Kenworthy e DRIS.....	24
4.3 Diagnóstico nutricional em lavouras de café arábica do estado de Minas Gerais com base nos novos valores de referência.....	31
4.4 Diagnóstico nutricional em lavouras de café arábica do estado de Minas Gerais quanto à bienalidade da produção, com base nos novos valores de referência. ....	36
4.5 Utilização da curva de resposta potencial e a análise foliar para relacionar a produtividade com fatores nutricionais e não nutricionais.....	42
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>47</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>48</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O cafeeiro (*Coffea arábica* L.) é uma das commodities mais comercializadas no mundo, sendo o Brasil o maior produtor e exportador mundial (MAPA, 2015). No ano de 2015 a produção nacional de café arábica beneficiado foi de 43,2 Msc de 60 kg beneficiado e produtividade média de 22,5 sc/ha (MAPA, 2015). Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) a estimativa de safra da produção nacional de café arábica beneficiado para o ano de 2016 foi de 50,5 Msc e produtividade média de 25,5 sc/ha.

O maior produtor de café do Brasil é o estado de Minas Gerais, responsável por aproximadamente 50% da produção brasileira, com uma área cultivada de aproximadamente 1 Mha e uma produção de 22,30 Msc de 60 kg beneficiadas (MAPA, 2015). A cafeicultura protagonizou grande parte da história de Minas Gerais, que apresenta condições edáficas, desde que corrigidas as limitações relacionadas à baixa fertilidade, e de clima favoráveis ao bom desenvolvimento da cultura. Ao longo dos anos a atividade passou a ter importância não só econômica como também tem se destacado pela sua relevância social, uma vez que gera grande número de empregos nos vários segmentos da cadeia produtiva, promovendo o desenvolvimento local.

O estado de Minas Gerais com a quarta maior área territorial do país apresenta diferentes áreas produtoras da cultura. O Sul de Minas é a região onde se encontra aproximadamente 50 % da área produtora do estado com uma produtividade média de 23 sc/ha, tendo um mercado voltado ao cooperativismo buscando mercados diferenciados resultando na garantia de qualidade. A região da Zona da Mata juntamente com a região central e norte representam 33 % da área em produção do estado com uma produtividade média de 23 sc/ha, região com predomínio de uma agricultura familiar e de pequena escala. A região de Alto Paranaíba, Triângulo Mineiro e Noroeste representam 16 % da área produtora do estado com uma produtividade de 25 sc/ha, que se encontra em grande expansão tendo como característica o emprego de alta tecnologia (RUFINO; SILVA, 2015; MAPA, 2015).

As diferentes regiões produtoras apresentam lavouras com baixas produtividades devido a fatores genéticos, climáticos, edáficos e de manejo, que influenciam o pleno desenvolvimento e a máxima produção da cultura. Dentre os fatores, o manejo inadequado da fertilidade do solo é um dos principais causadores da baixa

produtividade no país (GUIMARÃES; REIS, 2010). Pesquisas mostram que quando as condições químicas dos solos são adequadas, a cultura pode expressar alto potencial produtivo (MATIELLO et al., 2010).

O aumento da eficiência nutricional nas lavouras cafeeiras pode ter grande impacto sobre a produtividade e seus custos de produção (AMARAL et al., 2011). Para isso, há a necessidade de conhecer a disponibilidade dos nutrientes e o estado nutricional das plantas usando técnicas diagnósticas, como a análise química do solo e a análise química do tecido, que são de grande valia na identificação de deficiências, toxidez e desequilíbrios nutricionais, (MENDAL-JOHNSEN; SUMMER, 1980) isso porque, a ocorrência desses eventos pode levar as plantas a desencadear distintos ajustes que envolvem gastos energéticos, refletindo na redução do crescimento e consequentemente da produtividade (MARTINEZ; NEVES, 2015).

Embora a análise química do solo seja bastante difundida ela não permite avaliar se os nutrientes presentes no solo estarão em forma efetiva para ser assimilados pelas plantas (NOVAIS et al., 2007), nas condições de cultivo. Deste modo, a análise química do tecido complementa e auxilia na obtenção de valores críticos fornecendo informações mais acuradas sobre o estado e equilíbrio nutricional (PREZOTTI et al., 2007; FERNANDES, 2010), subsidiando o uso racional de insumos, contribuindo para o aumento e manutenção da produtividade.

Segundo Evenhuis & Waar (1980) o uso da análise química do tecido baseia-se na premissa de que existe uma correlação positiva entre o suprimento do nutriente e sua concentração na planta, e que variações nessas concentrações se relacionam com variações na produtividade, ou seja, existe uma relação entre o estado nutricional e a desempenho da planta (MILLS; JONES JR, 1996; LEECE; van den ENDE, 1975).

Entretanto, apesar da nutrição ser um fator de produção importante para a obtenção de alta produtividade, vários outros fatores de produção também tem interferência no desempenho das culturas, podendo estes ser de natureza nutricional ou não (GALDINO, 2015).

Para o cafeeiro a folha é o órgão mais utilizado nas análises de tecido, por ser fisiologicamente mais ativas, refletindo bem o estado nutricional da planta (MARSCHNER, 1995; CANTARUTTI et al., 2007).

Na literatura existem vários métodos disponíveis para a interpretação de resultados de análise foliar, tais como: nível crítico e faixa de suficiência (ULRICH, 1948; MARSCHNER, 1995), fertigramas (ALVAREZ, V., 1962), os índices

balanceados de Kenworthy (KENWORTHY, 1961) e Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) proposto por Beaufils (1973).

Dentre os métodos citados o método dos Índices balanceados de Kenworthy (KENWORTHY, 1961), é um método de diagnose nutricional que permite avaliar o grau de balanço nutricional de cada nutriente em análise na amostra em relação a norma. Os índices balanceados são gerados da percentagem de desvio da concentração de dado nutriente em relação à norma (teor do nutriente na população de referência), incorporando a variabilidade do teor do nutriente da população geradora da norma (BORGES, 2012). Segundo Neves et al. (2008) o balanço nutricional tem um caráter quantitativo e pode ser entendido como o grau de saciedade da “fome” da planta em relação a um determinado nutriente.

O Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS), proposto por Beaufils (1973) é um método que se baseia no cálculo de um índice para cada nutriente, considerando as relações duais. Nesse caso é feita comparações entre cada relacionamento e a norma preestabelecida a partir de uma população de referência. Segundo Neves et al. (2008) o equilíbrio nutricional de uma cultura pode ser entendido como a “qualidade da dieta”, tendo assim uma aceção qualitativa.

Os métodos Kenworthy e DRIS utilizados em conjunto constituem uma ferramenta capaz de avaliar de modo eficiente o estado nutricional das lavouras. O uso dos métodos de modo isolado apresenta certas limitações, pois lavouras podem estar com os nutrientes equilibrados entre si, mas em baixos teores. Do ponto de vista nutricional, o máximo potencial produtivo pode ser alcançado por uma cultura quando esta se encontra bem ajustada quanto ao balanço e ao equilíbrio.

Por esses métodos é possível obter os limites de faixas de suficiência relacionados às classes de estado nutricional, seja quanto ao grau de balanço ou de equilíbrio com uma abordagem meramente estatística. Entretanto, tal fato sugere desenvolver e empregar um método alternativo que possibilite um maior significado biológico, objetivando obter um melhor relacionamento entre a condição nutricional e a produtividade das culturas. Com base na técnica de linha de fronteira é possível obter valores de referência com uma maior aplicabilidade dos aspectos biológicos na determinação da produtividade (FERNANDES, 2010), derivados de dados obtidos em condições não controladas, não havendo deste modo, a necessidade de condução de redes de experimentos que podem elevar consideravelmente o custo.

Na literatura são encontradas faixas de suficiência propostas para o café arábica (MALAVOLTA, 1993; MALAVOLTA et al., 1997; MATIELLO, 1997 ) em Minas Gerais (MARTINEZ et al., 2003), mas cabe obter o relacionamento dos índices DRIS e Kenworthy com a produtividade.

Portanto, a produtividade e a sustentabilidade da produção do café arábica dependem de um adequado manejo nutricional, que pode ser mais bem definido com base em critérios diagnósticos, em especial pela análise foliar. Deste modo, o estudo foi realizado com o objetivo de:

- 1) Obter curvas de resposta potencial CRP para a cultura do café arábica em Minas Gerais com índices Kenworthy e DRIS, que expressam o estado nutricional quanto ao grau de balanço e de equilíbrio, respectivamente.

- 2) Propor faixas de suficiência quanto ao grau de balanço e de equilíbrio para a cultura do café arábica em Minas Gerais com base na técnica da linha de fronteira.

- 3) Diagnosticar o estado nutricional de lavouras de café arábica de Minas Gerais com base nas faixas de suficiência obtidas.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Aspectos nutricionais do café arábica

O cafeeiro é uma planta perene com porte arbustivo, apresenta exigências nutricionais que diferem de acordo com seu ciclo fenológico, sendo considerada uma cultura de alta exigência nutricional. Desse modo, um programa de adubação adequado de acordo com as exigências da cultura proporciona uma nutrição equilibrada.

O estado nutricional das lavouras sofre grande influência da instabilidade da cotação do café ao longo do ano, por este ser um fator que pode interferir na utilização de insumos. Deste modo, quando, por questões de custos, a utilização de fertilizantes é limitada, muitos produtores optam por fertilizar somente as lavouras em melhor estado produtivo, o que agrava problemas nutricionais nas lavouras menos produtivas.

O manejo nutricional realizado de modo eficiente pode levar a resultados favoráveis quanto ao aumento de produtividade, assim como na melhor utilização dos recursos e na rentabilidade do produtor. Para isso, é crucial conhecer a dinâmica de acúmulo de nutrientes ao longo do ciclo de crescimento da cultura, visando um programa de adubação que possibilite obter produtividades máximas, econômicas e ambientalmente corretas.

Dentre os nutrientes mais exigidos pela cultura destacam-se o N e K, que desempenham papel primordial garantindo o crescimento vegetativo, assim como, o florescimento e enchimento dos grãos. De modo geral, a ordem de preferência da cultura pelos nutrientes segue conforme a sequência:  $N > K > Ca > Mg > S > P > B > Zn > Cu$  (MARTINEZ; NEVES, 2015). A exigência nutricional da cultura é bastante expressiva no que se refere à quantidade extraída pelos frutos, de modo que na fase reprodutiva há um aumento da exigência de K frente ao N.

Tal fato nos leva a compreender a importância da adubação de produção que leva em consideração a carga pendente. Esta contribuiu para o fornecimento de nutrientes de modo a atender a demanda de produção de grãos, e garante que parte dos nutrientes exportados sejam devolvidos ao solo, de modo a contribuir para a manutenção da fertilidade do solo evitando o seu esgotamento ao longo dos anos.

O manejo nutricional do café também pode influenciar a bienalidade da produção, entretanto, ainda há carência de trabalhos científicos que mostram a magnitude da influência (MENDONÇA et al., 2011).



A bionalidade da produção de grãos de café é caracterizada pela produção instável de grãos em anos alternados (DA MATTA et al., 2007). Segundo Matiello et al. (2002) existe uma alta relação entre o manejo nutricional e a bionalidade do café, já que em anos de alta produção o cafeeiro sofre um esgotamento devido ao elevado metabolismo para garantir todo o potencial produtivo.

Apesar do evento estar associado as características fisiológicas da cultura (SILVA et al., 2010), o emprego de boas práticas de manejo visando suprimento nutricional adequado, pode reduzir o efeito da bionalidade levando as plantas a apresentarem uma produção menos oscilante entre anos alternados (ZAMBOLIM et al., 2007; VALADARES et al., 2013).

Como relatado anteriormente à cultura apresenta alta exigência nutricional, de modo que o suprimento dos macros e micronutrientes é de extrema importância na obtenção de altas produtividades, já que estes desempenham diferentes funções no metabolismo das plantas.

O N é o elemento mais exigido pela cultura, garantindo o crescimento vegetativo tendo influência direta com a fase reprodutiva. Plantas deficientes em N podem apresentar crescimento lento (VAAST et al., 1998). O excesso de N promove crescimento vegetativo exuberante que por sua vez, propicia o ataque de pragas.

O K é o segundo nutriente mais exigido pela cultura, apresenta uma elevação na exigência com o aumento da idade e da produtividade. Segundo Malavolta (1980), o K tem sido considerado, o elemento da qualidade em nutrição de plantas. Segundo Silva et al. (1995), a exigência de K pelo cafeeiro é equivalente à de N, sendo suficiente para mostrar a importância desse nutriente para a planta.

O P é um dos macronutrientes menos exigidos pela cultura, entretanto, a adubação fosfatada principalmente no estágio inicial de desenvolvimento é indispensável para o bom desenvolvimento do sistema radicular (MALAVOLTA, 1980).

O Ca é o terceiro elemento mais exigido pelo cafeeiro e o terceiro mais exportado para o fruto (MALAVOLTA et al., 1977). Desempenha papel estrutural nas paredes celulares onde sua carência pode ocasionar má formação de meristemas apicais e raízes. Solos com baixa concentração de Ca levam as plantas a apresentarem um sistema radicular pouco desenvolvido. A calagem e a gessagem asseguram o suprimento adequado de Ca ao cafeeiro, porém quando a calagem é excessiva, pode resultar em deficiência de Fe e outros nutrientes (MARTINEZ et al., 2003).

O Mg é constituinte da molécula de clorofila tendo papel de grande relevância na fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2004). A deficiência desse macronutriente em lavouras cafeeiras, pode ser atribuída ao uso recorrente de calcário calcítico, como também, excessivas adubações potássicas.

O S é constituinte de aminoácidos, como a cisteína e metionina (MARTINEZ et al., 2003; TAIZ; ZEIGER, 2004). A deficiência desse macronutriente leva as plantas a apresentarem clorose, inicialmente nas folhas mais novas, folhas pequenas, enrolamento das margens das folhas, dentre outros (MALAVOLTA, 1980). Sintomas de deficiência ocorrem principalmente em solos arenosos, pobres em matéria orgânica com maior incidência de chuvas (FULLIN et al., 2007). O uso de sulfato de amônio é a forma mais comumente usada no fornecimento desse elemento em lavouras cafeeiras.

Os micronutrientes desempenham um importante papel no desenvolvimento da cultura possibilitando a obtenção de boas produtividades. Dentre os micronutrientes o Fe e o Mn são os mais requeridos pela cultura. O Fe é constituinte das proteínas heme dos citocromos, na cadeia de transporte mitocondrial de elétrons, importante na geração de ATP celular (EPSTEIN; BLOOM, 2006), pode apresentar-se deficiente quando há o emprego de elevadas doses de calcário ou pela presença elevada de Mn, já que ambos competem pelo mesmo sítio de absorção. O Mn tem papel de destaque na fotossíntese por atuar na foto-oxidação da molécula de água, no fotossistema II (TAIZ; ZEIGER, 2004; KIRKBY; ROMHELD, 2007). A deficiência de Mn em lavouras cafeeiras muitas vezes está atribuída a calagens excessivas.

O B desempenha funções relacionadas à regulação, síntese e estabilização de paredes celulares (EPSTEIN; BLOOM, 2006). É um elemento que se acumula em pequenas quantidades, entretanto, sua deficiência é muito rotineira nos cafezais podendo levar a morte de gemas apicais e pontas de raízes. Problemas de deficiência podem ser corrigidos via foliar ou solo, mas é importante atentar ao fato de que o limite entre a carência e toxidez é muito estreita para esse nutriente (MARTINEZ; NEVES, 2015).

O Cu é componente do ácido ascórbico oxidase, tirosinase, monoamina oxidase, uricase, citocromo oxidase, fenolase, lacase e plastocianina (TAIZ; ZEIGER, 2004). Tem grande papel na lignificação de tecidos de sustentação da planta. Devido ao uso de fungicidas cúpricos contra o ataque da ferrugem é mais comum o excesso que a deficiência em grande parte das lavouras cafeeiras.

O Zn constituinte do álcool desidrogenase, desidrogenase glutâmica, anidrase carbônica e outras enzimas, que atuam na alongação de caules (TAIZ; ZEIGER, 2004),

é considerado um dos micronutrientes que frequentemente limita a produção do cafeeiro (REIS JR et al., 2002).

## **2.2 Diagnose nutricional com base na análise de tecidos**

A análise química do solo é uma ferramenta usada há muitos anos nas lavouras cafeeiras, entretanto, o uso da análise química de tecido em complemento mostra-se uma ferramenta promissora por refletir o fluxo de nutrientes no sistema, e assim auxiliar no diagnóstico de modo eficiente. Dentro desse contexto, o uso da análise química de tecido visando o diagnóstico nutricional mostra-se vantajosa, já que a planta passa ser o próprio extrator de nutrientes no solo.

