



MAURO BRINO GARCIA

**INAF: SOFTWARE PARA INTERPRETAÇÃO
DE ANÁLISE FOLIAR**

LAVRAS – MG

2013

MAURO BRINO GARCIA

**INAF: SOFTWARE PARA INTERPRETAÇÃO
DE ANÁLISE FOLIAR**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Mozart Martins Ferreira

LAVRAS – MG

2013

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Garcia, Mauro Brino.

INAF : software para interpretação de análise foliar / Mauro
Brino Garcia. – Lavras : UFLA, 2013.

92 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

Orientador: Mozart Martins Ferreira.

Bibliografia.

1. DRIS. 2. CND. 3. IBK. 4. ChM. I. Universidade Federal de
Lavras. II. Título.

CDD – 631.422

MAURO BRINO GARCIA

**INAF: SOFTWARE PARA INTERPRETAÇÃO
DE ANÁLISE FOLIAR**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 27 de março de 2013.

Dr. Marco Antônio Camacho da Silva UEMS

Dr. José Monserrat Neto UFLA

Dr. Renato de Mello Prado UNESP

Orientador

Dr. Mozart Martins Ferreira

LAVRAS – MG

2013

Primeiramente a Sueli, minha mãe; a Mauro, meu pai, por proporcionarem tão maravilhosa que é a experiência da vida e de viver, em todos os seus detalhes e peculiaridades.

Aos meus irmãos, pela amizade e carinho.

Aos meus avos Mário e Nair pelos melhores valores e ideais que uma criança pode receber.

A Sandra, minha segunda mãe e acima de tudo uma amiga, pela dedicação e cuidado que só o amor pode oferecer.

A Sueli, minha tia, pelos cuidados de uma mãe e pela brilhante frase: “Para que serve o dinheiro, se não para financiar a felicidade de quem amo!”.

Aos meus primos e primas, pelo companheirismo e alegria de ser criança.

A Stella, pelo carinho, amor e paciência de estar ao meu lado nessa fase.

A Cleber Rodas, Inêz Silva, Leandro Carlo pela grande parceria de sempre.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A professora Dra. Janice Guedes de Carvalho pela disponibilidade da orientação e ao professor Dr. Mozart Martins Ferreira por assumir a responsabilidade de orientação em um momento difícil.

Ao laboratório de Nutrição pelo apoio e colaboração, em especial a Adalberto e Ana Rosa.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade concedida para realização da graduação.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pela bolsa concedida e CNPq e CAPES pelo apoio financeiro.

“Se enxerguei um pouco mais longe foi
por estar sentado em ombros de gigantes”

Isaac Newton

RESUMO

A funcionalidade prática da análise foliar ocorre pela falta de interpretações quantitativas dessas análises, existindo, na prática, apenas interpretações qualitativas de deficiência ou de toxidez de um nutriente de forma isolada. Para obter interpretações quantitativas, se pode utilizar índices nutricionais, porém, seus cálculos relativamente onerosos tornam esses índices esquecidos pela maioria dos pesquisadores. Por essa razão, este trabalho teve como objetivo desenvolver um Software de interpretação de análise foliar empregando DRIS e suas derivações que possibilite aplicações práticas e de pesquisa. O Software desenvolvido, Interpretação de Análise Foliar (INAF), teve alto desempenho no cálculo dos índices nutricionais DRIS, CND e IBK, bem como no cálculo da Chance Matemática e nos Teores e Faixas Ótimas dos nutrientes baseados nos índices nutricionais. A versatilidade do INAF na geração de normas e a facilidade para trabalhar com grandes bases de dados mostraram ser o ponto forte para a difusão e aprimoramento desses métodos e das interpretações de análise foliar.

Palavras-chave: DRIS. CND. IBK. ChM.

ABSTRACT

As the soil analysis, the leaf analysis is extremely important to agriculture. However, the practical functionality of leaf analysis is slightly below of the soil analysis. One of the reasons is the lack of quantitative interpretations of these analyzes, in such a way that in practice there are only qualitative interpretations of nutrient deficiency or toxicity in an isolated way. For quantitative interpretation, we can use nutritional indices, however, their calculations become relatively expensive, making these indices forgotten by most researchers. Therefore, this study aimed to develop a Software that would make the nutritional indices, among other techniques, accessible to all researchers, as well as clarifying its peculiarities and methodological gaps. The software developed, Interpretação de Análise Foliar (INAF), showed a high performance in calculating nutritional indices DRIS, CND and IBK, as well as the calculation of Mathematics Chance and Contents of nutrients and Optimal Bands based on nutritional indices. The versatility of INAF in generating norms and the ease to work with large databases proved to be the key point for the dissemination and improvement of these methods and the interpretations of leaf analysis.

Keywords: DRIS. CND. IBK. ChM.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	12
3	REFERÊNCIAL TEÓRICO	13
3.1	DRIS	13
3.2	CND	15
3.3	IBK	16
3.4	POTENCIAL DE RESPOSTA A ADUBAÇÃO	16
3.5	CHANCE MATEMÁTICA	17
3.6	DEFINIÇÃO DE TEORES E FAIXA ÓTIMA DE NUTRIENTES	17
4	MATERIAL E MÉTODOS	19
4.1	DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE	19
4.2	GRUPOS DE PRODUTIVIDADE	20
4.3	ÍNDICES	21
4.3.1	DRIS	21
4.3.2	CND	29
4.3.3	IBK	30
4.4	POTENCIAL DE RESPOSTA A ADUBAÇÃO	31
4.5	CHANCE MATEMÁTICA	33
4.6	DEFINIÇÃO DE TEORES E FAIXA ÓTIMA DE NUTRIENTES	34
4.7	IBN EM FUNÇÃO DA PRODUTIVIDADE	37
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1	APRESENTAÇÃO DO SOFTWARE INAF E CONSIDERAÇÕES	38
5.1.1	INTERFACE	38
5.1.2	BOTÕES PRINCIPAIS	40
5.1.3	SUBSEÇÕES	42
5.1.4	OPÇÕES DE CONFIGURAÇÃO	43
5.2	DADOS DE ENTRADA	43
5.3	GRUPOS DE PRODUTIVIDADE	44
5.3.1	MÉTODOS DE DIVISÃO	45
5.4	NORMAS	47
5.5	ÍNDICES	49
5.5.1	DRIS	49
5.5.2	CND	73
5.5.3	IBK	76
5.6	POTENCIAL DE RESPOSTA À ADUBAÇÃO (PRA)	78
5.7	CHANCE MATEMÁTICA	83
5.8	DEFINIÇÃO DE TEOR E FAIXA ÓTIMA DE NUTRIENTES	85
5.9	IBN EM FUNÇÃO DA PRODUTIVIDADE	87
6	CONCLUSÕES	89
	REFERÊNCIAS	90

1 INTRODUÇÃO

A análise foliar na avaliação do estado nutricional das culturas, e até mesmo a recomendação de adubação, tem suas premissas baseadas na alta correlação que há entre o teor de nutriente no solo e no tecido vegetal (MAFRA et al., 2011; VEIGA; PANDOLFO; JUNIOR, 2012; VIEIRA et al., 2010), tendo a vantagem de que a análise foliar, em relação a análise de solos, utiliza a própria planta como extrator dos nutrientes do solo (BEAUFILS, 1973).

No entanto, a análise foliar vem sendo utilizada mais como método qualitativo do que quantitativo, ou seja, com o propósito de identificar o nutriente (diagnóstico) e não necessariamente para definir a quantidade de nutrientes a serem aplicados (prognóstico), ou seja, efetivamente recomendar a dosagem na adubação a ser realizada. Para a interpretação dos teores foliares é largamente adotado o método de Nível Crítico (ANDRADE et al., 2000; KHALAJABADI, 2008; SCHERER, 1998), que apesar de ser de fácil utilização é dependente de uma calibração local para sua melhor utilização.

Entretanto, como o método do Nível Crítico recebe críticas quanto a sua baixa capacidade preditiva, tem-se buscado métodos alternativos ao Nível Crítico, para melhorar a interpretação da análise foliar, dentre os quais se pode citar. O Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) (BEAUFILS, 1973; JONES, 1981; ELWALI; GASCHO, 1984), Diagnose da Composição Nutricional (CND) (PARENT; DAFIR, 1992), Índice Balanceado de Kenworthy (IBK) (KENWORTHY, 1961) e Chance Matemática (ChM) (WADT, 1996).

Diferente do método do Nível Crítico, esses métodos alternativos costumam ser mais complexos na interpretação do estado nutricional, e embora a obtenção dos padrões nutricionais sejam mais simples, requerem uma maior quantidade de cálculos, exigindo uso de planilhas eletrônicas complexas ou softwares especializados.

Alguns esforços têm sido feitos para facilitar a utilização e difusão desses métodos, sobretudo do DRIS. A maioria deles são softwares implementados como página da web, onde é necessária a realização de cadastros e permanência on-line para a utilização. O mais completo é o portal www.dris.com.br, no entanto burocrático no cadastro o que dificulta sua utilização para muitos potenciais usuários. Tendo outros projetos como da Embrapa Soja, Embrapa Agropecuária Oeste, Embrapa Café, IPNI e European Soil Portal. Dentre esses, o último é o único que permite sua utilização sem que o usuário permaneça on-line.