A análise de tecido compreende na determinação da concentração de um elemento em uma determinada amostra de porção particular de uma planta, em determinado estágio de desenvolvimento morfológico definido para cada cultura (LUCENA, 1997), refletindo a condição nutricional da planta e conseqüentemente o seu potencial produtivo.

Na cultura do café dentre os tecidos vegetais a folha tem sido o órgão mais utilizados nessas análises, pois juntamente com os frutos constituem os maiores reservatórios de nutrientes da cultura (CORRÊA et al., 1986), além das folhas serem os principais centros de atividades metabólicas das plantas (HAAG, 1987; TAIZ; ZEIGER, 2004; MARSCHNER, 1995; CANTARUTTI et al., 2007), por isso refletem bem o estado nutricional e as variações no suprimento de nutrientes.

Segundo Malavolta et al. (1997) existem três premissas quanto a utilização da análise foliar como ferramenta de diagnose nutricional: deve existir uma relação direta entre o suprimento de nutrientes e o crescimento ou a produção; o aumento do suprimento de um dado nutriente, leva ao aumento no seu teor foliar; e o aumento do teor foliar de dado nutriente leva a aumento na produção.

Apesar da folha ser o órgão usado com maior frequência, Martinez et al. (2003) estabeleceu faixas críticas de concentração de nutrientes em flores de cafeeiro, onde os resultados apresentaram boa correlação para grande parte dos nutrientes. Laviola (2004) estudou a dinâmica de macronutrientes em flores, folhas e frutos de três cultivares de *Coffea arábica*, sob três doses de adubação, e verificou que os teores de nutrientes em todas as partes foram influenciados pelas doses de adubação. A diagnose nutricional do

cafeeiro por meio da análise de flores também foi estudada por Zabini (2010) e os resultados mostraram concordância com a análise foliar para alguns nutrientes.

A composição mineral dos tecidos vegetais pode ser influenciada por uma série de fatores inerentes a própria planta (espécie, variedade, estágio vegetativo e idade, produção pendente), condições climáticas (temperatura, disponibilidade hídrica, radiação solar), solo (condições física e de fertilidade) e práticas de manejo adotadas (MALAVOLTA, 2006). Por esse motivo é de grande importância a padronização quanto à época de amostragem adequada assim como a posição da folha na planta (MARTINEZ et al., 2004).

Segundo Partelli (2004) a interpretação correta da análise foliar permite gerar informações que maximizam a utilização de insumos, promove um maior equilíbrio nutricional nas plantas de modo que estas podem apresentar melhor resposta quanto à produtividade.

A grande utilidade da análise foliar para culturas perenes como o café, é a possibilidade do monitoramento nutricional de modo que seja possível obter teores foliares dos nutrientes em épocas que ainda permitam os ajustes na adubação caso seja necessário (MENDES et al., 1995).

Para a interpretação da análise de tecidos é necessário o estabelecimento prévio de padrões que corresponde aos teores de nutrientes em plantas que apresentam em seus tecidos todos os nutrientes em quantidades e proporções consideradas adequadas, de modo que sejam capazes de apresentar altas produções. Portanto, antes do diagnóstico faz necessária a geração de normas para a cultura, que por sua vez são obtidas em populações de referência.

### **2.3 Índices Balanceados de Kenworthy (IBKW)**

Os índices Balanceados de Kenworthy (KENWORTHY, 1961), permitem avaliar o estado nutricional por meio da porcentagem de desvio da concentração de determinado nutriente, em relação à norma. Esses índices apresentam vantagens frente a outros, pelo fato que na sua obtenção consideram-se os coeficientes de variação observados para cada nutriente, na população que origina a norma. Deste modo, quando a concentração de um determinado nutriente na amostra é inferior a concentração desse nutriente na norma, a influência da variabilidade é adicionada. Em situações onde a concentração de dado nutriente na amostra estiver superior à da norma, a influência da

variabilidade é subtraída, dando origem aos índices balanceados (KENWORTHY, 1961).

O enfoque utilizado nesse método é univariado, pelo fato do teor do nutriente no tecido ser resultante do quociente entre a massa do nutriente e a massa de matéria seca do tecido, estando, portanto, sujeito ao efeito do crescimento que pode levar a diluição ou concentração do nutriente na massa do tecido produzido (JARREL; BEVERLY, 1981). Tal fato foi relatado por Bataglia et al. (1992) onde verificaram que a relação entre os teores de um dado nutriente e a produção de matéria seca pode não ser simples nem direta.

Esse método aborda o aspecto do balanço nutricional ao analisar cada nutriente de maneira isolada dos demais, dando uma idéia de saldo existente entre o que foi efetivamente absorvido e a demanda nutricional da planta (KENWORTHY, 1961). Segundo Neves et al. (2008) o balanço nutricional apresenta acepção quantitativa, podendo ser entendido como o grau de saciedade da “fome” da planta em relação a um dado nutriente.

Com o avanço da agricultura torna-se conveniente obter normas referenciais desses métodos, de modo que estejam atualizadas em nível mais regionalizado, uma vez que na literatura são escassos trabalhos quanto aos índices Kenworthy para o cafeeiro. Deste modo, o método mostra-se promissor quanto ao avanço no aprimoramento do acompanhamento nutricional das lavouras, e das recomendações.

#### **2.4 Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS)**

O método DRIS proposto por Beaufils (1973) é um método de interpretação de análise foliar que avalia o equilíbrio nutricional. Para o seu uso primeiramente são estabelecidas normas ou padrões, que consiste na determinação da média, variância e do coeficiente de variação das relações duais da população de referência sendo esta, uma população de alta produtividade. Após a determinação das normas são feitas comparações entre as relações duais da amostra, com as médias da população de referência, dando origem aos índices DRIS para cada nutriente da lavoura analisada.

Os índices DRIS calculados para cada nutriente pode variar de valores negativos a positivos. Valores de índices próximos de zero indica que a planta está próxima do equilíbrio nutricional para o nutriente em questão, valores de índices DRIS positivos indica que o nutriente está acima do valor ótimo, ou seja, indica excesso, e índices com

valores negativos indica que o teor do nutriente está deficiente com relação aos demais (CANTARUTTI et al., 2007).

O método apresenta vantagens por basear-se no equilíbrio das relações entre nutrientes, isso porque, as relações duais entre nutrientes são menos alteradas pelo efeito de concentração e diluição na matéria vegetal (COSTA, 1995) quando comparado com um nutriente isolado. Outros aspectos relevantes do método é a possibilidade de identificar situações onde os desequilíbrios nutricionais limitam a produtividade mesmo quando todos os nutrientes estão no nível crítico, além de possibilitar a hierarquização dos nutrientes quanto à ordem de limitação (BALDOCK; SCHULTE, 1996). O método também permite a determinação do índice de equilíbrio nutricional médio (IENm) que permite discriminar nutrientes limitantes, seja por falta ou excesso, assim como os não limitantes (WADT, 1996). O método DRIS também possibilita o diagnóstico de modo a verificar limitações de ordem não nutricional, em situações onde lavouras com baixos valores de Índice de balanço nutricional (IBN) apresentam baixas produtividades (LEITE, 1993; WADT, 1999; MARTINEZ et al., 2000).

A proposta de Beaufils (1973) quanto à questão da universalidade das normas DRIS de acordo com o órgão em análise, a idade da cultura, a região e o material genético, vêm sendo tema de discussão por diversos autores. Isso porque, em muitos trabalhos são relatadas melhorias quanto à diagnose nutricional quando são empregadas normas mais específicas, seja quanto ao clima, época de amostragem, sistema de manejo dentre outros, como verificado por Leandro (1998), Maeda (2002) Locatelli (2009) para a cultura da soja, por Silva (2001), Silva et al. (2005), Rocha (2008) e Fernandes (2010) para a cultura do eucalipto, e por Reis Junior (2002) para a cultura do café.

Apesar das questões relacionadas à universalidade das normas como descrito acima, Martinez et al. (2003) encontrou semelhanças entre normas DRIS obtidas para a cultura do café arábica em diferentes regiões de Minas Gerais, tal fato pode estar relacionado com padronização quanto à época de colheita das amostras, quanto à idade das lavouras, de modo que os distintos ambientes não afetaram as normas.

O DRIS tem sido aplicado nas mais variadas culturas, inclusive na cultura do café como, por exemplo, os trabalhos para cafeeiros do sul de Minas Gerais por Junior et al. (2002) e Reis JR et al. (2002), para café arábica na região noroeste do estado do Rio de Janeiro por Barbosa et al. (2006), para o café arábica da microrregião do

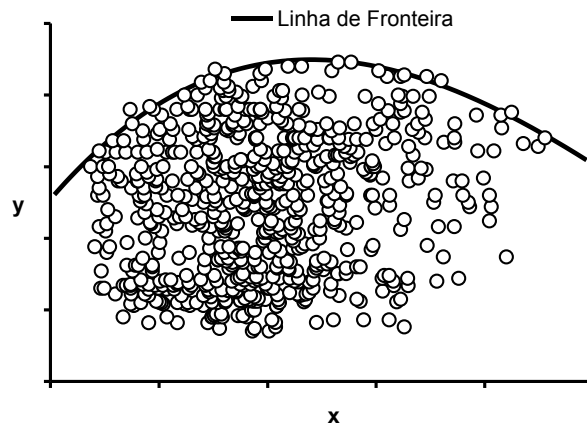
Caparaó no Espírito Santo por Mendonça (2009), e para as diferentes regiões do estado de Minas Gerais por Menezes (2001).

## **2.5 Método da Linha de Fronteira (LF)**

O princípio da abordagem da linha de fronteira (LF) foi inicialmente descrito por Webb (1972). A técnica possibilita trabalharmos com banco de dados obtidos em condições não controladas, como por exemplo, dados obtidos em lavouras comerciais (BLANCO-MACÍAS et al., 2009).

Em condições experimentais busca-se variar o fator em estudo e consequentemente controlar os demais fatores, de modo que estes se mantenham o mais constante possível, assim, é possível inferir que o padrão de variação da variável resposta, se dá pela variação do fator em estudo. Entretanto, o uso de dados obtidos em lavouras comerciais, apresenta um comportamento diferente quando comparado a estudos em condições experimentais, isso porque, nessas condições há interferência de diversas variações, e não somente do fator em estudo como ocorre em condições experimentais.

Com base na Figura 1, podemos verificar a LF de um conjunto de dados, que permite avaliar, por exemplo, o efeito limitante da variável independente (x) sobre a variável dependente (y). O conjunto de pontos (xy) selecionados, que se encontram na região superior da nuvem de dados, corresponde à linha de fronteira superior do relacionamento, e expressam o máximo do relacionamento da nuvem de dados avaliados. Assim, podemos aferir que pontos de (xy) que se encontram abaixo da linha de fronteira superior, sofreram influência de outras variáveis ou da combinação de várias variáveis, que podem influenciar a variável dependente (y).



**Figura 1.** Relacionamento entre duas variáveis, sendo (y) em função de (x), pela abordagem da linha de fronteira

Inicialmente, o método foi empregado para avaliar o balanço nutricional na determinação de valores críticos em modelos de diagnósticos de plantas (MOLLER-NIELSEN; FRIJS NIELSEN, 1976; FRASER; EATON, 1983).

Posteriormente, foi utilizado por Walworth et al. (1986) no relacionamento de teores foliares de nutrientes em lavouras de milho, de diversas regiões do mundo, com valores de produtividade das lavouras, concluindo os autores que a linha de fronteira pode ser usada na determinação do nível ótimo do teor do nutriente, ou de relações de teores no tecido, uma vez que esses valores ótimos estimados a partir de população de alta produtividade, foram muito próximos ao ótimo determinado pelo método da linha de fronteira.

Alguns trabalhos na literatura mostram o emprego do método da LF para descrever o relacionamento entre a concentração dos nutrientes no solo e o rendimento das culturas (EVANYLO; SUMNER, 1987; EVANYLO, 1990). Casanova et al. (1999) por exemplo, avaliaram o relacionamento do rendimento com as propriedades de solos submersos na cultura do arroz irrigado, e verificaram que a técnica proporcionou uma melhor compreensão do rendimento da cultura em relação as condições de solo.

O método da LF também foi usado para descrever a eficiência do uso do N na produção de culturas energéticas no sudoeste da Alemanha (LEWANDOWSKI; SCHMIDT, 2006), e na determinação de modelos para descrever o relacionamento entre as propriedades do solo e a desnitrificação (ELLIOTT; de JONG, 1993; BERGSTROM; BEAUCHAMP, 1993; SCHMIDT et al., 2000).

Recentemente o método vem sendo usado na área da nutrição de plantas, visando à obtenção de faixas de suficiência com maior significado biológico, refletindo



melhor o relacionamento da nutrição com a produtividade, como feito para a cultura do eucalipto, descrito por Fernandes (2010) e Galdino (2015), e para a cultura da pitaia, por Almeida et al. (2016). O método também foi empregado por Oliveira (2010), para relacionar a produtividade com propriedades físicas do solo para a cultura do eucalipto.

A técnica tem como vantagem trabalhar com dados oriundos de condições não controladas, e assim, determinar as faixas de suficiência e o nível ótimo sem a necessidade de instalação e condução de uma rede de experimentos de adubação (FERNANDES, 2010), o que elevaria consideravelmente o custo, além de identificar de modo isolado a variável que limita a produtividade.

A limitação da técnica se dá pela necessidade de uma grande base de dados (BLANCO-MACIAS et al., 2009), e segundo Schmidt et al. (2000) a falta de programas (softwares) que auxiliam na definição da LF, muitas vezes torna a técnica duvidosa quanto a aceitação científica, já que em muitas vezes a definição da linha de contorno superior de uma nuvem de pontos é feita de maneira subjetiva.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Caracterização do banco de dados**

Para a realização do trabalho, foi utilizada uma base de dados contendo teores totais foliares de nutrientes, e os valores de produtividades, obtidos em lavouras de café arábica de distintas regiões produtoras do estado de Minas Gerais, sendo estas: região do Cerrado (Patrocínio), Sul de Minas (Guaxupé e São Sebastião do Paraíso) e Zona da Mata (Manhuaçu e Viçosa) consideradas representativas no estado, realizadas nos anos agrícolas de 1996/97, 1997/98 e 1998/99.

Os teores totais de nutrientes foliares foram obtidos pela coleta de folhas amostradas em lavouras comerciais que apresentavam talhões variando de 0,5 a 1,0 ha em cada propriedade (UA), sendo estas, homogêneas quanto à idade, tipo de solo, práticas de adubação, controle de pragas e doenças e declividade do terreno. Em cada talhão a população de plantas foi de 3000 a 5000 plantas por hectare, sendo considerado um padrão médio quanto à população de plantas por hectare, e o sistema de cultivo para todos os talhões foi o sequeiro.

Uma vez estabelecido os talhões, foram elaborados croquis de localização, onde os produtores realizaram a colheita separadamente, e assim mantiveram o controle da produtividade dos talhões nos três biênios avaliados.

As folhas foram amostradas em cada UA, coletando o terceiro ou quarto par de folhas de ramos reprodutivos em uma altura mediana da copa. Em cada UA, 20 plantas foram escolhidas ao acaso, considerando todas as faces de exposição cardinal, totalizando 40 pares de folhas por talhão homogêneo. A amostragem foi realizada na fase chumbinho, compreendida entre o florescimento e a primeira fase de expansão rápida dos frutos, especificamente nos meses de novembro a meados de janeiro.

As coletas das amostras foliares foram realizadas no período de 6 a 10 h da manhã, sendo estas lavadas com água corrente e enxaguadas com água filtrada, acondicionadas em sacos de papel e enviadas ao laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da Universidade Federal de Viçosa. As amostragens foram realizadas no período 20 a 30 dias após as adubações, seguindo uma rigorosa padronização com as devidas anotações de identificação, localidade, época de amostragem, adubações que haviam sido realizadas, e os nutrientes a serem analisados.

As amostras foliares foram enviadas ao laboratório, submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar, a 70-75°C, até peso constante. Posteriormente o material seco foi submetido à moagem, em moinho tipo Wiley com malha de 20 mesh (0,85 mm). As amostras foram mineralizadas e analisadas, conforme métodos rotineiros, obtendo-se os teores totais foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Zn, Mn e B.

### **3.2 Análise dos dados**

O banco de dados foi confeccionado, mediante a seleção de todas as lavouras que apresentavam teores foliares de nutrientes e produtividade de um biênio, ou seja, lavouras que foram amostradas no ano de alta e no ano de baixa produtividade, a fim de refinar possíveis influências nutricionais quanto à bienalidade da produção de grãos. Assim, o banco de dados foi composto por 250 amostras (125 amostras de lavouras no ano de alta produtividade e 125 amostras de lavouras no ano de baixa produtividade) e mais 7 amostras de lavouras unicamente no ano de alta produtividade que apresentavam produtividade média superior à média das lavouras do ano de alta produtividade. Deste modo, totalizando 257 registros com seus respectivos teores de nutrientes foliares e

produtividade.

Posteriormente, determinou-se a população de referência selecionando todas as lavouras do banco de dados, que apresentavam produtividade relativa (em %, em que a produtividade relativa = produtividade de cada lavoura em sc/ produtividade da lavoura mais produtiva x 100) superior a 44,03 % que corresponde 43,15 sc/ha de café beneficiado, sendo esta, a produtividade média das lavouras do ano de alta produtividade. A população de referência foi composta por 70 lavouras, e por meio destas, determinou-se as normas para os métodos Kenworthy e DRIS.

Segundo o proposto por Alvarez V. e apresentado por Kurihara (2004) determinou-se a média e a variabilidade (coeficiente de variação) dos teores de nutrientes foliares da população de referência, que constituíram as normas para uso no método Kenworthy. Na população de referência, também foram determinadas as normas DRIS (BEAUFILS, 1973). Nesse caso foram determinados os quocientes entre o teor de um dado nutriente em relação aos teores de cada um dos demais nutrientes, ou seja, as relações duais, assim como as respectivas variabilidades, expressas pelo desvio-padrão, ao qual constituíram as normas DRIS.

A diagnose do estado nutricional das lavouras integrantes do banco de dados foi feita com o auxílio software Nutri - UFV para café arábica, parametrizado com as normas obtidas no presente trabalho, onde para avaliar o grau de balanço utilizou-se o método dos Índices Balanceados de Kenworthy, e para avaliar o grau de equilíbrio os índices DRIS.

Para cada lavoura integrante do banco de dados, foram determinados os Índices Balanceados de Kenworthy dos nutrientes. Assim, foram calculados os índices P, I e B (todos expressos em porcentagem), independentemente do teor do nutriente na amostra ( $Y_i$ ) ser maior ou menor do que o teor médio da população de referência, considerado padrão ( $\bar{Y}$ ), conforme modificações apresentadas por Kurihara (2004):

$$P = (Y_i / \bar{Y})100 \quad \text{Eq. 1}$$

$$I = [(Y_i - \bar{Y})CV] / \bar{Y} \quad \text{Eq. 2}$$

$$B = P - I \quad \text{Eq. 3}$$

Em que:

P = Proporção entre o teor do nutriente na amostra ( $Y_i$ ) e o teor ótimo ( $\bar{Y}$ );

I = Influência da variabilidade;

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

B = Índices Balanceados de Kenworthy;

Os índices DRIS foram calculados segundo Jones (1981), por meio do afastamento entre o valor de cada relação dual numa dada lavoura sob diagnose, e a média da respectiva relação dual na população de referência, considerando o respectivo desvio-padrão, ou seja, o afastamento expresso em unidades de desvio padrão. Assim, foram obtidas 110 relações, sendo metade direta (A/B) e metade inversa (B/A), ao qual se definiram os índices DRIS conforme Alvarez V. e Leite (1999), apresentadas nas equações 4 e 5:

$$z(A/B) = [(A/B) - (a/b)] / s \quad \text{Eq. 4}$$

$$IA = [z(A/B) - z(B/A) + z(A/C) - z(C/A) + \dots + z(A/N) - z(N/A)] / 2(n - 1) \quad \text{Eq. 5}$$

Em que:

$z(A/B)$  = afastamento entre o valor da relação dual dos nutrientes A/B na população sob diagnose e a norma;

$A/B$  e  $a/b$  = relação dual entre os teores dos nutrientes A e B no talhão sob diagnose e média das relações duais entre os teores dos nutrientes a e b na população de referência respectivamente.

$s$  = desvio padrão das relações duais dos nutrientes A e B na população de referência;

IA = índice DRIS do nutriente;

$n$  = número de nutrientes considerados.

Objetivando buscar uma estratégia de modo a conferir maior significado biológico aos índices balanceados de Kenworthy e aos índices DRIS, os valores de produtividade relativa (%) ( $y$ ), de cada lavoura do ano de alta produtividade (132 amostras de lavouras), foram relacionados por meio de gráficos de dispersão ( $y = f(x)$ ), aos respectivos índices balanceados de Kenworthy ( $x$ ) e índices DRIS ( $x$ ), para cada nutriente.

A escolha de lavouras do ano de alta produtividade para a obtenção dos

relacionamentos é atribuída a bienalidade de produção de grãos, característica presente na cultura do café arábica. A bienalidade é uma característica fisiológica da cultura (RENA; MAESTRI, 1985) que pode ser influenciada por diversos fatores de produção, entretanto, isso nos leva a concluir que em anos de baixa produtividade por mais que todos os fatores de produção, inclusive a nutrição, estejam em níveis ótimos, à planta não consegue expressar o seu máximo potencial produtivo. Deste modo, o emprego de lavouras do ano de alta produtividade na determinação dos relacionamentos, se justifica, já que nessas condições, o máximo potencial produtivo pode ser alcançado pelas plantas, e assim, torna-se possível avaliar de modo isolado a influência da nutrição e dos demais fatores de produção, no desempenho produtivo da cultura.

Na nuvem de pontos obtida do relacionamento, foram selecionados os pares (xy) correspondentes à fronteira superior do relacionamento (populações de fronteira) que fornece uma relação ótima entre a produtividade relativa e os índices balanceados de Kenworthy e índices DRIS. A obtenção da população de fronteira se deu com o auxílio do aplicativo computacional “Boundary fit”, desenvolvido na UFV pelos professores Roberto de Aquino Leite, Júlio César Lima Neves e Victor Hugo Alvarez V. Deste modo, foram selecionados pares (xy) da população de fronteira superior da produtividade relativa (y) em função dos índices balanceados de Kenworthy (x) e índices DRIS (x) da nuvem de pontos.

Posteriormente com o auxílio do aplicativo “Curve Expert 1.4” foram ajustadas regressões relacionando a produtividade relativa com os valores de índices balanceados de Kenworthy, como também com os índices DRIS de cada nutriente, considerando a fronteira superior, sendo selecionada a equação que melhor se ajustava aos dados escolhidos. A seleção da melhor equação foi criteriosa com base no Quadrado médio Independente da Regressão, o significado biológico da equação e o  $R^2$ .

Os modelos obtidos para os índices balanceados de Kenworthy e índices DRIS podem ser denominados de curvas de resposta potencial quanto ao grau de balanço do nutriente estimado (CRPBNE), e curvas de resposta potencial quanto ao grau de equilíbrio do nutriente estimado (CRPENE), respectivamente, conforme o proposto por Galdino (2015).

As CRPBNE indicam a resposta da produtividade relativa (PR) quanto ao grau de balanço do nutriente em análise, não havendo influência do grau de balanço dos demais nutrientes, tampouco de outros fatores de produção. As CRPENE indicam a resposta da produtividade relativa (PR) quanto ao grau de equilíbrio do nutriente

considerado, não havendo deste modo, influências quanto ao grau de equilíbrio do demais nutrientes, e de outros fatores de produção.

Deste modo, foram obtidas para cada nutriente as faixas de suficiência dos índices balanceados de Kenworthy e dos índices DRIS para a classe deficiente ( $PR < 70$  %), tendência a suficiente ( $70 \leq PR \leq 90$  %), suficiente ( $90 \leq PR \leq 100$  %), alta ( $100 > PR \geq 90$  %, à direita do máximo), tendência a excesso ( $90 \leq PR \leq 70$  %, à direita do máximo), excesso ( $PR < 70$  %, a direita do máximo) para a avaliação do estado nutricional, quanto ao balanço e de equilíbrio, para a cultura do café arábica em Minas Gerais.

### **3.3 Diagnóstico do estado nutricional em lavouras de café arábica de Minas Gerais**

Ao final, com base nas faixas de suficiência obtidas, avaliou-se o estado nutricional das lavouras integrantes da base de dados quanto ao grau de balanço e equilíbrio nutricional. Com intuito de compreender melhor a influência da nutrição quanto à bienalidade de produção de grãos, também foi realizado o diagnóstico nutricional isolando as lavouras do ano de alta e de baixa produtividade.

Afim de diagnóstico as classes deficiente e tendência a suficiente foram unidas, dando origem a uma classe denominada como limitante por falta. O mesmo procedimento foi feito com as classes tendência a excesso e excessiva, resultando na classe denominada limitante por excesso. Deste modo, os teores de nutrientes nas folhas do cafeeiro foram classificados como: Limitante por Falta ( $PR < 90$  %), Suficiente ( $90 \leq PR < 100\%$ ), Alta ( $100 \% \leq PR < 90$  %, à direita), Limitante por Excesso ( $PR \leq 90$  %, à direita). Com base nessas classes, calculou-se a distribuição de lavouras dentro das classes limitantes por falta, suficiente, alto e limitante por excesso, avaliando o grau de balanço e de equilíbrio nutricional isoladamente. Também foi determinada a distribuição de lavouras dentro das classes Suficiente e Alta, utilizando a análise conjunta, de modo a diagnosticar as lavouras balanceadas e equilibradas.

### **3.4 Utilização das CRPBNE e CRPENE para relacionar a produtividade com fatores nutricionais e não nutricionais.**

Os valores dos índices balanceados de Kenworthy e dos índices DRIS de cada nutriente, obtidos no diagnóstico do estado nutricional das lavouras, foram substituídos nas CRPBNE e CRPENE obtidas conforme descrito no item 3.2. Assim, foram obtidos

os valores de produtividade relativa estimada (PRE), limitada pelo grau de balanço e de equilíbrio nutricional para cada nutriente.

Com base no critério da Lei do mínimo foi selecionado o menor valor de PRE dentre os nutrientes seja pelo grau de balanço ou de equilíbrio nutricional, identificando o nutriente mais limitante na definição da produtividade. Após a identificação do nutriente mais limitante seja pelo grau de balanço ou de equilíbrio nutricional, foi realizada a subtração da produtividade relativa máxima sendo esta 100 % (valor pelo qual a lavoura estaria balanceada e equilibrada nutricionalmente dentro dos níveis ideais para todos os nutrientes) menos a PRE referente ao nutriente mais limitante, obtendo deste modo, a perda de produtividade associado a fatores nutricionais. Para a obtenção da perda de produtividade associada a fatores não nutricionais, realizou-se a subtração do valor de PRE da lavoura analisada, da produtividade relativa observada (obtida no campo).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Normas para uso na avaliação do grau de balanço e de equilíbrio em lavouras de café arábica de Minas Gerais

As normas ou valores de referência são obtidos de populações altamente produtivas, visto que nelas a nutrição e os demais fatores de produção encontram-se bem ajustados (WADT, 1996). O uso de populações de alta produtividade, também se torna vantajosa por apresentarem menor variabilidade de teores, quando comparada a toda a população ou a população de média produtividade (FERNANDES, 2010). Tal fato resulta em um menor coeficiente de variação dos teores, e conseqüentemente em uma maior sensibilidade de diagnose. Assim, o CV de cada norma é um indicativo de sua precisão, onde normas que apresentam alto CV indicam baixa precisão, e vice-versa.

Na Tabela 1, encontram-se as normas para o uso no método Kenworthy e DRIS obtidas de uma população de referência composta por 70 lavouras, que apresentavam produtividade relativa superior a 44,03 %. Segundo Reis Jr & Monnerat (2002) esse número de lavouras é suficiente para estabelecer normas.

De acordo com as normas de teores obtidas para o uso no método Kenworthy, verificou-se que para as normas referentes aos macronutrientes o valor do CV médio foi de (26,10 %), ou seja, menor quando comparado ao CV médio referente aos micronutrientes, que foi de (51,37 %). Tal fato corrobora com Galdino (2015) e Fernandes (2010) que encontraram menores valores de CV relacionados aos macronutrientes estudando a cultura do eucalipto, assim como, encontrado por Gott (2013) estudando a cultura do milho, sendo este, um indicativo de maior precisão ou sensibilidade na diagnose dos macronutrientes.

Dentre as normas obtidas para o uso no método Kenworthy, o N foi nutriente cuja norma apresentou a maior sensibilidade (CV 12,75 %) indicando que este nutriente apresentou menor variação em torno da média, ao contrário do Mn (CV 74,02 %) que foi o nutriente cuja norma foi a menos precisa.

A menor precisão de normas referente ao Mn, atribuída a alto valor CV e maior variabilidade, foi relatado por Fernandes (2010), que propôs a exclusão de nutrientes cujas normas em geral apresentavam menor sensibilidade de diagnóstico, concluindo que, a exclusão do Fe e do Mn levou a um aumento na sensibilidade dos diagnósticos



quanto ao equilíbrio.

**Tabela 1:** Normas dos teores<sup>1</sup> totais foliares de macro e micronutrientes e suas relações duais, para os métodos Kenworthy<sup>2</sup> e DRIS<sup>3</sup>, para lavouras de café arábica de Minas Gerais.

Variável	$\bar{Y}^4$	S <sup>5</sup>	CV (%) <sup>6</sup>	Variável	$\bar{Y}^4$	S <sup>5</sup>	CV (%) <sup>6</sup>
N	34,21	4,36	12,75				
P	1,62	0,47	29,34	Ca/N	0,37	0,09	23,99
K	24,63	5,22	21,20	Ca/P	8,00	2,17	27,07
Ca	12,30	2,41	19,62	Ca/K	0,52	0,16	30,09
Mg	4,27	1,24	29,04	Ca/Mg	3,07	0,96	31,17
S	1,36	0,61	44,64	Ca/S	11,09	5,55	50,05
Cu	14,17	8,28	58,41	Ca/Cu	1,11	0,53	47,58
Fe	49,37	15,57	31,53	Ca/Fe	0,28	0,14	48,28
Zn	19,44	8,92	45,88	Ca/Zn	0,77	0,41	53,49
Mn	138,62	102,61	74,02	Ca/Mn	0,13	0,08	65,10
B	85,59	40,22	47,00	Ca/B	0,17	0,07	39,68
N/P	22,34	4,97	22,22	Mg/N	0,13	0,05	36,61
N/K	1,45	0,34	23,47	Mg/P	2,77	0,92	33,23
N/Ca	2,89	0,65	22,68	Mg/K	0,18	0,07	37,82
N/Mg	8,65	2,57	29,72	Mg/Ca	0,36	0,11	31,24
N/S	31,50	17,03	54,07	Mg/S	3,89	2,14	54,90
N/Cu	3,11	1,45	46,78	Mg/Cu	0,38	0,20	51,26
N/Fe	0,78	0,36	45,77	Mg/Fe	0,10	0,05	48,73
N/Zn	2,12	1,00	47,20	Mg/Zn	0,27	0,14	53,90
N/Mn	0,35	0,21	62,06	Mg/Mn	0,04	0,03	66,97
N/B	0,49	0,22	46,18	Mg/B	0,06	0,03	47,97
P/N	0,05	0,01	28,42	S/N	0,04	0,02	46,68
P/K	0,07	0,02	33,68	S/P	0,91	0,48	52,45
P/Ca	0,13	0,03	25,07	S/K	0,06	0,03	46,36
P/Mg	0,40	0,13	32,64	S/Ca	0,11	0,06	50,57
P/S	1,47	0,79	53,48	S/Mg	0,35	0,19	53,73
P/Cu	0,15	0,09	57,76	S/Cu	0,11	0,06	53,51
P/Fe	0,04	0,02	62,47	S/Fe	0,03	0,02	53,56
P/Zn	0,10	0,05	50,45	S/Zn	0,09	0,07	83,60
P/Mn	0,02	0,01	63,75	S/Mn	0,01	0,02	122,60
P/B	0,02	0,01	49,78	S/B	0,02	0,01	76,56
K/N	0,73	0,18	24,55	Cu/N	0,42	0,25	59,97
K/P	16,17	4,95	30,61	Cu/P	9,77	6,97	71,38
K/Ca	2,08	0,62	29,67	Cu/K	0,58	0,32	55,16
K/Mg	6,22	2,20	35,33	Cu/Ca	1,20	0,75	62,74
K/S	21,69	10,13	46,71	Cu/Mg	3,60	2,48	69,06
K/Cu	2,17	0,96	44,18	Cu/S	11,66	6,56	56,23
K/Fe	0,56	0,25	45,07	Cu/Fe	0,30	0,15	51,08
K/Zn	1,48	0,66	44,22	Cu/Zn	0,83	0,56	67,47
K/Mn	0,25	0,18	72,29	Cu/Mn	0,14	0,12	82,11
K/B	0,34	0,15	45,35	Cu/B	0,20	0,15	78,89

Continua..