O Software Interpretação de Análise Foliar (INAF) surgiu da necessidade de uma ferramenta que possibilitasse o estudo e a utilização de técnicas relativamente novas de interpretação de análise foliar, que vem ganhando área frente aos pesquisadores e até mesmo produtores. Porém, de uma forma menos burocrática, como uma ferramenta off-line e adaptável para todas as culturas.

Implementaram-se as seguintes técnicas no INAF: Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação (DRIS), com três métodos para a escolha da razão nutricional utilizada na norma e seis fórmulas para se calcular o índice; Diagnóstico da Composição Nutricional (CND), com dois métodos para se calcular o índice; Potencial de Resposta à Adubação para DRIS e CND; Índice Balanceado de Kenworthy (IBK), com classes de interpretação; Chance Matemática (ChM); Definição de Teores e Faixa Ótima de Nutrientes. Além disso, o software permite ampla funcionalidade para gerar e alterar normas.

2 OBJETIVO

Para melhorar a interpretação da análise foliar e aumentar sua funcionalidade, bem como esclarecer as lacunas metodológicas dos índices nutricionais e outros métodos, este trabalho teve como objetivo desenvolver um software de interpretação de análise foliar que possibilite aplicações práticas e de pesquisa.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 DRIS

DRIS é a sigla para “Diagnosis and Recommendation Integrated System”, em português “Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação”, ele foi criado por Beaufils (1973) com o intuito de desenvolver um método que avaliasse o estado nutricional de uma cultura de forma integral e não só focado em um único nutriente como os métodos tradicionais, Nível Crítico e Faixa Ótima.

Os métodos tradicionais avaliam de forma individual cada nutriente e não o equilíbrio entre eles, desta, forma o DRIS vem com a proposta que vai de encontro à “lei do mínimo” de Liebig (1840), no qual seu enunciado diz (MALAVOLTA, 2006, p.540):

Cada campo contém um máximo de um ou mais e um mínimo de um ou mais nutrientes. As colheitas guardam relação direta com esse elemento no mínimo, seja ele cal, potassa, nitrogênio ou outro nutriente qualquer. É o fator que governa e controla o tamanho e a duração das colheitas. (grifos acrescentados)

Essa lei explica que a produção é limitada pelo nutriente que se encontra em menor disponibilidade, mesmo que todos os outros estejam disponíveis em quantidades adequadas (NOVAIS et al., 2007). A representação mais comum, para essa lei, é um barril com tábuas de alturas diferentes, a tábua mais baixa determina o nível do barril, remetendo ao nível de produtividade que será alcançado (Figura 1).

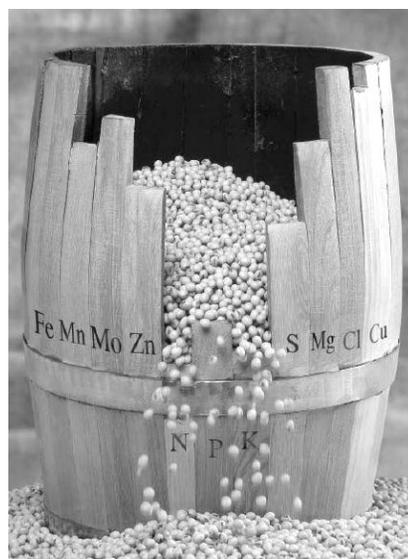


Figura 1 Representação da “Lei do Mínimo” de Liebig, onde a tábuca mais curta limita o nível do barril

Fonte: Alcarde, Guidolin e Lopes (1998) (modificado)

A “lei do mínimo” vai além da interpretação dos métodos tradicionais, ela avalia não um nível crítico ou faixa ótima para o teor de um dado nutriente, mas sim o equilíbrio entre os nutrientes. Sendo assim, a mesma é aplicável a vários níveis de fertilidade do solo, adubação ou produtividade, pois o foco é avaliar o equilíbrio nutricional e não o teor do nutriente em si.

O DRIS tem interpretações análogas à “lei do mínimo” e por esta razão, se baseia em um grupo de referência que represente a situação padrão desejada, seja ela fertilidade do solo, adubação, produtividade e até mesmo teor de um nutriente, bioquímico ou enzima. Nesse grupo são geradas estatísticas descritivas como média, desvio padrão e coeficiente de variação não dos teores, mas sim da razão binária de um contra um dos teores nutricionais, para representar a interação entre eles. Esta razão binária é utilizada, pois tende a ser um melhor indicador do estado nutricional do que os teores tomados individualmente (JONES, 1981), os efeitos de diluição e concentração tendem a

ser minimizados (WALWORTH; SUMNER, 1987) e apresenta menor dependência da amostragem com respeito à idade e origem do tecido vegetal.

3.2 CND

O método Compositional Nutrient Diagnosis (CND), em português, Diagnose da Composição Nutricional, foi idealizado por Parent e Dafir (1992) para ser tratado de uma forma diferente do que o método bivariado DRIS. O CND é tratado como um método multivariado por analisar as relações de todos os nutrientes conjuntamente, tendo compatibilidade com posterior análise de estatística multivariada como a PCA.

A ideia inicial deste método partiu da Análise de Dados Composicionais (CDA) (AITCHISON, 1986), que descreve um dado de forma quantitativa e relativa a um todo. Tais dados são muito comuns em áreas de pesquisa como a geologia e a ciência do solo. Exemplos de dados composicionais é a distribuição do tamanho de partículas minerais (areia, silte e argila) de um solo, que o todo sempre é 100%.

O CND também entende que o todo de uma amostra foliar é 100%. No entanto, para trabalhar em função da massa da amostra, o método utiliza um valor de referência para o todo de 100 dag.kg^{-1} ($\text{dag.Kg}^{-1} = \%$).

3.3 IBK

O método Índices Balanceados de Kenworthy (IBK) foi proposto por Kenworthy em 1961. Nesse método, assim como nos anteriores, também são obtidos os parâmetros estatísticos, média e coeficiente de variação, do grupo de alta produtividade para serem utilizados como normas. Já para o cálculo do Índice Balanceado (B), o método inicialmente continha uma equação para teores da amostra maiores que a média e outra para teores menores, assim como no DRIS. Porém no texto técnico da Embrapa (2005) foi apresentada a utilização de uma única fórmula para os dois casos, e o INAF adotou esta proposta.

3.4 Potencial de Resposta à Adubação

Quando se tem uma análise foliar completa, com todos os nutrientes, fica difícil interpretá-los rapidamente. O problema se agrava ainda mais em uma base de dados grande com várias análises foliares, e ainda mais se essa base de dados tiver valores negativos e positivos para serem interpretados. Essa é a característica dos resultados gerados pelo INAF.

Por essa razão, o Potencial de Resposta à Adubação foi introduzido nesse trabalho. Esse método foi desenvolvido por Wadt (1996) com o propósito de melhorar a interpretação dos resultados do índice DRIS, sendo também empregado no índice CND. O método classifica os resultados de acordo com uma média da somatória dos índices em cinco categorias, que podem representar desde uma deficiência, com certeza de resposta à adubação, a uma toxicidez com certeza de queda da produção com adubação.

3.5 Chance Matemática

Este é um método baseado na frequência de amostras de alta produtividade observadas em classes de teor nutricional. Foi criado na Universidade Federal de Viçosa com o objetivo de definir a faixa ótima e nível crítico (limite inferior) para um dado nutriente (WADT, 1996).

O método estima a esperança estatística quanto à produtividade a ser alcançada em relação a determinados intervalos de teores foliares, sem utilizar qualquer relação entre os nutrientes foliares.

Como os intervalos de teores nutricionais são definidos por distribuição de frequência, requer-se um número relativamente elevado de dados para que se possa obter resultados adequados. Como bases de dados pequenas não geram resultados confiáveis, este método deve ser desconsiderado.

Os cálculos são feitos independentemente para cada nutriente, assim como o método de Nível Crítico padrão, caracterizando-se como um método univariado.

3.6 Definição de Teores e Faixa Ótima de Nutrientes

De uma forma geral os índices nutricionais não apresentam uma forma prática para serem aplicados diretamente em recomendações de adubação. O que se tem bem difundido é interpretação da análise foliar a partir de Nível Crítico, Faixa e Teores Ótimos definidos a partir de populações produtivas e sadias. Os índices nutricionais buscam fazer a mesma classificação, mas não usando de forma univariada com a produtividade como critério e sim com o ponto de vista do equilíbrio nutricional e lei do mínimo.

Conservando os critérios utilizados pelos índices e aproximando-os das técnicas difundidas de interpretação de análise foliar, este tópico faz uma

analogia a esses dois pontos de vista e traz a ideia de equilíbrio nutricional e da lei do mínimo para os métodos de Nível Crítico, Faixa e Teores Ótimos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Para atingir os objetivos desse trabalho optou-se por trabalhar com uma base de dados pequena e fictícia, retirada de Malavolta (2006), ao invés de dados reais. Pois se entende que discutir nutricionalmente esses dados sairia do foco da apresentação do programa e esclarecimento dos métodos.

4.1 Desenvolvimento do software

O software INAF foi desenvolvido por meio da linguagem de programação Microsoft Visual Basic 6.0. Seu tempo aproximado para finalização foi de três meses e o compilamento foi realizado com o auxílio da ferramenta Package & Deployment Wizard. Todos os resultados foram comparados com resultados gerados por meio de planilhas eletrônicas.

Para o auxílio do desenvolvimento e testes iniciais, foi utilizada uma pequena base de dados apresentada por Malavolta (2006) (Tabela 1), essa base de dados também foi utilizada para apresentar os resultados de uma forma simples, porém, abrangente nas discussões. No entanto, em torno de outras seis bases de dados reais, fornecidas por comunicação pessoal e não publicadas, foram utilizadas para a validação do software. A discussão não foi feita em cima dessas bases de dados para não se tornar extensa e não perder o foco da apresentação do software e das peculiaridades de cada método.

Tabela 1 Dados de entrada na forma padrão (teor em % ou dag/kg)

N	P	K	Produtividade
3,16	0,17	2,45	1234
3,31	0,21	2,69	1322
3,35	0,23	2,15	1622
3,64	0,24	2,60	2012
3,57	0,19	2,22	1445
3,44	0,18	2,70	1361
3,67	0,24	2,16	1655
3,76	0,25	2,40	1658
3,00	0,16	2,58	1160
4,00	0,27	2,52	1818
2,71	0,15	2,68	0
3,52	0,30	2,24	1891
3,64	0,18	1,80	805
3,49	0,25	2,54	1800

4.2 Grupos de produtividade

Para realizar os cálculos de todos os métodos implementados no software INAF, a base de dados precisa ser dividida em dois grupos de produtividade. Para a divisão dos grupos de alta e baixa produtividade estão disponíveis três métodos:

1. *Porcentagem da produtividade máxima*: este método define como ponto crítico de produtividade, para separar os dois grupos, uma porcentagem, escolhida pelo usuário, da produtividade máxima da base de dados utilizada.
2. *Porcentagem dos dados de maior produtividade*: este método separa o grupo de maior produtividade de acordo com uma porcentagem dos dados escolhida pelo usuário.
3. *Nível crítico de produtividade*: este método separa os grupos de produtividade por um nível crítico de produtividade definido pelo usuário.

4.3 Índices

De uma forma geral, um índice é a expressão numérica de uma função matemática determinística ou de uma metodologia empírica, que tem como objetivo classificar e escalonar um determinado grupo de estudo. No caso dos índices nutricionais, estes são gerados por meio de função matemática determinística que utilizam, em sua maioria, parâmetros estatísticos do grupo de estudo.

4.3.1 DRIS

O índice DRIS é o método com mais opções de configuração implementado no software INAF. Para compreendê-lo melhor, a Figura 2 traz um fluxograma do processo de cálculo e suas opções.

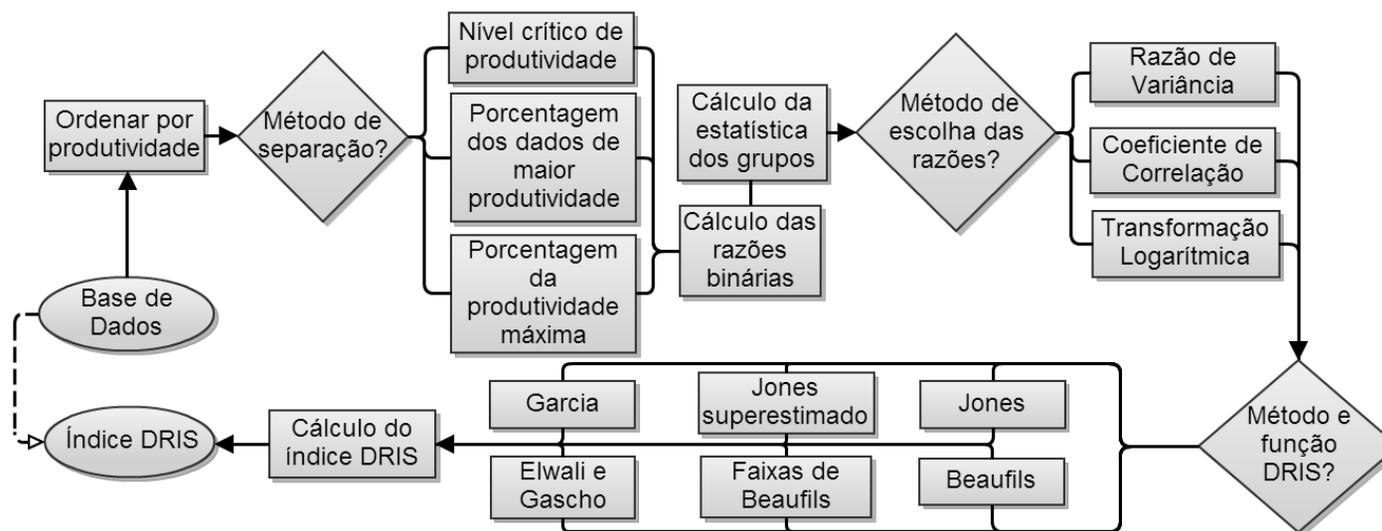


Figura 2 Fluxograma para o cálculo das normas e do índice DRIS. Formas circulares definem o início e fim, retangulares ações e losangos decisões tomadas pelo usuário

4.3.1.1 Método de escolha das razões nutricionais

O índice DRIS não é gerado unicamente pelo teor de cada nutriente, e sim pela relação entre as razões binárias dos nutrientes. Esta questão será mais bem explicada no tópico seguinte, sendo que o índice DRIS de um dado nutriente é, na verdade, a média das razões binárias selecionadas estudantizada.

O número de razões binárias entre os nutrientes é dado pela equação $n \times (n - 1)$, em que n é o número de nutrientes da base de dados, sendo estas razões de ordem direta e indireta, ou seja, existe a razão N/P e P/N. No entanto, para o cálculo da função DRIS, somente uma delas é utilizada.

O primeiro método de escolha das razões nutricionais apresentado no INAF é a Razão de Variância (LETZSCH, 1985), este método tem como teoria o “Teste F”. A razão de variância de cada razão nutricional é calculada pela razão entre a variância do grupo de baixa produtividade (S_1^2) sobre a variância do grupo de alta produtividade (S_2^2) de cada razão nutricional. Sendo comumente chamado de “Teste F”, no entanto, não é um teste estatístico propriamente dito, pois aqui não é utilizado nenhum valor de probabilidade (f_{α, gl_1, gl_2}) para se decidir entre hipóteses (H_0 ou H_1) e ainda a escolha da razão nutricional é feita entre a comparação das duas razões de variância de cada razão nutricional.

De uma forma mais intuitiva, o segundo método, Coeficiente de Correlação (NICK, 1998), busca escolher a razão nutricional que tenha o maior valor absoluto (em módulo) do coeficiente de correlação entre a razão nutricional e a produtividade.

Por fim, o terceiro e último método é a Transformação Logarítmica (BEVERLY, 1987), este método consiste em realizar uma transformação logarítmica nas razões nutricionais para eliminar as diferenças de grandezas entre as razões direta e inversa.

A transformação elimina a necessidade de escolha entre uma das razões e basta escolher a razão onde o nutriente é o numerador quando estiver calculando o índice DRIS Log desse nutriente, sendo utilizado para esse cálculo a função de Jones (1981) sem o fator k (ver a seguir).

4.3.1.2 Método de cálculo da função do DRIS

O índice DRIS de um dado nutriente X é calculado por uma equação composta por funções independentes que avaliam o desvio de uma razão nutricional em relação à norma gerada pelo grupo de alta produtividade. Esta equação é a média da diferença dos somatórios das funções utilizando somente as razões diretas e inversas selecionadas, e estas funções têm diferentes concepções de acordo com cada autor. Beaufils (1973) definiu a equação para o cálculo do índice e a primeira função DRIS, sendo a equação do índice DRIS definida genericamente como:

$$\text{Índice}_X = \frac{\left[f\left(\frac{X}{Y_1}\right) + f\left(\frac{X}{Y_2}\right) + \dots + f\left(\frac{X}{Y_n}\right) \right] - \left[f\left(\frac{Z_1}{X}\right) + f\left(\frac{Z_2}{X}\right) + \dots + f\left(\frac{Z_m}{X}\right) \right]}{n + m}$$

em que:

$f()$ = função DRIS;

X/Y_n = razão direta do nutriente analisado;

Z_m/X = razão inversa do nutriente analisado;

n = número de razões diretas selecionadas;

m = número de razões inversas selecionadas.

Algo bem estudado e discutido é a função DRIS utilizada para compor a equação do índice DRIS. Todas as funções tentam medir a diferença (desvio) entre a razão nutricional da amostra e o valor contido nas normas DRIS. As funções implementadas no INAF são:

- **Beaufils (1973)** - Esta é a primeira função utilizada no DRIS e uma das mais testadas e discutidas na literatura, sendo definida como:

$$f(X/Y_n) = \left(\frac{X/Y_n}{x/y_n} - 1 \right) \frac{100k}{CV_{(x/y_n)}} \quad \text{se} \quad X/Y_n > x/y_n$$

$$f(X/Y_n) = \left(1 - \frac{x/y_n}{X/Y_n} \right) \frac{100k}{CV_{(x/y_n)}} \quad \text{se} \quad X/Y_n < x/y_n$$

ou

$$f(Z_m/X) = \left(\frac{Z_m/X}{z_m/x} - 1 \right) \frac{100k}{CV_{(z_m/x)}} \quad \text{se} \quad Z_m/X > z_m/x$$

$$f(Z_m/X) = \left(1 - \frac{z_m/x}{Z_m/X} \right) \frac{100k}{CV_{(z_m/x)}} \quad \text{se} \quad Z_m/X < z_m/x$$

em que:

X/Y_n = razão direta do nutriente analisado;

Z_m/X = razão inversa do nutriente analisado;

x/y_n = média presente na norma da razão direta do nutriente analisado;

z_m/x = média presente na norma da razão inversa do nutriente analisado;

$CV_{(x/y_n)}$ = coeficiente de variação presente na norma da razão direta do nutriente analisado;

$CV_{(z_m/x)}$ = coeficiente de variação presente na norma da razão inversa do nutriente analisado;

k = constante de sensibilidade de valor arbitrário.