Continuação da Tabela 1

Variável	$\bar{Y}^4$	S <sup>5</sup>	CV (%) <sup>6</sup>	Variável	$\bar{Y}^4$	S <sup>5</sup>	CV (%) <sup>6</sup>
Zn/N	0,58	0,28	48,66	Fe/N	1,47	0,52	35,23
Zn/P	13,06	7,95	60,86	Fe/P	33,17	13,85	41,75
Zn/K	0,80	0,35	43,93	Fe/K	2,10	0,82	38,95
Zn/Ca	1,65	0,82	50,04	Fe/Ca	4,19	1,64	39,21
Zn/Mg	4,97	2,91	58,66	Fe/Mg	12,69	5,98	47,14
Zn/S	17,03	9,36	54,99	Fe/S	42,77	21,73	50,81
Zn/Cu	1,64	0,77	46,91	Fe/Cu	4,23	2,08	49,05
Zn/Fe	0,44	0,24	54,65	Fe/Zn	3,06	1,75	57,04
Zn/Mn	0,19	0,12	64,40	Fe/Mn	0,51	0,33	65,36
Zn/B	0,26	0,13	52,45	Fe/B	0,72	0,50	69,22
Mn/N	4,11	3,19	77,52	B/N	2,61	1,48	56,55
Mn/P	89,51	65,47	73,14	B/P	58,48	37,59	64,28
Mn/K	6,14	5,93	96,53	B/K	3,59	1,78	49,60
Mn/Ca	11,89	10,14	85,25	B/Ca	7,12	3,47	48,77
Mn/Mg	35,14	28,80	81,97	B/Mg	21,36	11,60	54,30
Mn/S	135,93	176,00	129,48	B/S	74,70	43,66	58,45
Mn/Cu	13,42	15,82	117,86	B/Cu	7,38	3,91	52,91
Mn/Fe	3,28	2,90	88,44	B/Fe	1,96	1,15	58,76
Mn/Zn	8,58	7,69	89,64	B/Zn	4,94	2,63	53,22
Mn/B	1,96	1,78	90,88	B/Mn	0,87	0,68	78,11

<sup>1</sup>Teores totais dos macronutrientes em g/kg, dos micronutrientes em mg/kg; <sup>2</sup>Kenworthy (1961); <sup>3</sup>Beaufils (1973); <sup>4</sup>Média; <sup>5</sup>Desvio-padrão; e <sup>6</sup>Coefficiente de variação

Com base nos valores de CV a ordem decrescente da sensibilidade das normas dos teores de macros e micronutrientes foi: N > Ca > K > Mg > P > Fe > S > Zn > B > Cu > Mn. Segundo Rocha (2008) o diagnóstico quanto ao grau de balanço de nutrientes cujas normas apresentam um CV superior a 30%, mostram-se menos sensíveis, deste modo é notável que o uso de normas com maior precisão possibilita maior eficiência quanto aos diagnósticos. Os nutrientes que apresentaram normas com CV superior 30% foram: Fe (31,53 %), S (44,64 %), Zn (45,88 %), B (47,00 %), Cu (58,41 %) e Mn (74,02 %).

As normas das relações duais entre teores de nutrientes foliares para o uso no método DRIS encontram-se na tabela 1. Para as 110 relações duais as normas diferiram quanto à média e a variabilidade. A presença de diferenças quanto à média pode ser atribuída à magnitude dos teores de nutrientes de cada relação dual, enquanto diferenças quanto à variabilidade é um indicativo da precisão de cada norma. Dentro desse contexto, podemos aferir que as normas das relações duais mais precisas são aquelas que relacionaram dois nutrientes que apresentavam um baixo CV quanto às normas de

teores, por outro lado, as normas menos precisas foram àquelas originadas das relações duais de nutrientes com um alto CV quanto às normas de teores.

Segundo Reis Jr. (1999), normas DRIS com baixos coeficientes de variação permitem um diagnóstico nutricional mais preciso. Conforme Leite (1993), desequilíbrios nutricionais, a princípio, ocorrerá principalmente aos nutrientes que apresentam maior coeficiente de variação.

#### 4.2 Método da Linha de Fronteira na determinação de faixas de suficiência para uso dos métodos Kenworthy e DRIS

Na tabela 2, são apresentadas as curvas de resposta potencial quanto ao grau de balanço do nutriente estimado CRPBNE, ou seja, as equações de regressão da linha de fronteira superior (LFS), que relaciona a produtividade relativa (em %, em que a produtividade relativa = produtividade de cada lavoura em sc / produtividade da lavoura mais produtiva x 100) de lavouras do ano de alta produtividade com seus respectivos índices balanceados de Kenworthy para os macros e micronutrientes. Para todos os nutrientes foram selecionados os modelos que apresentaram um bom ajuste com elevados valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

**Tabela 2:** Equações ajustadas do relacionamento entre a produtividade relativa (y) da população de fronteira em função dos Índices balanceados de Kenworthy (x) dos macros e micronutrientes.

Nutriente	Equação	R <sup>2</sup>	n
N	$\hat{y} = e^{-1902,052 / x} - 21,201 \ln(x)$	0,933	10
P	$\hat{y} = -329,114 - 1,646 x - 665064,200 / x^2$	0,996	6
K	$\hat{y} = -283,892 + 7,329 x - 0,034 x^2$	0,966	9
Ca	$\hat{y} = 467,320 - 2,473 x - 1193609,996 / x^2$	0,929	8
Mg	$\hat{y} = -215,900 + 5,679 x - 0,024 x^2$	0,978	12
S	$\hat{y} = 398,543 - 1,751 x - 1091302,871 / x^2$	0,850	7
Cu	$\hat{y} = 325,955 - 1,366 x - 906973,209 / x^2$	0,788	11
Fe	$\hat{y} = 307,489 - 1,415 x - 569540,224 / x^2$	0,952	8
Zn	$\hat{y} = 256,116 - 0,976 x - 523695,298 / x^2$	0,636	6
Mn	$\hat{y} = 330,979 - 1,319 x - 1040598,028 / x^2$	0,822	9
B	$\hat{y} = (-34541975,745 + 593736,371 x) / (1 - 2241,787 x + 47,480 x^2)$	0,795	9

No presente trabalho, os dados foram obtidos em condições não controladas, ou seja, em lavouras comerciais. Assim, a produtividade dessas lavouras foi influenciada

por uma gama de fatores, diferente do que acontece em condições experimentais, onde varia apenas o fator em estudo, e os demais são mantidos constantes. Deste modo, o emprego da LFS permitiu isolar dentro de um grande número de lavouras, aquelas onde haveria o efeito apenas de um fator de produção, sendo neste caso, o estado nutricional quanto ao grau de balanço relacionado a cada nutriente.

A LFS representa o efeito da variável independente, sendo neste caso o IBKW, sobre a variável dependente produtividade relativa (PR), deste modo, podemos assumir que valores abaixo da região de fronteira correspondem à interferência de outras variáveis ou da combinação de variáveis que podem estar limitando a variável dependente, neste caso, a produtividade relativa (PR). Assim, pode-se aferir que a produtividade das lavouras que se encontram abaixo da LFS foi limitada por outros fatores, sendo estes, nutricionais ou não nutricionais, além do fator em estudo.

Segundo Blanco-Macías et al. (2009) o emprego de uma grande base de dados como no presente trabalho, viabiliza o emprego do método da linha de fronteira.

Com base nas CRPBNE do relacionamento entre a produtividade relativa (PR) em função dos IBKW, mediante o uso do método da linha de fronteira, e considerando as faixas de valores de produtividade por meio da produtividade relativa, determinou-se para os macros e micronutrientes, as faixas de suficiência quanto ao grau balanço nutricional para a cultura do café arábica em Minas Gerais (Tabela 3).

**Tabela 3:** Faixas de suficiência propostas para os Índices Balanceados de Kenworthy dos macros e micronutrientes em lavouras de café arábica de Minas Gerais, derivados do método da Região de Fronteira, com base na produtividade relativa (PR).

Nutriente	Deficiente	Tendência a Suficiente	Suficiente	Alta	Tendência a Excesso	Excesso
	< 70 % PR	70 % ≤ PR < 90%	90 % ≤ PR < 100%	100 % ≥ PR > 90%	90 % ≥ PR > 70%	≤ 70 % PR
<b>N</b>	< 80	80 - 85	85 - 95	95 - 105	105 - 115	≥ 115
<b>P</b>	< 66	66 - 76	76 - 93	93 - 115	115 - 136	≥ 136
<b>K</b>	< 75	75 - 88	88 - 105	105 - 122	122 - 134	≥ 134
<b>Ca</b>	< 75	75 - 84	84 - 99	99 - 117	117 - 133	≥ 133
<b>Mg</b>	< 79	79 - 93	93 - 114	114 - 134	134 - 149	≥ 149
<b>S</b>	< 78	78 - 88	88 - 108	108 - 132	132 - 155	≥ 155
<b>Cu</b>	< 78	78 - 89	89 - 110	110 - 136	136 - 161	≥ 161
<b>Fe</b>	< 63	63 - 74	74 - 93	93 - 118	118 - 143	≥ 143
<b>Zn</b>	< 67	67 - 79	79 - 103	103 - 134	134 - 166	≥ 166
<b>Mn</b>	< 83	83 - 95	95 - 117	117 - 144	144 - 170	≥ 170
<b>B</b>	< 65	65 - 70	70 - 84	84 - 109	109 - 153	≥ 153

Ao observarmos as equações (Tabela 2) e as faixas de suficiência (Tabela 3), é notório que o relacionamento entre a produtividade relativa (PR) e os IBKW não são simétricos. Tal fato nos leva a indagar sobre o proposto por Kenworthy quanto à simetria implícita nos valores de referência: deficiente (IBKW < 50 %), abaixo do normal (50 ≤ IBKW < 83 %), normal (83 ≤ IBKW < 117 %), acima do normal (117 ≤ IBKW < 150 %) e excessiva (IBKW ≥ 150 %). Dentro desse contexto, podemos analisar que em condições onde faixas de suficiência são obtidas apenas por critérios estatísticos como o proposto por Kenworthy, que parte do princípio que a variabilidade média do teor na população de referência fique com CV de 20 %, mostra-se limitante, principalmente para interpretar análises foliares em condições onde a variabilidade difere muito desse valor.

Podemos encontrar limitações quanto a interpretação dos IBKW com base em classes simétricas onde a amplitude não se distingue quanto à cultura e nutrientes, como também relatado por Fernandes (2010) e Galdino (2015).

Diante da tabela 3, considerando a faixa normal (Suficiente + Alta) podemos verificar que para os nutrientes K, Mg e S o limite superior elevou-se em relação ao proposto por Kenworthy. Já para todos os nutrientes, o limite inferior da faixa normal (Suficiente + Alta) cresceu em relação ao proposto por Kenworthy, com exceção do P.

Ao analisarmos os micronutrientes (Tabela 3), considerando a faixa normal (Suficiente + Alta), para todos os micronutrientes com exceção do B, o limite superior da faixa normal elevou-se comparado ao proposto por Kenworthy. Já o limite inferior da faixa normal decresceu para todos os micronutrientes com exceção do Cu e Mn.

Com base nas normas IBKW obtidas no presente trabalho para as lavouras de café arábica do estado de Minas Gerais (Tabela 3), foram obtidos os teores dos nutrientes correspondentes as faixas de suficiência (Tabela 4).

Uma vez obtidos os teores correspondentes às faixas de suficiência, torna-se conveniente compararmos os teores de nutrientes considerando a faixa normal (Suficiente + Alta) com os valores obtidos em diferentes trabalhos na literatura.

A faixa normal (Suficiente + Alta) dos teores de N, P, K, Ca, S, Cu, Zn e B determinadas no presente trabalho, apresentaram-se semelhantes aos valores propostos pelos autores (Tabela 5).

Para o Mg a faixa normal (Suficiente + Alta) determinada no presente trabalho (3,86 a 6,35 g/kg), apresentou-se superior a obtida por Malavolta (1993) que variou de 3,10 a 3,60 g/kg, entretanto, corrobora com as faixas obtidas pelos demais autores.

**Tabela 4:** Teores de macro e micronutrientes em folhas de lavouras de café arábica de Minas Gerais correspondentes às faixas de suficiência proposta no presente trabalho.

Nutriente	Deficiente	Tendência a Suficiente	Suficiente	Alta	Tendência a Excesso	Excesso
	< 70 % PR	70 % ≤ PR < 90%	90 % ≤ PR < 100%	100 % ≥ PR > 90%	90 % ≥ PR > 70%	≤ 70 % PR
	----- g/kg -----					
<b>N</b>	< 26,33	26,33 - 28,55	28,55 - 32,46	32,46 - 36,42	36,42 - 40,22	≥ 40,22
<b>P</b>	< 0,85	0,85 - 1,07	1,07 - 1,47	1,47 - 1,96	1,96 - 2,44	≥ 2,44
<b>K</b>	< 16,96	16,96 - 20,87	20,87 - 26,29	26,29 - 31,46	31,46 - 35,28	≥ 35,28
<b>Ca</b>	< 8,50	8,50 - 9,87	9,87 - 12,17	12,17 - 14,90	14,90 - 17,34	≥ 17,34
<b>Mg</b>	< 2,94	2,94 - 3,86	3,86 - 5,13	5,13 - 6,35	6,35 - 7,26	≥ 7,26
<b>S</b>	< 0,81	0,81 - 1,08	1,08 - 1,56	1,56 - 2,16	2,16 - 2,72	≥ 2,72
	----- mg/kg -----					
<b>Cu</b>	< 6,70	6,70 - 10,60	10,60 - 17,70	17,70 - 26,70	26,70 - 35,10	≥ 35,10
<b>Fe</b>	< 23,10	23,10 - 30,80	30,80 - 44,70	44,70 - 62,80	62,80 - 80,50	≥ 80,50
<b>Zn</b>	< 7,60	7,60 - 12,00	12,00 - 20,40	20,40 - 31,90	31,90 - 43,30	≥ 43,30
<b>Mn</b>	< 47,70	47,70 - 113,30	113,30 - 229,90	229,90 - 376,60	376,60 - 514,50	≥ 514,50
<b>B</b>	< 28,80	28,80 - 38,10	38,10 - 59,40	59,40 - 100,90	100,90 - 171,40	≥ 171,40

Dentre os nutrientes, o Fe foi o único elemento que apresentou faixa normal (Suficiente + Alta) inferior ao obtido pelos autores, com exceção da faixa obtida por

Martinez et al. (2003).

**Tabela 5:** Faixas normal (Suficiente + Alta) dos teores de macro e micronutrientes em folhas de cafeeiro, recomendada por diferentes autores em comparação ao proposto no presente trabalho.

Nutriente	Autores					Este trabalho
	1	2	3	4	5	
	----- g/kg -----					
N	27,00 - 32,00	23,00 - 30,00	29,00 - 32,00	30,00 - 35,00	28,70 - 37,60	28,55 - 36,42
P	1,50 - 2,00	1,20 - 2,00	1,60 - 1,90	1,20 - 2,00	1,20 - 2,00	1,07 - 1,96
K	19,00 - 24,00	20,00 - 25,00	22,00 - 25,00	18,00 - 25,00	20,00 - 29,10	20,87 - 31,46
Ca	10,00 - 14,00	10,00 - 25,00	13,00 - 15,00	10,00 - 15,00	9,90 - 14,00	9,87 - 14,90
Mg	3,10 - 3,60	2,50 - 4,00	4,00 - 4,50	3,50 - 5,00	2,90 - 5,10	3,86 - 6,35
S	1,50 - 2,00	1,00 - 2,00	1,50 - 2,00	1,50 - 2,00	1,05 - 1,70	1,08 - 2,16
	----- mg/kg -----					
Cu	8,0 - 16,0	10,0 - 25,0	11,0 - 14,0	10,0 - 50,0	14,6 - 32,9	10,60 - 26,70
Fe	90,0 - 180,0	70,0 - 125,0	100,0 - 130,0	100,0 - 200,0	52,5 - 127,3	30,80 - 62,80
Zn	8,0 - 16,0	12,0 - 30,0	15,0 - 20,0	10,0 - 20,0	7,4 - 20,6	12,00 - 31,90
Mn	120,0 - 210,0	50,0 - 200,0	80,0 - 100,0	50,0 - 100,0	106,1 - 223,3	133,30 - 376,60
B	59,0 - 60,0	40,0 - 75,0	50,0 - 60,0	40,0 - 80,0	37,8 - 64,8	38,10 - 100,90

Fontes: 1. MALAVOLTA (1993); 2. MILLS e JONES JR. (1996); 3. MALAVOLTA et al. (1997); 4. MATIELLO (1997); 5. MARTINEZ et al. (2003).

A faixa normal (Suficiente + Alta) para o Mn (113,30 a 376,60 mg/kg) foi superior ao referido por Malavolta et al. (1997) e por Matiello (1997), que variou de 80 a 100 mg/kg, entretanto, corrobora com as faixas recomendadas pelos demais autores.