O índice DRIS pode obter valores desde $-\infty$ a $+\infty$, sendo o valor ótimo igual à zero, valores negativos expressam a deficiência do nutriente e valores positivos, o excesso. O Índice de Balanço Nutricional (IBN) é a somatória do módulo de todos os índices da amostra. O mesmo mede o quão equilibrada nutricionalmente está a amostra, podendo variar de zero à $+\infty$, tendo o zero como ótimo e o Índice é altamente correlacionado negativamente com a produtividade.

- **Faixa de Beaufils (2/3s)** - Este método funciona como um critério pra se calcular ou não a função DRIS, sendo que as razões nutricionais que estiverem dentro deste critério serão consideradas em equilíbrio e a sua função DRIS terá o valor zero como se a razão nutricional tivesse o mesmo valor da média presente na norma.

As definições dos pontos críticos dentro da teoria do DRIS variam de acordo com o autor. A Faixa de Beaufils sugere que um valor de razão nutricional (X) que estiver entre os limites de $(\bar{x} - 2/3S) < X < (\bar{x} + 2/3S)$ estará em equilíbrio e terá um valor zero na função DRIS. Neste caso, o INAF adota as mesmas funções de Beaufils (1973), porém, testa as razões nutricionais antes de efetuar os cálculos dos índices.

- **Elwali e Gascho (1984)** - Este método difere do anterior apenas na definição do ponto crítico para que a razão nutricional (X) seja considerada em equilíbrio, sendo utilizados os limites de $(\bar{x} - S) < X < (\bar{x} + S)$. Assim como no método anterior, o INAF adota as mesmas funções de Beaufils (1973), porém, testa as razões nutricionais antes de efetuar os cálculos.

- **Jones (1981)** - Este método propõe a equação de padronização da distribuição Normal (variável aleatória Z) como função para se calcular o índice

DRIS tanto para razões nutricionais maiores, quanto menores que a média apresentada nas normas. Sendo sua função definida como:

$$f(X/Y_n) = \left(\frac{X/Y_n - x/y_n}{S_{(x/y_n)}} \right) k \quad f(Z_m/X) = \left(\frac{Z_m/X - z_m/x}{S_{(z_m/x)}} \right) k$$

em que:

X/Y_n = razão direta do nutriente analisado;

Z_m/X = razão inversa do nutriente analisado;

x/y_n = média presente na norma da razão direta do nutriente analisado;

z_m/x = média presente na norma da razão inversa do nutriente analisado;

$S_{(x/y_n)}$ = desvio padrão presente na norma da razão direta do nutriente analisado;

$S_{(z_m/x)}$ = desvio padrão presente na norma da razão inversa do nutriente analisado;

k = constante de sensibilidade de valor arbitrário.

- **Jones (1981) superestimado** - Este é uma adaptação do método anterior e uma proposição nesse trabalho, onde as funções, com razões nutricionais maiores ou menores que a média da norma, sejam superestimadas. Desta forma, pode-se tornar tanto a deficiência, quanto a toxidez de um nutriente e o desequilíbrio nutricional mais visível no resultado das funções e dos índices nutricionais. O método consiste em multiplicar a função pelo fator $\frac{x/y_n}{X/Y_n}$ quando $X/Y_n < x/y_n$ e por $\frac{X/Y_n}{x/y_n}$ quando $X/Y_n > x/y_n$.

$$f(X/Y_n) = \left(\frac{X/Y_n - x/y_n}{S_{(x/y_n)}} \right) k \frac{x/y_n}{X/Y_n} \quad \text{se} \quad X/Y_n < x/y_n$$

$$f(X/Y_n) = \left(\frac{X/Y_n - x/y_n}{S_{(x/y_n)}} \right) k \frac{X/Y_n}{x/y_n} \quad \text{se} \quad X/Y_n > x/y_n$$

$$f(Z_m/X) = \left(\frac{Z_m/X - z_m/x}{S_{(z_m/x)}} \right) k \frac{z_m/x}{Z_m/X} \quad \text{se} \quad Z_m/X < z_m/x$$

$$f(Z_m/X) = \left(\frac{Z_m/X - z_m/x}{S_{(z_m/x)}} \right) k \frac{Z_m/X}{z_m/x} \quad \text{se} \quad Z_m/X < z_m/x$$

em que:

X/Y_n = razão direta do nutriente analisado;

Z_m/X = razão inversa do nutriente analisado;

x/y_n = média presente na norma da razão direta do nutriente analisado;

z_m/x = média presente na norma da razão inversa do nutriente analisado;

$S_{(x/y_n)}$ = desvio padrão presente na norma da razão direta do nutriente analisado;

$S_{(z_m/x)}$ = desvio padrão presente na norma da razão inversa do nutriente analisado;

k = constante de sensibilidade de valor arbitrário.

- **Garcia** - Este método foi introduzido nesse trabalho. Possui uma ideia semelhante aos anteriores, que utilizam de pontos críticos de valor de razão nutricional para estabelecer as faixas de equilíbrio, no entanto traz um caráter um pouco mais estatístico. O ponto crítico aqui é definido pelo valor da variável aleatória Z , e não da razão nutricional, que é gerada pela equação de padronização da distribuição Normal, ou seja, a função de Jones (1981) sem a constante k e os fatores para superestimá-la.

Desta forma, o método utiliza um valor crítico de $Z = 1,95998$ (desvio), que garante uma abrangência da faixa de equilíbrio de 95% da distribuição normal gerada pela população de referência. Se esse critério definir que a razão

nutricional está dentro da faixa de equilíbrio, o método irá zerar o valor da função DRIS, caso contrário, o método calcula o valor da função por meio da equação de Z.

4.3.2 CND

A diferença do CND para o DRIS é que ele utiliza os teores nutricionais, para o cálculo dos índices, transformados em “variável multinutriente” (V). Para isso, toma-se como base 100 dag.Kg⁻¹ como valor do todo e se faz o somatório de todos os teores nutricionais (em dag.Kg⁻¹) e subtrai-se de 100 dag.Kg⁻¹, o resultado é denominado de “valor complementar” (R). Posteriormente, é calculada uma média geométrica (G) dos teores nutricionais e o valor complementar é incluído como se fosse outro nutriente. Essa média geométrica é utilizada para transformar os teores nutricionais em variável multinutriente por meio do logaritmo (base *e*) da razão entre o teor nutricional e a média geométrica.

$$R = 100 - \sum_{i=1}^n X_i$$

$$G = (X_1 \times \dots \times X_n \times R)^{\frac{1}{n+1}}$$

$$V_i = \ln\left(\frac{X_i}{G}\right)$$

sendo:

R = valor complementar;

X_i = teor nutricional;

n = número de nutrientes;

G = média geométrica;

V_i = variável multinutriente.

A partir dos teores nutricionais transformados, são obtidos os parâmetros estatísticos, média e desvio padrão, do grupo de alta produtividade e esses são utilizados para o cálculo dos índices nutricionais CND. Para o cálculo, é utilizado o mesmo método que no DRIS Log, sendo utilizada a função de Jones (1981) sem o fator k .

Devido ao valor complementar R, o INAF tem como exigência que a base de dados esteja em dag.kg^{-1} , caso contrário os Índices CND podem não ser calculados e/ou não ser válidos.

Assim como os métodos anteriores o CND também pode ser calculado com faixa de equilíbrio, onde os índices são considerados nulos (em equilíbrio) se estiverem dentro da faixa: $(\bar{x} - 2/3S) < X < (\bar{x} + 2/3S)$.

4.3.3 IBK

O método define o índice B como a porcentagem do teor de um nutriente em relação a sua média em uma população de alta produtividade, e ainda essa porcentagem é corrigida pela subtração de um fator I. Nesse fator I, o coeficiente de variação (CV) desse nutriente é ponderado pela grandeza da diferença entre o teor observado e a sua média:

$$P = \frac{X_i}{\bar{x}_i} 100$$

$$I = CV_i \frac{(X_i - \bar{x}_i)}{\bar{x}_i}$$

$$B = P - I$$

sendo:

X_i = teor do nutriente i .

CV_i = coeficiente de variação do nutriente i .

\bar{x}_i = média presente na norma do nutriente i .

Diferente dos outros métodos, o IBK não utiliza a distribuição normal como referência para calcular o desvio do teor observado em relação à média, e sim uma razão simples entre os dois. Desta forma o valor ótimo do índice é 100 e não 0 (zero) como nos índices anteriores.

4.4 Potencial de Resposta à Adubação

Para melhorar a interpretação dos índices nutricionais Wadt (1996) desenvolveu um método para classificá-los em cinco categorias de Potencial de Resposta a Adubação (PRA). As categorias são definidas pelo IBN médio (IBN / n° de nutrientes) e pelos índices nutricionais mais negativos e mais positivos, essa classificação é empregada nos métodos **DRIS** e **CND**:

- Categoria -2: (Resposta positiva) Ocorre quando o índice do nutriente é o mais negativo e maior, em valor absoluto, que o IBNm.
- Categoria -1: (Resposta positiva ou nula) Ocorre quando o índice do nutriente é maior, em valor absoluto, que o IBNm, mas não é o mais negativo.
- Categoria 0: (Resposta nula) Ocorre quando o índice do nutriente, em valor absoluto, for menor ou igual ao IBNm.

- Categoria 1: (Resposta negativa ou nula) Ocorre quando o índice do nutriente é maior, em valor absoluto, que o IBNm, mas não é o mais positivo.
- Categoria 2: (Resposta negativa) Ocorre quando o índice DRIS do nutriente é o mais positivo e maior, em valor absoluto, que o IBNm.

De acordo com essa classificação, entende-se que o nutriente classificado como -2 será o nutriente que mais está limitando a produção, segundo a lei do mínimo, e a amostra certamente trará resposta na produção se for adubado com esse nutriente.

Já para o método **IBK** foi utilizada uma analogia ao se tratar do PRA, pois esse método já possui uma classificação própria dos índices, também em cinco categorias.

- Categoria -2: (Resposta positiva) Ocorre quando o índice do nutriente for menor que 50%.
- Categoria -1: (Resposta positiva ou nula) Ocorre quando o índice do nutriente estiver entre 50% e 83%.
- Categoria 0: (Resposta nula) Ocorre quando o índice do nutriente estiver entre 83% e 117%.
- Categoria 1: (Resposta negativa ou nula) Ocorre quando o índice do nutriente estiver entre 117% e 150%.
- Categoria 2: (Resposta negativa) Ocorre quando o índice do nutriente for maior que 150%.

4.5 Chance Matemática

Primeiramente é determinada a amplitude (A) do teor nutricional para cada nutriente, por meio da subtração do teor máximo pelo mínimo ($A = X_{max} - X_{min}$), e calculado o número de classes (I) com base no tamanho da amostra (n), em que $I = \sqrt{n}$, sendo que $5 \leq I \leq 15$. Em seguida é calculado o intervalo de classe por meio da razão entre amplitude e número de classes ($IC = A/I$) e com ele são gerados os limites superiores (LS) e inferiores (LI) das classes.

$$\text{Classes 1:} \quad LI_1 = X_{min} \quad LS_1 = LI_1 + IC$$

$$\text{Classes } I: \quad LI_I = LS_{I-1} \quad LS_I = LI_I + IC$$

Assim como os demais métodos, a Chance Matemática necessita da divisão da base de dados em população de alta e baixa produtividade. Após essa definição será calculado o número total de amostras (população de alta e baixa produtividade) e número de amostras de alta produtividade presente em cada classe, assim como a produtividade média dessas amostras de alta produtividade. Com base nessas informações a Chance Matemática será calculada de acordo com a seguinte equação:

$$ChM = \sqrt{\left[\left(\frac{A_i}{A} \right) P_{A_i} \right] \left[\left(\frac{A_i}{N_i} \right) P_{A_i} \right]}$$

sendo:

A_i = número de amostras de alta produtividade na classe i .

A = número total de amostras de alta produtividade.

P_{A_i} = produtividade média das amostras de alta produtividade na classe i .

$\frac{A_i}{A}$ = frequência de amostras de alta produtividade na classe i em relação ao total de amostras de alta produtividade.

$\frac{A_i}{N_i}$ = frequência de amostras de alta produtividade na classe i em relação ao total de amostras na classe i .

A escolha da(s) classe(s) que será(ão) tomada(s) como referência é baseada no(s) maior(es) valor(es) de ChM . O INAF optou por selecionar apenas a classe de maior valor de ChM , apesar de todas as outras classes serem apresentadas no relatório. No entanto, outros estudos optam por escolher entre as classes de maior valor de ChM de uma forma empírica (SERRA et al., 2010; URANO et al., 2007), sendo necessariamente classes contínuas.

Como resultado final tem-se como definição de faixa ótima os próprios valores de limite de classe da(s) classe(s) selecionada(s) e o nível crítico, o limite inferior desse intervalo.

4.6 Definição de Teores e Faixa Ótima de Nutrientes

Para um melhor entendimento defini-se Faixa Ótima como os limites onde o teor do nutriente é considerado adequado (LI - limite inferior e LS - limite superior), Teor Ótimo é o valor central dessa faixa e Nível Crítico é o LI que define essa faixa.

O método anterior, **Chance Matemática**, já tem como objetivo e resultado os próprios valores que definem a Faixa Ótima do nutriente desejado, mas apesar de ter um conceito diferente do tradicional método de Nível Crítico (regressão quadrática entre teor e a produção) ele é um método univariado e sem relação com o equilíbrio nutricional e a lei do mínimo.

Para os índices nutricionais, a relação com o equilíbrio nutricional e a lei do mínimo pode ser observada apenas para o DRIS e CND. O IBK, assim como a Chance Matemática, é método univariado e o seu princípio é o de média de um teor nutricional em uma população de referência.

- **IBK**

A Faixa Ótima, utilizando o IBK, é definida como valores fixos do índice (B) iguais a 83% e 117%, e o Teor ótimo como 100%. Para substituir esses valores e encontrar os teores nutricionais rapidamente faz-se necessário arranjar a equação da seguinte forma:

$$P = \frac{X_i}{\bar{x}_i} 100 \quad I = CV_i \frac{(X_i - \bar{x}_i)}{\bar{x}_i} \quad B = P - I$$

$$B = \frac{X_i}{\bar{x}_i} 100 - CV_i \frac{(X_i - \bar{x}_i)}{\bar{x}_i}$$

$$B \cdot \bar{x}_i = X_i \cdot 100 - CV_i \cdot X_i + CV_i \cdot \bar{x}_i$$

$$CV_i \cdot X_i - X_i \cdot 100 = CV_i \cdot \bar{x}_i - B \cdot \bar{x}_i$$

$$X_i(CV_i - 100) = \bar{x}_i(CV_i - B)$$

$$X_i = \bar{x}_i \frac{(CV_i - B)}{(CV_i - 100)}$$

$$\text{LI: } \bar{x}_i \frac{(CV_i - 83)}{(CV_i - 100)}$$

$$\text{LS: } \bar{x}_i \frac{(CV_i - 117)}{(CV_i - 100)}$$

$$\text{TO: } \bar{x}_i \frac{(CV_i - 100)}{(CV_i - 100)}$$

sendo:

X_i = teor do nutriente i .

CV_i = coeficiente de variação do nutriente i .

\bar{x}_i = média presente na norma do nutriente i .

- **DRIS e CND**

Para estes dois métodos a relação é direta. O INAF calcula a regressão linear entre o teor e o índice do nutriente e por meio dessa pode-se substituir o valor do desvio desejado e obter o teor nutricional. Utilizando o conceito da Faixa de Beauflis, o INAF já está configurado para um valor de desvio de 2/3 ou 0,6666. Quando é aplicado este conceito de desvio diretamente no valor do índice, este não será 2/3 do desvio padrão, pois, devido à transformação para a normal padrão (z), o desvio se torna igual a 1. No entanto para o índice DRIS, esse valor de desvio deve ser multiplicado pelo mesmo fator k que gerou o índice, para manter a igualdade. Desta forma as equações para obter os limites da Faixa Ótima são as seguintes:

DRIS:

$$LI: X_i = a + b.s.k. (-1)$$

$$LS: X_i = a + b.s.k. (1)$$

$$TO: X_i = a + b.s.k. (0)$$

CND:

$$LI: X_i = a + b.s. (-1)$$

$$LS: X_i = a + b.s. (1)$$

$$TO: X_i = a + b.s. (0)$$

sendo:

X_i = teor do nutriente i .

a e b = parâmetros da regressão.

s = desvio padrão escolhido.

k = constante utilizada para o DRIS.

4.7 IBN em função da Produtividade

Para analisar a interação entre o IBN e a Produtividade, o INAF calcula uma regressão linear entre os dois de forma que o melhor ajuste tende a refletir a melhor adaptação do índice com a base de dados. No entanto, como os índices mantêm uma relação indireta com a produtividade, esta relação não é sempre verdadeira. Podendo-se encontrar mais de um valor de produtividade para o mesmo valor de IBN, sobretudo em dados de campo, onde os fatores ambientais podem influenciar a produtividade mais do que o estado nutricional.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Apresentação do Software INAF e considerações

Estão apresentadas, de forma clara e objetiva, a interface Software INAF e sua sequência de cálculos para que uma base de dados adequada possa gerar todos os resultados de forma rápida e fácil.

A aquisição do software pode ser realizada através do site <http://inaf.ucoz.com.br/>, onde também pode ser encontrado um fórum para dúvidas e sugestões tanto para o software quanto para os métodos de interpretação de análise foliar.

5.1.1 Interface

O INAF possui uma interface intuitiva e de fácil entendimento. É composto apenas de uma única janela (Figura 3) com uma sequência de botões na parte superior, onde todas as operações podem ser realizadas. Seguido logo abaixo, de subseções, onde as opções desejadas de cada método podem ser configuradas.

Figura 3 Interface do Software INAF

5.1.2 Botões principais

Ao abrir o INAF apenas três botões estarão habilitados: *Importar Dados Nutricionais*; *Importar Normas*; *Sobre*. À medida que os dados forem inseridos e os processos de cálculo forem executados, os demais botões e subseções serão habilitados, como mostra a Figura 4.