Com base na tabela 5, nota-se que, para o K, Mg, S, Zn, Mn e B o limite superior da faixa normal (Suficiente + Alta) no presente trabalho, mostrou-se superior ao encontrado pelos demais autores. Porém, de modo geral, as faixas normais dos teores foliares obtidas pelo método da região de fronteira, mostraram-se grande similaridade aquelas recomendadas na literatura, o que reforça a capacidade preditiva do uso da técnica na determinação de faixas de suficiência com um maior significado biológico (FERNANDES, 2010), possibilitando deste modo, o refinamento do diagnóstico nutricional das lavouras cafeeiras no estado de Minas Gerais.

Seguindo os mesmos procedimentos foram obtidas as curvas de resposta potencial quanto ao grau de equilíbrio do nutriente estimado (CRPENE), ou seja, as equações de regressão da LFS que relaciona a produtividade relativa (em %, em que a produtividade relativa = produtividade de cada lavoura em sc / produtividade da lavoura mais produtiva x 100) de lavouras do ano de alta produtividade com seus respectivos índices DRIS para os macros e micronutrientes (Tabela 6).

**Tabela 6:** Equações ajustadas do relacionamento entre a produtividade relativa (y) da população de fronteira em função dos índices DRIS (x) dos macros e micronutrientes.

Nutriente	Equação	R <sup>2</sup>	n
N	$\hat{y} = 98,014 + 21,719 x / 1 + 0,480 x + 1,085 x^2$	0,974	12
P	$\hat{y} = 95,476 - 5,384 x - 12,754 / x^2$	0,913	8
K	$\hat{y} = -97,555 - 1,763 x - 23,897 x^2$	0,817	10
Ca	$\hat{y} = 105,221 + 2,015 x - 34,553 / x^2$	0,839	8
Mg	$\hat{y} = 106,044 - 9,369 x - 27,127 x^2$	0,872	9
S	$\hat{y} = 102,430 - 2,740 x - 14,091 x^2$	0,755	7
Cu	$\hat{y} = 100,928 + 10,375 x - 20,611 x^2$	0,935	9
Fe	$\hat{y} = 105,997 + 0,723 x - 17,287 x^2$	0,912	7
Zn	$\hat{y} = 1 / 0,010 + 0,001 x + 0,0008 x^2$	0,983	5
Mn	$\hat{y} = (99,231 + 21,215 x) / (1 + 0,096 x + 0,201 x^2)$	0,984	7
B	$\hat{y} = 101,372 - 3,853 x - 8,791 x^2$	0,931	7

Neste caso, a LFS representa o relacionamento dos índices DRIS variável independente, sobre a produtividade relativa (PR) variável dependente. Assim lavouras que se encontram abaixo da região de fronteira correspondem aquelas que sofreram interferência de outras variáveis ou da combinação de variáveis que podem estar limitando a variável dependente.

O uso da LFS permitiu isolar dentro de um grande número de lavouras, aquelas onde haveria o efeito apenas de um fator de produção, neste caso o estado nutricional quanto ao grau de equilíbrio relacionado a cada nutriente. Assim, as lavouras que se encontram abaixo da LFS foram limitadas por outros fatores de produção, sendo estes, nutricionais ou não nutricionais, além do fator em estudo.

Com base nas CRPENE do relacionamento entre a produtividade relativa (PR) em função dos índices DRIS, mediante o uso do método da linha de fronteira, e considerando as faixas de valores de produtividade por meio da produtividade relativa, determinou-se para os macros e micronutrientes as faixas de suficiência quanto ao grau de equilíbrio nutricional para a cultura do café arábica em Minas Gerais (Tabela 7).



**Tabela 7:** Faixas de suficiência propostos para os Índices DRIS dos macros e micronutrientes em lavouras de café arábicas de Minas Gerais, derivados do método da Região de Fronteira, com base na produtividade relativa (PR).

Nutriente	Deficiente	Tendência a Suficiente	Suficiente	Alta	Tendência a Excesso	Excesso
	< 70 % PR	70 % ≤ PR < 90%	90 % ≤ PR < 100%	100 % ≥ PR > 90%	90 % ≥ PR > 70%	≤ 70 % PR
<b>N</b>	< -0,68	-0,68 a -0,41	-0,41 a -0,11	-0,11 a 0,20	0,20 a 0,53	≥ 0,53
<b>P</b>	< -1,70	-1,70 a -1,07	-1,07 a -0,19	-0,19 a 0,65	0,65 a 1,29	≥ 1,29
<b>K</b>	< -1,12	-1,12 a -0,67	-0,67 a -0,02	-0,02 a 0,59	0,59 a 1,06	≥ 1,06
<b>Ca</b>	< -0,91	-0,91 a -0,51	-0,51 a 0,04	0,04 a 0,55	0,55 a 0,97	≥ 0,97
<b>Mg</b>	< -1,25	-1,25 a -0,79	-0,79 a -0,15	-0,15 a 0,45	0,45 a 0,90	≥ 0,90
<b>S</b>	< -1,56	-1,56 a -0,94	-0,94 a -0,08	-0,08 a 0,74	0,74 a 1,37	≥ 1,37
<b>Cu</b>	< -0,96	-0,96 a -0,44	-0,44 a 0,26	0,26 a 0,95	0,95 a 1,45	≥ 1,45
<b>Fe</b>	< -1,32	-1,32 a -0,76	-0,76 a 0,02	0,02 a 0,79	0,79 a 1,36	≥ 1,36
<b>Zn</b>	< -2,92	-2,92 a -1,80	-1,80 a -0,63	-0,63 a 0,49	0,49 a 1,61	≥ 1,61
<b>Mn</b>	< -0,99	-0,99 a -0,41	-0,41 a 0,29	0,29 a 1,09	1,09 a 2,00	≥ 2,00
<b>B</b>	< -2,07	-2,07 a -1,28	-1,28 a -0,19	-0,19 a 0,85	0,85 a 1,64	≥ 1,64

Com base no (Tabela 7) do relacionamento entre a produtividade relativa (PR) das lavouras da região de fronteira e os valores de índices DRIS de cada nutriente, verificamos ausência de simetria para os nutrientes N, Zn e Mn.

A maioria dos macronutrientes apresentou uma redução do limite superior, o que sugere indagações sobre o proposto no presente trabalho com relação as “faixas de Beaufils”: desequilibrado por falta (< -1,33 s), tendência a desequilibrado por falta (-1,33 s a -0,66 s); equilibrado (-0,66 s a 0,66 s); tendência a desequilibrado por excesso (0,66 s a 1,33 s); e desequilibrado por excesso (> 1,33 s).

Analisando a faixa considerada normal para os índices DRIS com relação aos macronutrientes, é notório que houve uma ampliação no limite inferior, com exceção do N e do Ca.

Dentre os micronutrientes o Fe, Zn e B apresentaram limites inferiores mais amplos do que o proposto por Beaufils, e para o Cu, Fe, Mn e B o efeito se deu ao contrário, onde estes apresentaram limites superiores mais amplos.

De modo geral, a faixa considerada normal de índices DRIS para todos os nutrientes ficaram próximos ao proposto por Beaufils, com exceção do S, Fe e B que apresentaram tanto limites superiores quanto inferiores mais amplos.

### **4.3 Diagnóstico nutricional em lavouras de café arábica do estado de Minas Gerais com base nos novos valores de referência.**

Com base nos valores de referência propostos no presente trabalho para interpretação dos índices balanceados de Kenworthy, foi gerado o diagnóstico nutricional para as 257 lavouras da base de dados (Tabela 8).

Com base na Tabela 8, verificamos que uma grande distribuição de lavouras avaliadas se encontra dentro da faixa considerada normal (Suficiente + Alta) para os nutrientes N (51,36 %), P (70,04 %), K (64,59 %), Ca (61,48 %), Zn (70,43 %), B (68,48 %), Mn (51,75 %) e Fe (63,42 %).

Os nutrientes Mg (59,14 %), S (51,36 %) e Cu (54,09 %) foram os que apresentaram a maior distribuição de lavouras dentro das faixas limitantes por falta ou por excesso. Entretanto, se analisarmos apenas a distribuição de lavouras dentro da faixa limitante por falta, nota-se que o Mg foi o nutriente mais limitante, ou seja, grande parte das lavouras apresentaram deficiência. Segundo Martinez et al. (2003) problemas nutricionais quanto a deficiência de Mg pode ser atribuída ao uso frequente de calcário calcítico, como também, o emprego de adubações com doses elevadas de K, levando a deficiência desse macronutriente para as plantas.

Menezes (2001) relatou a deficiência de Mg ao avaliar a situação nutricional de diferentes regiões produtoras do estado de Minas Gerais, onde detectou a deficiência desse elemento em lavouras de média produtividade na região de Patrocínio, Guaxupé e São Sebastião do Paraíso.

A deficiência de Mg compromete o desempenho produtivo da cultura, já que esse nutriente é componente integrante da molécula de clorofila, sendo de extrema importância na formação de estruturas vegetativas e reprodutivas. Segundo Malavolta (1993), a deficiência pode ser corrigida com o uso de calcários dolomíticos, entretanto, em condições onde a deficiência é muito severa, recomenda-se o uso de aplicações foliares.

**Tabela8:** Distribuição de lavouras (%) dentro de cada classe de diagnóstico dos Índices balanceados de Kenworthy, para os macros e micronutrientes pelo método da Região de Fronteira.

Nutrientes	Classe <sup>1</sup>				ICL_A <sup>2</sup>
	Limitante por falta	Suficiente	Alto	Limitante por excesso	
<b>N</b>	21,40	21,40	29,96	27,24	58,33
<b>P</b>	7,00	33,46	36,58	22,96	52,22
<b>K</b>	26,07	40,08	24,51	9,34	37,95
<b>Ca</b>	21,01	29,18	32,30	17,51	52,53
<b>Mg</b>	45,91	31,91	8,95	13,23	21,90
<b>S</b>	36,58	28,79	19,84	14,79	40,80
<b>Zn</b>	19,46	46,30	24,12	10,12	34,25
<b>B</b>	5,84	19,46	49,03	25,68	71,59
<b>Cu</b>	45,14	29,96	15,95	8,95	34,75
<b>Mn</b>	43,58	42,41	9,34	4,67	18,05
<b>Fe</b>	14,40	22,18	41,25	22,18	65,03

<sup>1</sup>Limitante por falta (PR < 90 %), Suficiente (90 ≤ PR < 100%), Alta (100 % ≤ PR < 90% a direita), limitante por excesso (PR ≤ 90 % a direita); <sup>2</sup>Índice de consumo de luxo: Alta / (Suficiente + Alta)

O Cu foi o segundo nutriente mais problemático quanto à limitação por falta, a deficiência pode ser atribuída a solos pobres nesse nutriente, como também, o não emprego de fungicidas cúpricos no programa de combate a ferrugem. Correções podem ser realizadas por meio de pulverizações a base de oxiclreto ou sulfato de cobre (MALAVOLTA, 1993). Menezes (2001) relata deficiência de Cu em grande parte das lavouras cafeeiras das regiões de Patrocínio, Guaxupé e São Sebastião do Paraíso.

O Mn foi o terceiro nutriente mais limitante por falta, estando sua deficiência em lavouras cafeeiras associada a solos pobres nesse elemento, ou pela presença de altos valores de pH relacionados a excessivas calagens (REISENAUER, 1988). Menezes (2001) ao avaliar o estado nutricional de lavouras cafeeiras de diferentes regiões do estado de Minas Gerais relata deficiências de Mn em lavouras de Manhuaçu e Patrocínio. Limitação quanto a deficiência de Mn também foi verificada por Lana et al. (2010) em cafeeiro arábica na região de Alto Paranaíba.

O quarto nutriente mais limitante por falta foi o S, e sua deficiência pode estar associada ao uso de baixas doses de adubos nitrogenados como o sulfato de amônio (BORGES et al., 2004). A substituição do sulfato de amônio por uréia, por exemplo, pode ser um indicativo da grande distribuição de lavouras dentro da classe suficiente e alta para o N, ocasionando limitação por falta do S, como relatado por Martinez et al.

(2003) em lavouras da Zona da Mata.

Considerando a classe limitante por excesso verificamos que o N (27,24 %), B (25,68 %), P (22,96 %) foram os nutrientes que apresentaram a maior distribuição de lavouras. Na literatura problemas quanto ao excesso de B foram encontrados em lavouras cafeeiras de Manhauçu e Patrocínio, o autor atribuiu altos teores, a aplicações foliares na época que antecedeu a amostragem foliar (MENEZES, 2001). O emprego de formulações NPK em lavouras cafeeiras é uma prática feita por grande parte dos produtores, sem que haja uma orientação quanto ao suprimento de outros nutrientes, tal fato pode acarretar no maior suprimento desses três macronutrientes, o que pode estar relacionado com maior distribuição de lavouras na classe limitante por excesso para o N e P. O menor crescimento vegetativo também pode levar a um efeito de concentração dos nutrientes no tecido das plantas.

Os nutrientes N, P, Ca, B e Fe apresentaram maior distribuição de lavouras dentro da faixa classificada como alta quando comparada a distribuição de lavouras dentro da classe suficiente (Tabela 8), sendo um indicativo de luxo. A separação da classe normal em suficiente e alta foi proposta por Locatelli (2009), Fernandes (2010) e Galdino (2015) pelo fato de permitir uma diagnose mais refinada no sentido de identificar certo “consumo de luxo” dos nutrientes nas lavouras. Deste modo, criou-se um índice (ICL\_A) que corresponde à distribuição de lavouras dentro da classe alta dividida pela soma das classes suficiente mais alta. Dentro deste contexto, podemos perceber que tanto a classe alta como o índice (ICL\_A), são índices que permitem um refinamento do diagnóstico quanto ao “consumo de luxo”.

O diagnóstico da população de lavouras com base no índice (ICL\_A) mostra que a sequência decrescente do consumo de luxo foi: B > Fe > N > Ca > P > S > K > Cu > Zn > Mg > Mn.

Os métodos de diagnose nutricional Kenworthy que avalia o balanço nutricional e o DRIS que avalia o grau de equilíbrio, muitas vezes são usados de modo isolado, entretanto, a utilização conjunta dos dois métodos possibilita um diagnóstico nutricional mais refinado quanto à harmonia do balanço e do equilíbrio nutricional.

Com base nas classes de diagnóstico dos índices DRIS (Tabela 9), verificamos que grande distribuição de lavouras avaliadas se encontra dentro da faixa considerada normal (Suficiente + Alta) para os nutrientes: P (75,88 %), K (71,98 %), Ca (62,65 %), Mg (57,98 %), S (72,76 %), Zn (75,10 %), B (85,21 %), Mn (62,65 %) e Fe (66,93 %).

Analisando a distribuição de lavouras na tabela 9, com base nos índices DRIS a

maioria dos nutrientes apresentou um aumento na distribuição de lavouras dentro da faixa normal (Suficiente + alta), com exceção do N e Cu. Deste modo, houve uma redução na distribuição de lavouras dentro da classe limitante por falta ou por excesso, a redução foi de: P (24,12 %), K (28,02 %), Ca (37,35 %), Mg (42,02 %), S (27,24 %), Zn (24,90 %), B (14,79 %), Mn (37,35 %) e Fe (33,07 %).

Dentre os nutrientes o Cu foi o único nutriente que tanto no diagnóstico com base nos índices Kenworthy e nos índices DRIS, a distribuição de lavouras dentro da faixa considerada normal foi inferior a 50 %. Sendo o nutriente que se encontra limitante para grande parte das lavouras no que se refere ao balanço e ao equilíbrio nutricional.

O N e o Cu foram os únicos que apresentaram um aumento na distribuição de lavouras dentro das classes limitante por falta ou excesso (54,09 %) e (56,42 %) respectivamente, com base diagnóstico dos índices DRIS.

**Tabela 9:** Distribuição de lavouras (%) dentro de cada classe de diagnóstico dos Índices DRIS, para os macros e micronutrientes pelo método da Região de Fronteira.

Nutrientes	Classe <sup>1</sup>				
	Limitante por falta	Suficiente	Alto	Limitante por excesso	ICL_A <sup>2</sup>
N	24,12	20,23	25,68	29,96	55,93
P	3,11	31,52	44,36	21,01	58,46
K	13,62	33,07	38,91	14,40	54,05
Ca	20,62	31,13	31,52	16,73	50,31
Mg	19,07	29,18	28,79	22,96	49,66
S	9,34	32,68	40,08	17,90	55,08
Zn	1,17	18,68	56,42	23,74	75,13
B	4,67	33,85	51,36	10,12	60,27
Cu	38,52	26,46	17,12	17,90	39,29
Mn	28,40	36,58	26,07	8,95	41,61
Fe	14,79	34,63	32,30	18,29	48,26

<sup>1</sup>Limitante por falta (PR < 90 %), Suficiente (90 ≤ PR < 100%), Alta (100 % ≤ PR < 90% a direita), limitante por excesso (PR ≤ 90 % a direita); <sup>2</sup>Índice de consumo de luxo: Alta / (Suficiente + Alta)

Ao verificarmos a classe limitante por falta, nota-se que o Cu foi o nutriente mais limitante. Menezes (2001) relata problemas quanto à deficiência de Cu com base no diagnóstico dos índices DRIS nas regiões de Manhauçu e Patrocínio, entretanto, encontrou problemas quanto ao excesso na região de Viçosa. Andrade & Ferreira (2004) também encontraram problemas de deficiência de Cu ao avaliarem o estado nutricional

de lavouras de café arábica no estado do Rio de Janeiro, assim como, Farnezi et al. (2009) em cafezais da região do Alto Paranaíba.