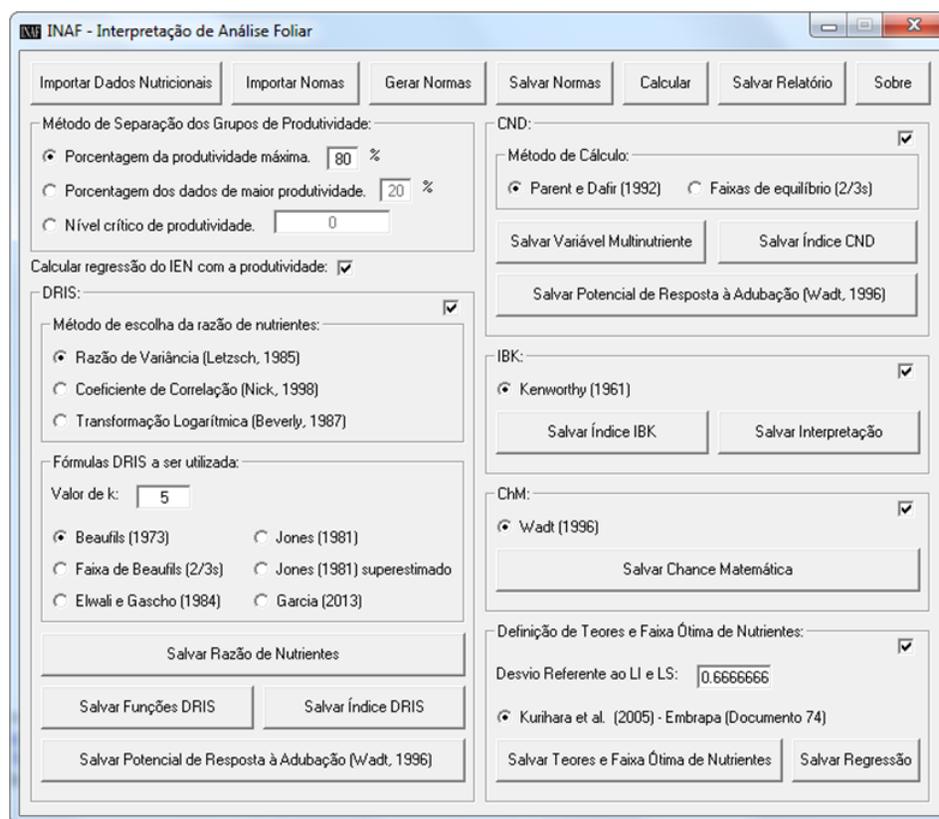


Figura 4 Interface com todos os botões e subseções habilitadas

Todas as operações de cálculos são realizadas por meio da sequência de botões na parte superior. Em uma lógica bem intuitiva, a sequência para o cálculo de todos os métodos e as operações realizadas em cada parte, é:

1. Importar Dados Nutricionais: *matriz nutricional é importada; DRIS (gerada a matriz de razão binária dos nutrientes e a transformação para log, cada matriz é ordenada pelo parâmetro de produtividade); CDN (gerada a matriz de razão com a média geométrica, "variável multinutriente", a matriz é ordenada pelo parâmetro de produtividade); ChM (ordenada matriz nutricional pelo parâmetro de produtividade).*
2. Gerar Normas: *identifica o separador dos grupos de produtividade; gera as estatísticas para cada grupo de produtividade (DRIS, CND e IBK); DRIS (seleciona as razões binárias dos nutrientes pela razão das variâncias e pelo coeficiente de correlação); gera a matriz norma; ChM (definir número de classes, definir o intervalo das classe e calcula a ChM em cada uma, seleciona a classe com maior ChM).*
3. Calcular: *indica se o usuário deseja calcular os índices com a mesma matriz de dados nutricionais que o usuário introduziu para gerar as normas ou se deseja inserir outra base de dados; calcula os índices de acordo com as configurações selecionadas (DRIS, CND, IBK); calcula o potencial de resposta à adubação (DRIS, CND) e a interpretação do IBK; estima a regressão entre o Índice de Balanço Nutricional (IBN) e a produção; define os Teores e Faixas Ótimas de cada nutriente.*
4. Salvar Relatório: *salva um relatório completo de todos os métodos calculados (Índice DRIS, Potencial de Resposta à Adubação - DRIS, Índice CND, Potencial de Resposta à Adubação - CND, Índice IBK, Interpretação do Índice - IBK, ChM - Todas as Classes, ChM - Classes Selecionadas, Regressão - DRIS, Regressão - CND, Regressão IEN~Produção, (DRIS, CND, IBK e ChM) - Teores e Faixa Ótima de Nutrientes).*

Com esta sequência, é possível realizar todos os cálculos do INAF, porém, mais três botões poderão ser muito úteis nesta parte superior. Em “Importar Normas” o usuário poderá importar normas geradas com uma base de dados e aplicá-las em uma segunda base de dados, da mesma forma que pode escolher não utilizar a mesma base de dados nutricionais no botão “Calcular”. Se optar por importar uma norma já gerada, o usuário deverá importar também uma base de dados por meio do botão “Importar Dados Nutricionais” ou escolher NÃO utilizar a mesma base de dados nutricionais no botão “Calcular”, para que uma nova base de dados nutricionais seja introduzida. Já para salvar uma norma já gerada basta pressionar o botão “Salvar Norma”.

No último botão, “Sobre”, o usuário tem acesso ao Manual do Usuário, referências dos métodos, exemplos com arquivos já calculados de todas as opções do INAF e uma bibliografia com texto sobre os métodos implementados no INAF.

5.1.3 Subseções

O INAF está separado por subseções para facilitar sua utilização, isso devido às diversas combinações possíveis de configurações dos métodos, principalmente em relação ao DRIS. Além de agrupar as opções de escolha de cada método, agrupa também os botões para salvar os resultados separados de cada método. As subseções contidas no INAF são: *Método de Separação dos Grupos de Produtividade; DRIS; CND; INK; ChM; Definição de Teores e Faixa Ótima de Nutrientes*. Dentro de *DRIS*, ainda existe duas subseções: *Método de escolha da razão de nutrientes; Fórmulas DRIS a ser utilizada*.

5.1.4 Opções de Configuração

Em algumas subseções existem mais de uma opção de configuração para se realizar os cálculos, sendo que dentro de cada subseção as opções de configuração são mutuamente exclusivas, ou seja, só é possível escolher uma opção de configuração por subseção a cada vez que se realizam os cálculos (botão “*Calcular*”). Desta forma, se a intenção é testar diferentes métodos de separação dos grupos de produtividade ou as diferentes fórmulas do DRIS, devem-se configurar as opções e pressionar o botão “*Calcular*” a cada configuração desejada.

Outra opção de configuração, são as caixas de seleção (CheckBox) que estão no canto superior direito de cada subseção em cada método e na opção de regressão do IEN com a produtividade. Ao iniciar o INAF, todas elas estão habilitadas, caso o usuário não queira calcular alguns dos métodos, basta desmarcar as respectivas caixas.

5.2 Dados de Entrada

Além da forma de entrada dos dados e suas peculiaridades, é aqui que está toda a confiabilidade da interpretação de uma análise foliar, por meio dos métodos aqui apresentados. Pois, apesar de um índice ou uma classificação, dar a interpretação direta da análise foliar, é a robustez e a representatividade da base de dados que nos dará, de forma indireta, a confiabilidade desta interpretação.

Desta forma, é imprescindível a análise exploratória dos dados antes de se proceder aos cálculos e, principalmente, para se gerar as normas. Primeiramente, é fundamental atentar para o número de observações da base de dados (n), onde para se obter uma boa estimativa dos parâmetros estatísticos

(média, desvio padrão e coeficiente de variação) é necessário um valor de n estatisticamente aceitável.

Para uma aproximação à distribuição normal dos dados, é aconselhável que o n seja maior ou igual a 30, pois o teorema central do limite garante que as médias amostrais apresentam uma distribuição que tende à distribuição normal (JÚNIOR, 2009). No entanto, a população de referência utilizada nos métodos é uma fração do total da base de dados, ou seja, apenas uma porcentagem das observações de maior produtividade é utilizada para se estimar os parâmetros estatísticos. Logo, considerando 20% do total de observações como o grupo de maior produtividade, recomenda-se um n de 150 para que o grupo de maior produtividade tenha o mínimo de 30 observações.

Em segundo lugar, e talvez mais importante que a questão anterior, é a representatividade da base de dados. Se possível, deve ser realizada uma análise exploratória dos dados onde pode ser verificada a amplitude dos dados, a variabilidade, a média e a normalidade dos dados, lembrando que a confiabilidade dos índices e classificações está intimamente relacionada com uma boa representatividade da base de dados. A qualidade das amostras é muito mais importante que o tamanho das mesmas (JÚNIOR, 2009).

Para realizar corretamente os cálculos, o INAF necessita que os dados nutricionais sejam introduzidos em formato txt, teores nutricionais em dag.kg^{-1} , sem cabeçalho e o parâmetro produtividade na última coluna (Tabela 1).

5.3 Grupos de Produtividade

Grupo de produtividade é a divisão feita na base de dados para gerar dois grupos, um de alta produtividade e outro de baixa produtividade, onde o primeiro será tomado como grupo de referência. Esta divisão é necessária, pois os métodos precisam gerar estatísticas como média, desvio padrão, coeficiente

de variação e frequência de cada grupo, principalmente do grupo de referência, para realizar os cálculos.

Como comentado no tópico anterior, a representatividade da base de dados é de igual importância para a definição dos grupos de produtividade. Desta forma, uma análise exploratória dos dados de produção deve ser realizada aqui também. Esta análise deve ser focada, principalmente, na escolha do ponto crítico de produtividade, que irá separar os grupos, para garantir um número adequado de observações no grupo de referência e uma boa representatividade das observações de alta produtividade.

5.3.1 Métodos de divisão

Para exemplificar os métodos de divisão será utilizado a base de dados apresentada na Tabela 1, porém, organizada de forma crescente pela coluna de produtividade (Tabela 2). No INAF há três métodos para a escolha do ponto de separação dos dois grupos de produtividade (Figura 5):

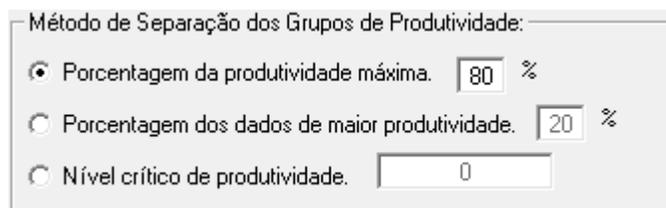


Figura 5 Método de Separação dos Grupos de Produtividade

1. *Porcentagem da produtividade máxima*: Como exemplo, tem-se 1609,6 como ponto crítico, que é 80% da produtividade máxima de 2012. Desta forma, seleciona-se a partir da observação 8 e é gerado o grupo de referência com 50% da base de dados.

2. *Porcentagem dos dados de maior produtividade*: Como exemplo tem-se 14 observações e são selecionados as 20% de maior produtividade, porém, como no INAF a ordenação da coluna de produtividade é crescente, o Software seleciona 80% do número total de observações como valor crítico, que no caso é o valor arredondado de 11,2. Desta forma, seleciona-se a partir da observação 11 e é gerado o grupo de referência com 28,6% da base de dados. Observe que não está próximo dos 20% desejados, pois, por questão de arredondamento e do pequeno número de observações, isto não é possível, o que se resolve quando se aumenta o número de observações.

Tabela 2 Base de dados ordenada por produtividade

Observação	N	P	K	Produtividade	PPM	PDMP	NCP
1	2,71	0,15	2,68	0			
2	3,64	0,18	1,80	805			
3	3,00	0,16	2,58	1160			
4	3,16	0,17	2,45	1234			
5	3,31	0,21	2,69	1322			
6	3,44	0,18	2,70	1361			
7	3,57	0,19	2,22	1445			
8	3,35	0,23	2,15	1622	*		
9	3,67	0,24	2,16	1655	*		*
10	3,76	0,25	2,40	1658	*		*
11	3,49	0,25	2,54	1800	*	*	*
12	4,00	0,27	2,52	1818	*	*	*
13	3,52	0,3	2,24	1891	*	*	*
14	3,64	0,24	2,60	2012	*	*	*

*observações selecionadas para o grupo de referência (alta produtividade); PPM = Porcentagem da produtividade máxima; PDMP= Porcentagem dos dados de maior produtividade; NCP= Nível crítico de produtividade.

3. *Nível crítico de produtividade*: este método separa os grupos de produtividade por um nível crítico de produtividade definido pelo usuário. Como exemplo tem-se o valor de 1640 como nível crítico.

A observação escolhida é a igual ou logo acima desse valor. Desta forma seleciona-se a partir da observação 9 e é gerado o grupo de referência com 42,9% da base de dados.

Os exemplos citados aqui, para cada método de separação dos grupos de produtividade, servem para reforçar a necessidade de uma análise exploratória dos dados de produtividade, pois ficou claro que a escolha do método de separação define diferentes grupos de referência, sua representatividade e conseqüentemente o resultado dos métodos implementados no INAF.

5.4 Normas

As normas geradas pelo INAF não são nada mais que as estatísticas do grupo de referência para cada um dos métodos. As estatísticas calculadas são média, para todos os índices, desvio padrão, para todos, menos IBK, e coeficiente de variação, para todos, menos CND e DRIS Log. Lembrando que não há normas para o método de Chance Matemática. Sendo assim, a Tabela 3 apresenta as normas geradas com a base de dados apresentada na Tabela 1 e utilizando o método de separação dos grupos por Porcentagem da produtividade máxima (80%).

Tabela 3 Exemplo de normas geradas pelo INAF

		N/P	N/K	P/N	P/K	K/N	K/P
Nutriente	Numerador	1	1	2	2	3	3
	Denominador	2	3	1	3	1	2
DRIS	"Teste F"	1	0	0	0	1	1
	coef. de corr.	1	0	0	0	1	1
	Média	14,367	1,537	0,070	0,108	0,654	9,391
	CV	8,660	7,355	9,958	12,197	7,556	11,147
	Desvio	1,244	0,113	0,007	0,013	0,049	1,047
CND	Média	-0,041	-2,702	-0,468	0	0	0
	Desvio	0,039	0,069	0,060	0	0	0
IBK	Média	3,633	0,254	2,373	0	0	0
	CV	5,79	9,32	7,97	0	0	0
DRIS Log	Média	1,16	0,19	-1,16	-0,97	-0,19	0,97
	Desvio	0,040	0,032	0,040	0,051	0,032	0,051

Note que, além dos parâmetros estatísticos, as quatro primeiras linhas se referem aos marcadores utilizados pelo INAF para reconhecer a razão de nutrientes que está em cada coluna e as razões selecionadas no método DRIS de acordo com os métodos de Razão de Variância ("Teste F") e Coeficiente de Correlação. Para os métodos CND e IBK não são utilizados marcadores, sendo que o número de nutrientes se relaciona com o número de colunas, onde a primeira coluna se refere ao primeiro nutriente e assim por diante. Já o método DRIS Log o marcador utilizado é apenas a primeira linha, pois neste método não há a escolha da razão nutricional e por isso sempre se utiliza a razão direta, pois a transformação em Log torna desnecessária essa seleção. Veja que tanto a razão direta entre N/P, quanto inversa P/N, apresentam os mesmos valores em módulo dos parâmetros estatísticos (Média=1,16 e Desvio=0,04035).

Compreendendo a estrutura do arquivo de normas e utilizando das funções disponíveis para salvar e importar normas, é possível alterar algum parâmetro manualmente, se for preciso, ou até mesmo introduzir normas já geradas de outras formas, utilizando o INAF apenas para efetuar os cálculos.

5.5 Índices

Os índices serão apresentados sem a classificação gerada pelo Potencial de Resposta à Adubação para que seja feita uma comparação entre os índices e as funções. Porém, será apresentado um tópico separado para a discussão da classificação.

5.5.1 DRIS

Aqui serão apresentadas, principalmente, as diferenças entre as funções DRIS e suas peculiaridades, como as faixas de equilíbrio e os fatores de superestimação.

5.5.1.1 Método de escolha das razões nutricionais

Razão de Variância:

Apesar de confuso, a ideia do método é bem simples. Busca-se escolher dentro do grupo de alta produtividade, a razão nutricional que tenha a menor variância em relação ao grupo de baixa produtividade, e para isso é escolhida a razão nutricional que tenha a maior razão de variância entre os grupos de baixa e alta produtividade. A Tabela 4 demonstra este método aplicado à base de dados adotada como exemplo.

Coefficiente de Correlação:

A Tabela 4 também apresenta os resultados da seleção das razões nutricionais pelo método de Coeficiente de Correlação, em que a razão que mais se correlacionar com a produção será selecionada.

Tabela 4 Escolha da razão nutricional por meio dos métodos de Razão de Variância e Coeficiente de Correlação

Parâmetro	N/P	N/K	P/N	P/K	K/N	K/P
----- Razão de Variância -----						
S_1^2	1,8620	0,1148	0,000019	0,00023	0,0259	7,2358
S_2^2	1,5482	0,0128	0,000049	0,00017	0,0024	1,0961
S_1^2/S_2^2	1,2027*	8,9879	0,3910	1,3231	10,6221*	6,6015*
----- Coeficiente de Correlação -----						
r	0,6691*	0,3285	0,6491	0,6624	0,5180*	0,7316*

S_1^2 = variância do grupo baixa produtividade; S_2^2 = variância do grupo alta produtividade; S_1^2/S_2^2 = "Teste F" de razão de variâncias; r = coeficiente de correlação em módulo; * razão nutricional selecionada.

Transformação Logarítmica:

Observe na Tabela 5 que os valores de média e desvio padrão entre as duas razões são distintos, gerando um problema de escala e distribuição dos dados, em que $N/P > P/N$ ou $N/P < P/N$, dependendo dos valores de N e P . Já a transformação logarítmica garante que as razões sempre obedeçam à relação $\log(N/P) = -\log(P/N)$, se $N > P$.