Com intuito de refinar o diagnóstico quanto ao “consumo de luxo” como relatado anteriormente, a sequência decrescente com base no índice ICL\_A foi: Zn > B > P > N > S > K > Ca > Mg > Fe > Mn > Cu.

A condição nutricional de uma lavoura é um fator de destaque no que se refere à obtenção de altas produtividades. Isso porque, do ponto de vista nutricional, altas produtividades são alcançadas quando as plantas estão bem ajustadas quanto ao balanço e quanto ao equilíbrio, sendo assim, oportuno considerar a avaliação conjunta das lavouras.

De acordo com a Tabela 10, verifica-se que, quando as lavouras são submetidas à análise conjunta quanto ao grau de balanço e de equilíbrio, há uma redução acentuada na distribuição das lavouras para ambas as classes (Suficiente e Alta) considerando todos os nutrientes.

Com base na análise conjunta e levando em consideração a faixa normal (Suficiente + Alta) a ordem decrescente quanto à distribuição de lavouras equilibradas e balanceadas: P (54,86 %), B (52,92 %), Fe (42,02 %), Ca (38,13 %), K (34,63 %), Cu (27,24 %), Mn (26,46 %), S (24,51 %), N (18,29 %), Zn (14,01 %) e Mg (8,95 %).

**Tabela 10:** Distribuição de lavouras (%) dentro das classes Suficiente e Alta correspondente a avaliação conjunta dos Índices DRIS e Kenworthy, para os macros e micronutrientes.

Classe <sup>1</sup>	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	B	Cu	Mn	Fe
Suficiente	6,23	23,35	18,68	18,29	7,00	8,95	2,72	18,29	19,84	21,40	17,90
Alto	12,06	31,52	15,95	19,84	1,95	15,56	11,28	34,63	7,39	5,06	24,12

<sup>1</sup>Suficiente ( $90 \leq PR < 100\%$ ) e Alta ( $100\% \leq PR < 90\%$  à direita), com base no relacionamento, pelo método da linha de fronteira, da produtividade relativa em função dos índices de balanço e de equilíbrio.

Portanto, o diagnóstico nutricional das 257 lavouras com base nos IBKW mostra que os nutrientes mais limites seja por falta ou excesso foram Mg, S e Cu, e os nutrientes que apresentaram um certo luxo foram o B, Fe e N. O diagnóstico nutricional com base nos índices DRIS evidencia que os nutrientes mais limitantes por falta ou excesso foram o N e o Cu, e os nutrientes que apresentaram um certo luxo quanto ao equilíbrio foram o Zn, B e P. De acordo com a análise conjunta, o Mg e o Zn foram os nutrientes que apresentaram a menor distribuição de lavouras balanceadas e

equilibradas.

#### 4.4 Diagnóstico nutricional em lavouras de café arábica do estado de Minas Gerais quanto à bienalidade da produção, com base nos novos valores de referência.

Com base nas faixas de suficiência para interpretação dos índices balanceados de Kenworthy propostos no presente trabalho, determinou-se o diagnóstico das lavouras do ano de alta produtividade (Tabela 11). Os nutrientes que apresentaram a maior distribuição de lavouras dentro da classe normal (Suficiente + Alta) foram: N (65,60 %), P (85,60 %), K (70,40 %), Ca (71,20 %), Zn (72,00 %), B (73,60 %) e Fe (59,20 %).

**Tabela 11:** Distribuição de lavouras (%) dentro de cada classe de diagnóstico dos Índices balanceados de Kenworthy do ano de alta produtividade, para os macros e micronutrientes pelo método da Região de Fronteira.

Nutrientes	Classe <sup>1</sup>				
	Limitante por falta	Suficiente	Alto	Limitante por excesso	ICL_A <sup>2</sup>
N	10,40	26,40	39,20	24,00	59,76
P	3,20	40,00	45,60	11,20	53,27
K	21,60	48,80	21,60	8,00	30,68
Ca	16,00	38,40	32,80	12,80	46,07
Mg	51,20	36,00	6,40	6,40	15,09
S	39,20	22,40	24,80	13,60	52,54
Zn	16,00	45,60	26,40	12,00	36,67
B	5,60	21,60	52,00	20,80	70,65
Cu	46,40	31,20	12,00	10,40	27,78
Mn	45,60	37,60	10,40	6,40	21,67
Fe	17,60	20,00	39,20	23,20	66,22

<sup>1</sup>Limitante por falta (PR < 90 %), Suficiente (90 ≤ PR < 100%), Alta (100 % ≤ PR < 90% a direita), limitante por excesso (PR ≤ 90 % a direita); <sup>2</sup>Índice de consumo de luxo: Alta / (Suficiente + Alta)

Os nutrientes que apresentaram a maior distribuição de lavouras dentro das faixas limitantes por falta ou excesso foram: Mg (57,60 %), S (52,80 %), Cu (52,80 %) e Mn (52,00 %). O Mg foi o nutriente mais limitante por falta em lavouras cafeeiras do ano de alta produtividade, como também verificado por Menezes (2001) que constatou a deficiência do mesmo nutriente em lavouras cafeeiras da região de Patrocínio no ano de alta produtividade. A mesma autora encontrou em lavouras do ano de alta produtividade, nas regiões de Manhuaçu e Patrocínio problemas quanto à deficiência de Mn, o que corrobora com o presente trabalho, onde este nutriente foi o segundo mais limitante por

falta.

Deficiência de Mg pode ser atribuída a aplicações excessivas de calcário com baixas concentrações desse elemento, que muitas vezes é feito no ano de alta carga pendente, como também elevadas adubações de K. Outro problema relacionado às lavouras cafeeiras é a aplicação de calcário sem considerar a profundidade efetiva, como consequência uma aplicação demasiada que promove uma elevação acentuada no pH do solo, levando a indisponibilidade do Mn (MARTINEZ et al., 2003).

O índice ICL\_A possibilita obter o diagnóstico quanto a possíveis excessos, também denominado de “consumo de luxo”. Com base na frequência de lavouras do ano de alta produtividade, a sequência decrescente com base no índice ICL\_A foi: B > Fe > N > P > S > Ca > Zn > K > Cu > Mn > Mg.

Na tabela 12, encontram-se a distribuição de lavouras do ano de baixa produtividade dentro das classes de diagnóstico com base nos índices balanceados de Kenworthy. Os nutrientes que apresentaram a maior distribuição de lavouras dentro da classe normal (Suficiente + Alta) foram: P (52,80 %), K (60,80 %), Ca (51,20 %), Zn (70,40 %), B (64,00 %), Mn (56,80 %) e Fe (67,20 %).

Nas lavouras do ano de baixa produtividade os nutrientes que apresentaram a maior distribuição dentro das classes limitante por falta ou por excesso foram: N (62,40 %), Mg (62,40 %), S (50,40 %) e Cu (51,20 %). Podemos observar que para ambos os anos os nutrientes Mg, S e Cu apresentaram-se limitante seja por falta ou por excesso, com exceção do Mn que se apresentou limitante somente no ano de alta produtividade, e o N somente no ano de baixa produtividade. Meneses (2001) avaliando a condição nutricional de cafeeiros de diferentes regiões de Minas Gerais relata a deficiência de Cu em lavouras do ano de baixa produtividade nas regiões de Patrocínio, Guaxupé e São Sebastião do Paraíso.

Com base no índice ICL\_A que permite conhecer o “consumo de luxo” a sequência decrescente da distribuição de lavouras do ano de baixa produtividade foi: B > Fe > Ca > N > P > K > Cu > Zn > Mg > S > Mn.

Ao analisarmos a distribuição de lavouras dentro da classe normal (Suficiente + Alta) comparando o ano de alta produtividade com o ano de baixa produtividade, nota-se que para grande parte dos nutrientes houve uma redução na distribuição de lavouras dentro da classe normal (Suficiente + Alta), na amplitude de: N (28 %), P (32,8 %), K (9,6 %), Ca (20 %), Mg (4,8 %), Zn (1,6 %) e B (9,6 %).

Os diagnósticos com base nos IBKW das lavouras do ano de alta produtividade



indicam que os nutrientes mais limitantes por falta ou por excesso foram o Mg, S, Cu e Mn, e os nutrientes que indicaram um certo grau de consumo de luxo foram B, Fe e N. Para as lavouras do ano de baixa produtividade com base no diagnóstico dos IBKW o N, Mg, S e Cu foram os mais limitantes por falta ou excesso, e o B, Fe e Ca foram os nutrientes que apresentaram um certo grau de consumo de luxo.

**Tabela 12:** Distribuição de lavouras (%) dentro de cada classe de diagnóstico dos Índices balanceados de Kenworthy do ano de baixa produtividade, para os macros e micronutrientes pelo método da Região de Fronteira.

Nutrientes	Classe <sup>1</sup>				ICL_A <sup>2</sup>
	Limitante por falta	Suficiente	Alto	Limitante por excesso	
N	32,80	16,00	21,60	29,60	57,45
P	11,20	25,60	27,20	36,00	51,52
K	29,60	32,80	28,00	9,60	46,05
Ca	25,60	19,20	32,00	23,20	62,50
Mg	42,40	27,20	10,40	20,00	27,66
S	33,60	36,00	13,60	16,80	27,42
Zn	23,20	48,00	22,40	6,40	31,82
B	6,40	17,60	46,40	29,60	72,50
Cu	44,80	29,60	19,20	6,40	39,34
Mn	40,00	48,00	8,80	3,20	15,49
Fe	12,00	24,80	42,40	20,80	63,10

<sup>1</sup>Limitante por falta (PR < 90 %), Suficiente (90 ≤ PR < 100%), Alta (100 % ≤ PR < 90% a direita), limitante por excesso (PR ≤ 90 % a direita); <sup>2</sup>Índice de consumo de luxo: Alta / (Suficiente + Alta)

Deste modo, podemos verificar que quanto ao balanço nutricional, as maiores limitações em lavouras do ano de alta produtividade estão relacionadas aos micronutrientes em sua maioria, com exceção do Mg que foi o único macronutriente limitante. Ambos os anos amostrados apresentaram limitações quanto ao Mg, S e Cu, e que a diferença encontrada foi a limitação por Mn no ano de alta, e limitação por N no ano de baixa produtividade. Deficiência de N em lavouras de baixa produtividade pode estar relacionada com o suprimento inadequado desse nutriente, uma vez que, Prezotti & Rocha (2004) observaram maior exigência a N em anos de baixa produtividade, avaliando a influência da fertilização com NPK em lavouras de café arábica.

Esta informação sugere que, em lavouras do ano de baixa produtividade maiores são as limitações quanto ao grau de balanço nutricional relacionado aos macronutrientes.

Nas tabelas 13 e 14 encontra-se o diagnóstico nutricional das lavouras do ano de

alta produtividade e do ano de baixa produtividade, respectivamente, com base nas faixas de suficiência para interpretação dos índices DRIS proposta no presente trabalho.

Na tabela 13 encontra-se a distribuição de lavouras do ano de alta produtividade dentro das classes de diagnóstico com base nos índices DRIS. Os nutrientes que apresentaram a maior distribuição de lavouras dentro da classe normal (Suficiente + Alta) foram: N (50,40 %), P (85,60 %), K (76,80 %), Ca (70,40 %), Mg (68,00 %), S (69,60 %), Zn (73,60 %), B (86,40 %), Mn (64,00 %) e Fe (70,40 %). O Cu foi o único nutriente que apresentou mais de 50 % de lavouras dentro das faixas limitantes por falta ou por excesso (54,40 %).

O índice ICL\_A possibilita obter o diagnóstico quanto a possíveis excessos, deste modo, a distribuição decrescente de lavouras do ano de alta produtividade com base no índice ICL\_A dos índices DRIS foi: Zn > S > P > N > K > B > Fe > Ca > Mg > Cu > Mn.

**Tabela 13:** Distribuição de lavouras (%) dentro de cada classe de diagnóstico dos Índices DRIS do ano de alta produtividade, para os macros e micronutrientes pelo método da Região de Fronteira.

Nutrientes	Classe <sup>1</sup>				ICL_A <sup>2</sup>
	Limitante por falta	Suficiente	Alto	Limitante por excesso	
N	19,20	19,20	31,20	30,40	61,90
P	3,20	31,20	54,40	11,20	63,55
K	10,40	31,20	45,60	12,80	59,38
Ca	16,80	32,80	37,60	12,80	53,41
Mg	16,80	35,20	32,80	15,20	48,24
S	14,40	22,40	47,20	16,00	67,82
Zn	1,60	14,40	59,20	24,80	80,43
B	5,60	35,20	51,20	8,00	59,26
Cu	38,40	26,40	19,20	16,00	42,11
Mn	24,80	38,40	25,60	11,20	40,00
Fe	15,20	31,20	39,20	14,40	55,68

<sup>1</sup>Limitante por falta (PR < 90 %), Suficiente (90 ≤ PR < 100%), Alta (100 % ≤ PR < 90% a direita), limitante por excesso (PR ≤ 90 % a direita); <sup>2</sup>Índice de consumo de luxo: Alta / (Suficiente + Alta).

Na tabela 14 encontra-se a distribuição de lavouras do ano de baixa produtividade dentro das classes de diagnóstico com base nos índices DRIS. Os nutrientes que apresentaram a maior distribuição de lavouras dentro da classe normal (Suficiente + Alta) foram: P (64,80 %), K (68,00 %), Ca (56,00 %), S (74,40 %), Zn (78,40 %), B (84,00 %), Mn (61,60 %) e Fe (63,20 %).

Os nutrientes que apresentaram maior distribuição dentro das classes limitante por falta ou por excesso foram: N (58,40 %), Mg (52,00 %) e Cu (58,40 %).

O índice ICL\_A possibilita obter o diagnóstico quanto a possíveis excessos, deste modo, a distribuição decrescente de lavouras do ano de baixa produtividade com base no índice ICL\_A: Zn > B > P > Mg > Ca > N > K > Mn > S > Fe > Cu.

De modo comparativo, verifica-se que a distribuição de lavouras do ano de alta produtividade dentro da classe normal (Suficiente + Alta) para grande parte dos nutrientes considerando o diagnóstico com base nos índices DRIS, foi superior ao encontrado no ano de baixa produtividade, com exceção do Zn e S.

**Tabela 14:** Distribuição de lavouras (%) dentro de cada classe de diagnóstico dos Índices DRIS do ano de baixa produtividade, para os macros e micronutrientes pelo método da Região de Fronteira.

Nutrientes	Classe <sup>1</sup>				
	Limitante por falta	Suficiente	Alto	Limitante por excesso	ICL_A <sup>2</sup>
N	28,80	21,60	20,00	29,60	48,08
P	3,20	30,40	34,40	32,00	53,09
K	16,00	36,00	32,00	16,00	47,06
Ca	23,20	28,80	27,20	20,80	48,57
Mg	22,40	24,00	24,00	29,60	50,00
S	4,80	41,60	32,80	20,80	44,09
Zn	0,80	23,20	55,20	20,80	70,41
B	4,00	32,00	52,00	12,00	61,90
Cu	39,20	27,20	14,40	19,20	34,62
Mn	31,20	34,40	27,20	7,20	44,16
Fe	15,20	37,60	25,60	21,60	40,51

<sup>1</sup>Limitante por falta (PR < 90 %), Suficiente (90 ≤ PR < 100%), Alta (100 % ≤ PR < 90% a direita), limitante por excesso (PR ≤ 90 % a direita); <sup>2</sup>Índice de consumo de luxo: Alta / (Suficiente + Alta).

O diagnóstico com base nos índices DRIS das lavouras do ano de alta produtividade evidencia que o Cu foi o nutriente mais limitante por falta ou por excesso, e os nutrientes que indicaram certo grau de luxo foram Zn, S e P. Para as lavouras do ano de baixa produtividade com base no diagnóstico dos índices DRIS, o N, Mg e Cu foram os mais limitantes por falta ou excesso, e o Zn, B e P foram os nutrientes que apresentaram um certo consumo de luxo.

Avaliando o diagnóstico quanto ao equilíbrio nutricional, é notório que em lavouras do ano de alta produtividade o nutriente limitante por falta foi o Cu (Tabela 13), frente ao N, Mg e Cu que foram os nutrientes mais limitantes em lavouras do ano

de baixa produtividade (Tabela 14). Tal fato sugere que lavouras do ano de altas produtividades encontram-se mais equilibradas para grande parte dos nutrientes, em comparação com lavouras do ano de baixa produtividade.

A aplicação de doses inadequadas de fertilizantes e fitossanitários que contêm micronutrientes como o Zn e B (LOPES, 1999), podem explicar os altos valores de ICL\_A. Menezes (2001) ao avaliar o estado nutricional de lavouras de café arábica de Minas Gerais, detectou excesso de B em grande parte das lavouras de Patrocínio, e em lavouras de baixa produtividade de Manhuaçu.

Nas tabelas 15 e 16, encontra-se a distribuição de lavouras do ano de alta e baixa produtividade submetidas à análise conjunta quanto ao grau de balanço e equilíbrio. De modo geral, para ambos os anos avaliados houve uma redução na distribuição de lavouras em ambas as classes para todos os nutrientes quando submetidos à análise conjunta.

Com base na análise conjunta das lavouras do ano de alta produtividade (Tabela 15), e considerando a faixa normal (Suficiente + Alta) a ordem decrescente quanto à distribuição de lavouras equilibradas e balanceadas: P (65,60 %), B (57,60 %), Ca (44,00 %), Fe (43,20 %), K (35,20 %), N (26,40 %), Cu (25,60 %), Mn (23,20 %), S (22,40 %), Zn (16,00 %) e Mg (9,60 %).

**Tabela 15:** Distribuição de lavouras do ano de alta produtividade (%) dentro das classes Suficiente e Alta correspondente a avaliação conjunta dos Índices DRIS e Kenworthy, para os macros e micronutrientes.

Classe <sup>1</sup>	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	B	Cu	Mn	Fe
Suficiente	8,00	26,40	19,20	21,60	9,60	1,60	2,40	20,00	18,40	17,60	16,00
Alto	18,40	39,20	16,00	22,40	0,00	20,80	13,60	37,60	7,20	5,60	27,20

<sup>1</sup>Suficiente ( $90 \leq PR < 100\%$ ) e Alta ( $100\% \leq PR < 90\%$  a direita), com base no relacionamento, pelo método da linha de fronteira, da produtividade relativa em função dos índices de balanço e de equilíbrio.

Com base na análise conjunta das lavouras do ano de baixa produtividade (Tabela 16), e considerando a faixa normal (Suficiente + Alta) a ordem decrescente quanto à distribuição de lavouras equilibradas e balanceadas: B (49,60 %), P (43,20 %), Fe (40,80 %), K (35,20 %), Ca (32,80 %), Mn (30,40 %), Cu (28,00 %), S (24,80 %), Zn (12,80 %), N (11,20 %) e Mg (8,80 %).

**Tabela 16:** Distribuição de lavouras do ano de baixa produtividade (%) dentro das classes Suficiente e Alta correspondente a avaliação conjunta dos Índices DRIS e Kenworthy, para os macros e micronutrientes.

Classe <sup>1</sup>	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	B	Cu	Mn	Fe
Suficiente	4,80	20,00	19,20	14,40	4,80	16,00	3,20	16,80	21,60	25,60	20,00
Alto	6,40	23,20	16,00	18,40	4,00	8,80	9,60	32,80	6,40	4,80	20,80

<sup>1</sup>Suficiente ( $90 \leq PR < 100\%$ ) e Alta ( $100\% \leq PR < 90\%$  a direita), com base no relacionamento, pelo método da linha de fronteira, da produtividade relativa em função dos índices de balanço e de equilíbrio.

Analisando o diagnóstico conjunto levando em consideração o balanço e o equilíbrio nutricional, nota-se que a distribuição de lavouras do ano de alta produtividade (Tabela 15), dentro da classe normal (Suficiente + Alta) foi superior para os nutrientes N, P, Ca, Mg, Zn, B e Fe, em comparação com as lavouras do ano de baixa produtividade (Tabela 16). Já as lavouras do ano de baixa produtividade apresentaram distribuição superior para os nutrientes S, Cu e Mn.

Podemos verificar que o N foi um nutriente frequentemente limitante para grande parte das lavouras do ano de baixa produtividade, seja pelo diagnóstico quanto ao balanço ou pelo equilíbrio nutricional. Segundo Valadares et al. (2013) o N é um nutriente de grande importância para a cultura do cafeeiro, isso porque, o seu suprimento pode reduzir a distribuição da produção de grãos. Tal fato sugere um inadequado manejo nutricional em lavouras do ano de baixa produtividade, quanto ao suprimento de N.

O K foi o macronutriente menos limitante para grande parte das lavouras, tanto no ano de alta quanto no ano de baixa produtividade. Esse nutriente é altamente demandado pela cultura do café, e seu suprimento em anos de baixa produtividade favorece a recuperação da lavoura (Valadares et al., 2013).

De acordo com a análise conjunta do grau de balanço e equilíbrio nutricional, as lavouras do ano de alta produtividade apresentam distribuição superior dentro da classe normal (Suficiente + Alta), sendo esse, um indicativo de melhor condição nutricional em comparação a lavouras do ano de baixa produtividade.

#### **4.5 Utilização da curva de resposta potencial e a análise foliar para relacionar a produtividade com fatores nutricionais e não nutricionais.**

Na literatura, muitos autores atribuem à influência da nutrição no desempenho produtivo das culturas. Entretanto, sabe-se que outros fatores de ordem não nutricional

também podem limitar a produtividade.

Borges (2012) propôs um modulador edáfico a fim de determinar o grau de limitação à produtividade pela nutrição, entretanto, considerando somente o balanço nutricional. Porém, sabe-se que o máximo potencial produtivo de uma lavoura pode ser alcançado, quando esta, encontram-se bem ajustada quanto ao balanço e ao equilíbrio, sendo deste modo, sugestivo incorporar as duas variáveis a fim de avaliar o estado nutricional de modo mais adequado.

Deste modo, foi utilizada a técnica de linha de fronteira superior (LFS) no relacionamento da (PR) com os índices balanceados de Kenworthy, dando origem às curvas de resposta potencial quanto ao grau de balanço do nutriente estimado CRPBNE, e o relacionamento da (PR) com os índices DRIS, originou as curvas de resposta potencial quanto ao grau de equilíbrio do nutriente estimado CRPENE. Assim, os valores dos índices balanceados de Kenworthy e dos índices DRIS obtidos dos resultados das análises foliares de cada lavoura, foram substituídos nas CRPBNE e CRPENE respectivamente, originando os valores de produtividade relativa estimada (PRE) limitantes, seja pelo grau de balanço, ou pelo grau de equilíbrio de cada nutriente.

Na tabela 17, encontram-se os valores dos índices balanceados de Kenworthy, obtidos do resultado da análise foliar de uma lavoura de café arábica escolhida aleatoriamente na base de dados.

Os valores dos índices balanceados de Kenworthy, correspondentes a cada nutriente foram substituídos nas CRPBNE, originando os valores de produtividade relativa estimada limitante quanto ao grau de balanço de cada nutriente. Com base nos valores de (PRE), nota-se que, o Ca foi o nutriente mais limitante quanto ao grau de balanço nutricional, ou seja, foi o nutriente que apresentou a menor (PRE) dentre os demais.

**Tabela 17:** Exemplo da condição nutricional de uma lavoura de café arábica da base de dados da região de Guaxupé/MG: Índices balanceados de Kenworthy e produtividade relativa estimada (PRE) para os macros e micronutrientes.

N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Mn	B
<b>IBKW</b>										
91	95	86	71	87	122	132	156	74	100	72
<b>CRPBNE</b>										
<b>Produtividade relativa estimada (%)</b>										
98,08	99,62	94,26	59,23	88,92	100,00	93,58	63,34	88,25	96,92	96,86

Na tabela 18, encontram-se os valores de índices DRIS obtidos do resultado da análise foliar da mesma lavoura anterior. Os valores de índices DRIS correspondentes a cada nutriente foram substituídos nas CRPENE, originando os valores de produtividade relativa limitante quanto ao grau de equilíbrio de cada nutriente. Com base nos valores de (PRE), o Ca também foi o nutriente mais limitante quanto ao grau de equilíbrio nutricional, ou seja, foi o nutriente que apresentou a menor (PRE) dentre os demais.

**Tabela 18:** Exemplo da condição nutricional de uma lavoura de café arábica da base de dados da região de Guaxupé/MG: Índices DRIS e produtividade relativa estimada (PRE) para os macros e micronutrientes.

N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Mn	B
<b>IDRIS</b>										
-0,11	0,09	-0,33	-1,05	-0,24	0,77	1,23	1,48	-0,98	0,25	-1,09
<b>CRPENE</b>										
<b>Produtividade relativa estimada (%)</b>										
99,58	94,88	95,53	65,01	100,00	91,97	82,47	69,21	100,00	100,00	95,12

Uma vez obtido os nutrientes mais limitantes pelo grau de balanço e de equilíbrio nutricional, foi feita a seleção seguindo o critério da Lei do mínimo. Com base na lavoura avaliada, nota-se que, o balanço nutricional referente ao nutriente Ca foi mais limitante na definição da produtividade, ou seja, apresentou uma (PRE) inferior quando comparada ao nutriente mais limitante pelo equilíbrio.

Sabendo que o balanço nutricional referente ao nutriente Ca foi o que mais limitou a produtividade, podemos dizer que, o máximo de produtividade que a lavoura avaliada poderá alcançar é 59,23 %, já que esta apresenta problemas nutricionais. Caso

esta lavoura estivesse balanceada e equilibrada nutricionalmente dentro dos níveis ideais para todos os nutrientes, ela poderia alcançar 100 % de produtividade. Assim, podemos supor que a lavoura avaliada perdeu 40,77 % de produtividade por causa da condição nutricional inadequada.

$$\text{LIMITAÇÃO NUTRICIONAL: } 100 \% - 59,23 \% = 40,77 \%$$

Porém, analisando a lavoura avaliada nota-se que a mesma apresentou uma produtividade relativa observada de 38,77 %. Se considerarmos que a produtividade foi limitada apenas pela nutrição, conclui-se que a lavoura conseguiria alcançar uma produtividade máxima de 59,23 %. Entretanto, é notório que a produtividade real foi inferior, ou seja, outros fatores de ordem não nutricional também limitaram a produtividade da lavoura. Tal fato nos leva a concluir que a perda de 40,77 % da (PRE) pode ser atribuída aos fatores de ordem nutricional, e a perda de 20,46 % da (PRE) se deve a influência de outros fatores de ordem não nutricional.

$$\text{LIMITAÇÃO DE OUTROS FATORES: } 59,23 \% - 38,77 \% = 20,46 \%$$

Deste modo, a técnica permite avaliar a produtividade da cultura em resposta ao seu estado nutricional, seja pelo grau de balanço ou pelo grau de equilíbrio de cada nutriente avaliado, e assim, permite isolar a influência de outros fatores de ordem não nutricional, como mencionado acima.

Outro ponto interessante dessa ferramenta é a possibilidade de atribuir valor as perdas em produtividade, em detrimento do inadequado manejo nutricional, e assim, ter uma ferramenta mais consistente no momento de convencer, ou mesmo, demonstrar aos produtores a importância da nutrição na determinação da produtividade da cultura. Usando a mesma lavoura, a fim de exemplo, sabemos que esta apresentou uma perda de 40,77 % (PRE), em decorrência do inadequado manejo nutricional. Sabe-se que 40,77 % (PRE) correspondem a 39,96 sacas de café (60 kg beneficiados). Considerando que o valor da saca de café beneficiado é US\$ 148,60 (Cotação do café arábica tipo 6 Duro na cidade de Guaxupé/MG, no dia 29/06/2016), conclui-se que o produtor deixaria de ganhar aproximadamente US\$ 6.200,00, devido ao inadequado manejo nutricional da lavoura.



Portanto, essa é uma estratégia de grande importância prática, de baixo custo e de fácil implementação, dada a disponibilidade de resultados de análises foliares por grande parte dos cafeicultores do estado de Minas Gerais.

## 5. CONCLUSÕES

Foram obtidas curvas de resposta potencial (CRP) para a cultura do café arábica em Minas Gerais com índices Kenworthy e DRIS, que expressam o estado nutricional quanto ao grau de balanço e de equilíbrio, respectivamente.

Com base nas curvas de resposta potencial (CRP) foram obtidas faixas de suficiência para a interpretação do estado nutricional de lavoura de café arábica do estado de Minas Gerais, quanto ao grau de balanço e de equilíbrio nutricional, de acordo com a produtividade relativa.

O método da linha de fronteira pode ser usado visando à obtenção de faixas de suficiência, visando à interpretação de índices Kenworthy e DRIS.

O uso do método da linha de fronteira permitiu determinar o grau de limitação à produtividade, em função do grau de balanço e de equilíbrio nutricional de cada nutriente, isolando os efeitos de fatores não nutricionais.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, W. E. B.; FERREIRA, J. M. Índices de deficiência e excesso de macro e micronutrientes em lavouras cafeeiras do Estado do Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 30. 2004, São Lourenço, MG. Anais. Rio de Janeiro: Fundação PROCAFE, 2004. p.75-76.
- ALMEIDA, E. I. B.; de DEUS, J. A. L.; CORRÊA, M. C. M.; CRISOSTOMO, L. A.; NEVES, J. C. L. Linha de fronteira e chance matemática na determinação do estado nutricional de pitaia. Revista Ciência Agrônômica, v. 47, n. 4, p. 744-754, 2016.
- ALVAREZ V., V. H. Mapeamento edafológico y análisis foliar como basea un programa de fertilización em palma africana. (Tese B.S.). Quito: Universidad Central, 1962. 89 p.
- ALVAREZ V.V. H.; LEITE, R. A. Fundamentos estatísticos das fórmulas usadas para cálculos dos índices DRIS. B. inf. SBCS, v. 24, p. 20-25, 1999.
- AMARAL, J. F. T. do. MARTINEZ, H.E.P.; LAVIOLA, B .G.; TOMAZ, M. A.; FERNANDES FILHO, E. I.; CRUZ, C. D. Produtividade e eficiência de uso de nutrientes por cultivares de cafeeiro. Coffee Science, v.6, 2011. p. 65-74.
- BALDOCK, J. O.; SCHULTE, E. E. Plant analysis with standardized scores combines DRIS and sufficiency range approaches for corn. Agronomy Journal. 88: 448-456. 1996.
- BARBOSA, D. H. S. G; VIEIRA, H. D.; PARTELLI, F. L.; SOUZA, R. M. Estabelecimento de normas DRIS e diagnóstico nutricional do cafeeiro arábica na região noroeste do Estado Rio de Janeiro. Ciência. Rural, v. 36, n. 6, p. 1717-1722, 2006.
- BATAGLIA, O. C.; DECHEN, A. R.; SANTOS, W. R. Diagnose visual e análise de plantas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20, Piracicaba, 1992. Anais... Piracicaba: SBCS, p.369- 404, 1992.
- BEAUFILS, E.R. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS):A general scheme for experimentation and calibration based on principles develop from research in plant nutrition. Pietermaritzburg, University of Natal, South Africa, 1973. 132p. (Soil Science Bulletin, I)
- BERGSTROM, D. W & BEAUCHAMP E.G. 1993. An empirical model of denitrification. Canadian Journal Soil Science. p. 421 – 431. 1993.
- BLANCO-MACÍAS, F.; MAGALLANES-QUINTAMAR, R.; VALDEZ-CEPEDA, R. D.; OLIVARES-SÁENZ, E.; UTIÉRREZORNELAS, E.; VIDALES-CONTRERAS, J. A. Comparison between CND norms and boundary-line approach nutrient standards: opuntia ficus-indica L. case. Revista Chapingo Série Horticultura, v. 15, n. 2, 2009. p. 217-223.

- BORGES, Jarbas Silva. Modulador edáfico para uso em modelo ecofisiológico e produtividade potencial de povoamentos de eucalipto. 2012. 8 – 12 p. Tese de Doutorado (Solos e Nutrição de Plantas) -Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.
- BORGES, I. B.; LANA, R. M. Q.; OLIVEIRA, S.; MELO, B; BORGES, E. N. Estado nutricional de lavouras de café na região do Alto Paranaíba – MG. Biosci. J. v. 20, n. 2, p. 197 – 206, 2004.
- CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F.; MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F. Avaliação da Fertilidade do Solo e Recomendação de Fertilizantes. In: CANTARUTTI, R. B. et al. (Eds.). Fertilidade do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 769-850.
- CASANOVA, D.; GOUDRIAAN, J.; BOUMA, J.; EPEMA, G. F. Yield gap analysis in relation to soil properties in direct-seeded flooded rice. Geoderma, v. 91, n. 3, p. 191-216, 1999.
- CONAB: COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de café. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>> Acesso em: 13 de Setembro de 2015.
- CORRÊA, J. B.; GARCIA, A. W. R.; COSTA, P. C. Extração de nutrientes pelo cafeeiro mundo novo e catuaí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 13, 1986, São Lourenço, Anais. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro do Café, 1986. p. 35-46.
- COSTA, A.N. 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 P. Tese de Doutorado em Fitotecnia - Universidade Federal de Viçosa, 1995.
- DA MATTA, F. M.; RONCHI, C. P.; MAESTRI, M.; BARROS, R. S. Ecophysiology of coffee growth and production. Brazilian Journal of Plant Physiology, v.19, p.485-510, 2007.
- ELLIOTT, J. A & de JONG, E. Prediction of field denitrification rates: a boundary-line approach. Soil Science Society of America. p. 82–87, 1993.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. 2. ed. Londrina: Planta, 2006. 403 p.
- EVANYLO, G. K. Soil and plant calibration for cucumbers grown in the mid-Atlantic coastal plain. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 21: 251–272. 1990.
- EVANYLO, G. K.; SUMNER, M. E. Utilization of the boundary line approach in the development of soil nutrient norms for soybean production. Communications in Soil Science and Plant Analysis. v. 18, p. 1379–1401. 1987.

- EVENHUIS, B.; WAAR, P. W. Principles and practices in plant analysis. In: Food and agriculture organization of the United Nations. Soils. Rome, 1980. p. 152-163. (Bulletin, 38/1).
- FARNEZI, M. M. M.; SILVA, E. B.; GUIMARÃES, P. T. G. Diagnose nutricional de cafeeiros da região do Alto Jequitinhonha (MG): normas DRIS e faixas críticas de nutrientes. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 33, n. 4, p. 969-978, 2009.
- FERNANDES, L. V. Normas e determinação de faixas de suficiência para diagnose foliar com base no crescimento relativo de eucalipto. 2010. 5 – 11 p. Dissertação de mestrado (Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 2010.
- FRASER, J & EATON, G. W. Applications of yield component analysis to crop research. Field Crop. Abstracts 36: 787–797.1983.
- FULLIN, E. A.; MUNER, L. H.; DADALTO, G. G.; PREZOTTI, L. C. Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado de Espírito Santo: adubos e eficiência das adubações, 5ª aproximação. Vitória: SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. p. 49-80.
- GALDINO, M. P. Valores de referência e faixas de suficiência nutricional para avaliação do estado nutricional da cultura do eucalipto no Brasil. 2015. 9 – 20 p. Tese de Doutorado (Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 2015.
- GOTT, R. M. ÍNDICES DIAGNÓSTICOS FOLIARES PARA A CULTURA DO MILHO NO ALTO PARANAÍBA-MG. 2013. 18 p. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa. PARANAÍBA, RIO. 2013
- GUIMARÃES, P. T. G.; REIS, T. H. P. Nutrição e Adubação do Cafeeiro. In: REIS, P. R.; CUNHA, R. L. (Org). Café Arábica do Plantio à Colheita. Lavras: EPAMIG, 2010. p. 343-414.
- HAAG, H. P. A nutrição mineral e o ecossistema. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. (Ed.). Ecofisiologia da produção agrícola. Piracicaba: POTAFOS, 1987. p. 49-69.
- JARREL, W. M & Beverly, R. B. The dilution effect in plant nutrition studies. Advances in agronomy. v.34, p.197-224, 1981.
- JONES, C. A. Proposed modifications of the Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) of interpreting plant analysis. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v.22, p.785-794, 1981.
- JÚNIOR, R. A. R.; CORRÊA, J. B.; CARVALHO, J. G.; GUIMARÃES, P. T. G. Estabelecimento de normas DRIS para o cafeeiro no sul de Minas Gerais: 1ª aproximação. Ciência Agrotécnica, p. 269-282, 2002.

- KENWORTHY, A. L. Interpreting the balance of nutrient element in leaves of fruit trees. In: W. Reuther. Plant analysis and fertilizer problems. (Ed.) Publication 8. Washington, American Institute of Biological Science, 1961. p.28-43.
- KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. Encarte técnico, International Plant Nutrition Institute - IPNI, Informações Agronômicas, n. 118, jun. 2007.
- KURIHARA, C. H. Demanda de nutrientes pela soja e diagnose de seu estacionutricional. 2004. 101 p. Tese de Doutorado (Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.
- LANA, R. M. Q.; OLIVEIRA, S. A.; LANA, A. M.; FARIA, M. V. Levantamento do estacionutricional de plantas de Coffea arabica L. pelo DRIS, na região do Alto Paranaíba, Minas Gerais. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 34: 1147 – 1156, 2010.
- LAVIOLA, B. G. Dinâmica de macronutrientes em folhas, flores e frutos de cafeeiro arábica em três níveis de adubação. 2004. 100 p. Dissertação de Mestrado (Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.
- LEANDRO, W. M. Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) para a cultura da soja (Glycine max L. Merrill) na região de Rio Verde GO. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 157 p. 1998.
- LEECE, D. R. & van den ENDE, B. Diagnostic leaf analysis for stone fruit. Australian Journal of Experimental Agriculture Animal Husbandry, 15:123-8, 1975.
- LEITE, R. A. Avaliação do estacionutricional do cafeeiro conilon no estado do Espírito Santo utilizando diferentes métodos de interpretação de análise foliar. Tese Doutorado (Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 87 p. 1993.
- LEWANDOWSKI, I.; SCHMIDT, U. Nitrogen, energy and land use efficiencies of miscanthus, reed canary grass and triticale as determined by the boundary line approach. Agriculture, Ecosystems & Environment, v. 112, n. 4, p. 335-346, 2006.
- LOCATELLI, M. V. Diagnose nutricional de lavouras de soja da região de Campo Novo dos Parecis, Mato Grosso. Dissertação de Mestrado (Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 5 – 15 p. 2009.
- LOPES, A.S. Micronutrientes, filosofia de aplicação e eficiência agrônômica. ANDA-SP, dezembro 1999, 70p. (Boletim Técnico, 8).
- LUCENA, J. J. Methods of diagnosis of mineral nutrition of plants: A critical review. Acta Hort., 448: 179-192, 1997.
- MAEDA, S. Interpretação do estado nutricional de soja pelo DRIS no Mato Grosso do Sul. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 107 p. 2002.

- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.
- MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 2006. 638 p.
- MALAVOLTA, E. Nutrição mineral e adubação do cafeeiro: colheitas econômicas máximas. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1993. 5 - 45 p.
- MALAVOLTA, E.; DANTAS, J. P.; ROMERO, J. P.; NOGUEIRA, F. D. Estudos sobre a nutrição mineral do cafeeiro: relação entre cálcio e produtividade. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 5, 1977, Guarapari, Anais. Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1977. p. 44.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2ª ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.
- MAPA: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/estatisticas>>. Acesso em: 23 de Fevereiro de 2016.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2. ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.
- MARTINEZ, H. E. P.; MENEZES, J. F. S.; SOUZA, R. B.; ALVAREZ V., V. H.; GUIMARÃES, P. T. G. Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.38, n.6, p.703-713, 2003.
- MARTINEZ, H. E. P.; NEVES, J. C. L. Nutrição Mineral, Calagem, Gessagem e Adubação. In: SAKIYAMA, N. S.; MARTINEZ, H. E. P.; TOMAZ, M. A.; BORÉM, A. (Eds.). Café Arábica do Plantio a Colheita, Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2015.p.64-103.
- MARTINEZ, H. E. P.; NEVES, Y. P.; ZABINI, A. V. Produção integrada do cafeeiro: diagnóstico do estado nutricional do cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. (Ed). Produção Integrada de Café. Viçosa: UFV/DFP. p. 397-441. 2003.
- MARTINEZ, H. E. P.; SOUSA, R. B.; ALVAREZ, V. H.; MENEZES, J. F. S.; OLIVEIRA, J. A.; GUIMARÃES, P. G.; ALVARENGA, A. P.; FONTES, P. C. R. Avaliação da fertilidade do solo, padrões para diagnose foliar e potencial de resposta à adubação de lavouras cafeeiras de Minas Gerais. In: Zambolim, L. (ed.). Café: produtividade, qualidade e sustentabilidade. Viçosa: UFV, p. 209 -238. 2000.
- MARTINEZ, H. E. P.; SOUZA, R. B.; ALVAREZ V., V. H.; MENEZES, J. F. S.; NEVES, Y. P.; OLIVEIRA, J. A.; ALVARENGA, A. P.; GUIMARÃES, P. T. G. Nutrição mineral, fertilidade do solo e produtividade do cafeeiro nas regiões de Patrocínio, Manhuaçu, Viçosa, São Sebastião do Paraíso e Guaxupé. 2ª ed. Belo Horizonte: EPAMIG, 2004. 60 p. (Boletim técnico, 72).

- MATIELLO, J. B. Gosto do meu cafezal. Rio de Janeiro: Globo, 1997. 139 p
- MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D. R. Cultura de café no Brasil: Manual de recomendações. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2010. 387 p.
- MATIELLO, J. B. Gosto do meu cafezal. São Paulo. Correção em cafeeiros jovens da Zona da Mata de Minas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 23, 1997, Manhuaçu. Anais. Brasília: MAA-PROCAFÉ, 1997.48-50 p.
- MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A.W.R.;ALMEIDA, S.R. & FERNANDES, D.R. Cultura de caféno Brasil: Novo manual de recomendações. Rio de Janeiro,MAPA/PROCAFÉ, 2002. 387p
- MENDAL - JOHNSEN, A.; SUMNER, M.E. Foliar diagnostic norms for potatoes. Journal of Plant Nutrition, v. 2, p. 569 - 476, 1980.
- MENDES, A. N. G.; ABRAHÃO, E. J.; CAMBRAIA, J. F.; GUIMARÃES, R. J. Recomendações técnicas para a cultura do cafeeiro no Sul de Minas. Lavras: UFLA, 1995. 76 p.
- MENDONÇA, G. P. NORMAS DO DRIS DO CAFEIRO (*Coffea arabica* L.) NA MICRORREGIÃO DO CAPARAÓ-ES. (Dissertação de mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo. Alegre. 16 -35 p. 2009.
- MENDONÇA, R. F.; RODRIGUES, W. N.; MARTINS, L. D.; TOMAZ, M. A. Abordagem sobre a bienalidade de produção em plantas de café. Enciclopédia Biosfera. 1-7 p. 2011.
- MENEZES, J. F. S. Avaliação do estadonutricional de cafeeiros de Minas Gerais. 2001. 198 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2001.
- MILLS, H. A.; JONES JUNIOR, J. B. Plant analysis handbook II: A Practical Sampling, Preparation, Analysis, and Interpretation Guide. 2ª ed. Athens (GA): Micro-Macro Publishing, 1996. 422 p.
- MØLLER NIELSEN, J.; FRIJS-NIELSEN, B. Evaluation and control of the nutritional status of cereals, II: Pure effect of a nutrient. Plant and Soil,v.45, p. 339–351, 1976.
- NEVES, J. C. L; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; LEITE, R. A.; ALVAREZ, V., V. H.; SILVA, I. R. Monitoramento Nutricional e Recomendação de Adubação. In: Encontro Brasileiro de Silvicultura, 2008, Curitiba. Encontro Brasileiro de Silvicultura, v. 1, p. 51-60, 2008.
- OLIVEIRA, A. P. Índice “S” e suas relações com características físicas de solos e com a produtividade de eucalipto. 2010. 64 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2010.



- PARTELLI, F. L. Estabelecimento de normas DRIS e diagnóstico nutricional do cafeeiro conilon orgânico e convencional no Estado do Espírito Santo, 2004, 96 f. Dissertação de Mestrado (Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2004.
- PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo. 5ª aproximação. Vitória: SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305 p.
- PREZOTTI, C. P.; ROCHA, A. C. Nutrição do cafeeiro arábica em função da densidade de plantas e da fertilização com NPK. *Bragantina*, Campinas. v.63, n.2, p. 239-251, 2004.
- REIS JR., R. A. Diagnose nutricional da cana-de-açúcar com o uso do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS), 1999, 141 p. Tese de Doutorado (Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 1999.
- REIS JUNIOR, R. A. DRIS norms universality in the corn crop. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v. 33, n. 5/6, p. 711-735, 2002.
- REIS JUNIOR, R. A.; CÔRREA, J. B.; CARVALHO, J. G.; GUIMARÃES, P. T. G. Diagnose nutricional de cafeeiros da região sul de Minas Gerais: normas DRIS e teores foliares adequados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 26, n. 3, p. 801-808, 2002.
- REIS JUNIOR, R. A.; MONNERAT, P. H. Sugarcane Nutritional Diagnosis with DRIS Norms Established in Brazil, South Africa and United States. *Journal of Plant Nutrition*, Africa do Sul, v. 25, n. 12, p. 2831-2851, 2002.
- RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.11, n.126, p.26-40, 1985.
- REISENAUER, H. M. Determination of plant-available soil manganese. In: GRAHAN, R. D.; HANNAN, R. J.; UREN, N.C. (Ed). *Manganese in soil and plants*. Dordrecht: Kluwer Academic, 1988. p. 87-98.
- ROCHA, A. C.; LEANDRO, W. M.; ROCHA, A. O.; SANTANA, J. G.; ANDRADE, J. W. S. Normas DRIS para cultura do milho semeado em espaçamento reduzido na região de Hidrolândia, GO, Brasil. *Bioscience Journal*, v.23, p.50-60, 2007.
- ROCHA, J. B. O. Diagnose nutricional de plantios jovens de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo e Sul da Bahia. 2008. 56 p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.
- RUFINO, L. S.; SILVA, M. A. Comercialização. In: SAKIYAMA, N. S. et al. (Eds.). *Café Arábica do Plantio a Colheita*, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2015. p. 302-304.
- SCHMIDT, U., THONI, H. KAUPENJOHANN, M. Using a boundary line approach to

- analyze N<sub>2</sub>O flux data from agricultural soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.57, n.2, p.119-129, 2000.
- SILVA, A. E. S.; COSTA, E. B. Importância econômica e social. In: Manual técnico para a cultura do café no Estado do Espírito Santo. Vitória: Secretaria de Estado de Agricultura, 1995. p. 9-10.
- SILVA, F. M.; ALVES, M. C.; SOUZA, J. C. S.; OLIVEIRA, M. S. Efeitos da colheita manual na bionalidade do cafeeiro em Ijaci, Minas Gerais. *Ciência e Agrotecnologia*, v.34, p.625-632, 2010.
- SILVA, G. G. C. Diagnose nutricional do eucalipto pelo DRIS, MDRIS e CND. 2001. 132 p. Tese (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.
- SILVA, G. G. C.; NEVES, J. C. L.; ALVAREZ V. V. H.; LEITE, F. P. Avaliação da universalidade das normas DRIS, M-DRIS e CND. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 29, n. 5, p. 755-761, 2005.
- TAIZ, L. & ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 3.ed. Porto Alegre, ARTMED, 719p, 2004.
- ULRICH, A. Plant analysis—methods and interpretation of results. In: The American Potash Institute. *Diagnostic techniques for soil and crops*. Washington, 1948. p. 157-198.
- VAAST, P.; ZASOSKI, R. J.; BLEDSOE, C. S. Effects of solution pH, temperature, nitrate/ammonium ratios and inhibitors on ammonium and nitrate uptake by Arabica coffee in short term solution culture. *Journal of Plant Nutrition*, v. 21, n. 7, p. 1551-1564, 1998.
- VALADARES, S. V. NEVES, J. C. L.; ROSA, G. N. P.; MARTINEZ, H. E. P.; ALVAREZ V., V. H.; LIMA, P. C. Produtividade e bionalidade da produção de cafezais adensados, sob diferentes doses de N e K. *Pesquisa Agropecuária* v.48, n.3, p.296-303, 2013.
- WADT, P. G. S. Loucos em terras de doidos: DRIS um aliado do diagnóstico nutricional de plantas. *Boletim informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 24: 15-19 p. 1999.
- WADT, P.G.S. Os métodos da chance matemática e do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) na avaliação nutricional de plantas de eucalipto. 1996. 123 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.
- WALWORTH, J. L.; LETZSCH, W. S.; SUMNER, M. E. Use of boundary lines in establishing diagnostic norms. *Soil Science Society of American Journal*. v.50, n.1, p.123-128, 1986.
- WEBB, R. A. Use of boundary line in the analysis of biological data. *Journal of Horticultural Science*, v.47, n.3, p.309-319. 1972.

ZABINI, A. V. Diagnóstico nutricional do cafeeiro por meio da análise de flores, folhas e extrato foliar. 2010. 5 – 17 p. Tese de Doutorado (Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2010.

ZAMBOLIM, L.; SOUSA, A. F.; ZAMBOLIM, E. M.; RENA, A. B. Seca de ramos do cafeeiro – fatores bióticos e abióticos. In: Zambolim L. (Ed). Boas práticas agrícolas na produção do café. Universidade Federal de Viçosa. 1 – 60 p. 2007.