Tabela 5 Demonstração da transformação logarítmica aplicada nas razões nutricionais de N e P da base de dados adotada como exemplo

Parâmetro	N	P	N/P	P/N	log(N/P)	log(P/N)
	3,640	0,240	18,588	0,054	1,269	-1,269
	3,520	0,300	15,762	0,063	1,198	-1,198
	4,000	0,270	14,565	0,069	1,163	-1,163
	3,490	0,250	15,167	0,066	1,181	-1,181
	3,760	0,250	18,789	0,053	1,274	-1,274
	3,670	0,240	19,111	0,052	1,281	-1,281
	3,350	0,230	15,292	0,065	1,184	-1,184
	3,570	0,190	15,040	0,066	1,177	-1,177
	3,440	0,180	18,750	0,053	1,273	-1,273
	3,310	0,210	14,815	0,068	1,171	-1,171
	3,160	0,170	18,067	0,055	1,257	-1,257
	3,000	0,160	11,733	0,085	1,069	-1,069
	3,640	0,180	20,222	0,049	1,306	-1,306
	2,710	0,150	13,960	0,072	1,145	-1,145
Média	3,447	0,216	16,419	0,062	1,211	-1,211
Desvio padrão	0,329	0,045	2,471	0,010	0,067	0,067

5.5.1.2 Equação do índice DRIS

A equação que gera o índice DRIS define uma influência positiva, para as razões diretas e negativa, para as razões inversas, no entanto, a literatura não explora e nem explica satisfatoriamente esta influência no resultado final do índice DRIS e nem as implicações práticas de sua interpretação. No entanto, a interpretação para a diferença da influência das razões está na relação entre o numerador e o denominador desta razão.

Para o valor de uma razão direta X/Y_n *aumentar* em relação à norma, deve-se aumentar o valor de X ou diminuir o de Y_n , nestes dois casos, o teor do nutriente X estará em *excesso* em relação ao nutriente Y_n . Se o valor dessa razão direta *diminuir* em relação à norma, o oposto deverá ocorrer e o teor do nutriente X estará em *déficit* em relação ao nutriente Y_n e por este motivo, a influência é positiva para compor a equação do índice DRIS.

Já, a razão inversa, para o valor de Z_m/X *aumentar* em relação à norma, deve-se aumentar o valor de Z_m ou diminuir o de X , nestes dois casos o teor do nutriente X estará em *déficit* em relação ao nutriente Z_m . Da mesma forma, se o valor dessa razão inversa *diminuir* em relação à norma, o oposto deverá ocorrer e o teor do nutriente X estará em *excesso* em relação ao nutriente Z_n . Para corrigir a diferença desta relação, os valores da função DRIS, onde a razão inversa é utilizada, tem influência negativa para compor a equação do índice DRIS (Tabela 6).

Tabela 6 Influência das razões diretas e inversas na composição da equação do índice DRIS

Razão	Alteração ¹	Interpretação ²	Influência ³
X/Y_n	aumenta	excesso	+
X/Y_n	diminui	déficit	+
Z_m/X	aumenta	déficit	-
Z_m/X	diminui	excesso	-

¹Auturação do valor da razão nutricional em relação à norma; ²Interpretação nutricional do nutriente X em relação ao Y_n ou Z_m . ³Influência da função DRIS na composição da equação do índice DRIS.

5.5.1.3 Função de Beaufils (1973)

Toda a compreensão do índice DRIS, da função proposta por Beaufils (1973) e as funções propostas por outros autores está no entendimento e interpretação desta função. Maia (1999) apresenta em seu texto uma discussão bem mais detalhada sobre este tema exposto aqui, no entanto, o ponto principal é a compreensão de que as duas funções básicas apresentadas por Beaufils (1973), para $X/Y_n > x/y_n$ e $X/Y_n < x/y_n$, são, na verdade, a equação para a transformação da distribuição Normal padronizada, que por sua vez, é a mesma função utilizada por Jones (1981) e Elwali e Gascho (1984). Isto nos leva a conclusão de que a função DRIS calcula a variável aleatória Z da distribuição

Normal gerada por cada razão nutricional, ou seja, ela mede o desvio de uma razão nutricional em relação à média presente na norma.

A equação de cálculo do coeficiente de variação (CV) é utilizada para substituir nas funções DRIS de Beauflis (1973) e demonstrar sua igualdade com a equação de transformação Z.

$$Z = \frac{X - \bar{x}}{S} \quad CV = \frac{S}{\bar{x}} \times 100$$

sendo:

$$X = X/Y_n \quad \bar{x} = x/y_n \quad S = S_{(x/y_n)}$$

Função DRIS para $X/Y_n > x/y_n$:

$$f(X/Y_n) = \left(\frac{X/Y_n}{x/y_n} - 1 \right) \frac{100k}{CV_{(x/y_n)}}$$

$$f(X/Y_n) = \left(\frac{X/Y_n}{x/y_n} - 1 \right) \frac{100k}{\frac{S_{(x/y_n)}}{x/y_n} \times 100}$$

$$f(X/Y_n) = \left(\frac{X/Y_n - x/y_n}{x/y_n} \right) \frac{x/y_n}{S_{(x/y_n)}} k$$

$$f(X/Y_n) = \left(\frac{X/Y_n - x/y_n}{S_{(x/y_n)}} \right) \frac{x/y_n}{x/y_n} k$$

$$f(X/Y_n) = \left(\frac{X/Y_n - x/y_n}{S_{(x/y_n)}} \right) k$$

$$f(X) = \frac{X - \bar{x}}{S} k$$

Função DRIS para $X/Y_n < x/y_n$:

$$f(X/Y_n) = \left(1 - \frac{x/y_n}{X/Y_n}\right) \frac{100k}{CV_{(x/y_n)}}$$

$$f(X/Y_n) = \left(1 - \frac{x/y_n}{X/Y_n}\right) \frac{100k}{\frac{S_{(x/y_n)}}{x/y_n}} \times 100$$

$$f(X/Y_n) = \left(\frac{X/Y_n - x/y_n}{X/Y_n}\right) \frac{x/y_n}{S_{(x/y_n)}} k$$

$$f(X/Y_n) = \left(\frac{X/Y_n - x/y_n}{S_{(x/y_n)}}\right) \frac{x/y_n}{X/Y_n} k$$

$$f(X) = \frac{X - \bar{x}}{S} k \frac{\bar{x}}{X}$$

A partir da dedução das fórmulas da função DRIS de Beaufils (1973), pode-se verificar sua igualdade com a equação de padronização da distribuição Normal (variável aleatória Z), com exceção da constante k nas duas funções e do fator $\frac{\bar{x}}{X}$ na segunda função. A constante k é utilizada nas funções DRIS para tornar os resultados mais palpáveis, pois em alguns casos, os valores são muito pequenos, com várias casas decimais, o que dificulta a interpretação.

Já o fator $\frac{\bar{x}}{X}$ é utilizado para superestimar as funções DRIS que expressam deficiência do nutriente analisado, obedecendo a uma lógica simples: se $X < \bar{x}$, o fator $\frac{\bar{x}}{X}$ sempre será maior que 1 e quanto maior for a diferença entre X e \bar{x} , ou seja, quanto maior o déficit do nutriente analisado em relação ao outro nutriente na razão, maior será a superestimação da função (em módulo) e, conseqüentemente, do índice DRIS.

Na Tabela 7 são apresentados os índices DRIS utilizando a função de Beaufils (1973) para todas as amostras da base de dados de referência e também é apresentado o Índice de Balanço Nutricional (IBN).

Tabela 7 Índice DRIS utilizando a função de Beaufils (1973)

N	P	K	IBN	Produtividade
2,34	-20,47	18,13	40,94	1234
-5,23	-10,96	16,20	32,40	1322
1,02	-0,29	-0,73	2,04	1622
-1,45	-5,05	6,50	13,00	2012
10,59	-14,36	3,77	28,72	1445
2,90	-22,92	20,02	45,85	1361
5,53	-0,88	-4,65	11,06	1655
2,16	-1,85	-0,31	4,32	1658
-1,62	-24,88	26,51	53,02	1160
2,15	-0,76	-1,39	4,31	1818
-9,52	-27,67	37,19	74,38	0
-5,57	12,26	-6,69	24,52	1891
22,43	-13,22	-9,21	44,85	805
-4,58	-0,99	5,58	11,15	1800

Para exemplificar os cálculos do índice DRIS, são apresentados os cálculos da primeira e da última amostra da base de dados:

-Equação do índice DRIS somente com as razões selecionadas (N/P , K/N e K/P).

$$\text{Índice } N = \frac{\{[f(N/P)] - [f(K/N)]\}}{1 + 1}$$

$$\text{Índice } P = \frac{\{-[f(N/P) + f(K/P)]\}}{0 + 2}$$

$$\text{Índice } K = \frac{\{[f(K/N) + f(K/P)]\}}{2 + 0}$$

Primeira amostra com teores de $N = 3,16$, $P = 0,17$ e $K = 2,45$.

-Cálculo das funções DRIS sugeridas por Beaufils (1973).

$$f(N/P) = \left(\frac{18,588}{14,367} - 1 \right) \frac{100,5}{8,660} = 16,96 \quad 18,588 > 14,367$$

$$f(K/N) = \left(\frac{0,775}{0,654} - 1 \right) \frac{100,5}{7,556} = 12,29 \quad 0,775 > 0,654$$

$$f(K/P) = \left(\frac{14,41}{9,392} - 1 \right) \frac{100,5}{11,146} = 23,98 \quad 14,412 > 9,392$$

-Cálculo dos índices DRIS.

$$\acute{I}ndice N = \frac{\{[16,961] - [12,291]\}}{1 + 1} = 2,335$$

$$\acute{I}ndice P = \frac{\{-[16,961 + 23,975]\}}{0 + 2} = -20,468$$

$$\acute{I}ndice K = \frac{\{[12,291 + 23,975]\}}{2 + 0} = 18,133$$

$$\acute{I}ndice de Balanço Nutricional (IBN) = |2,34| + |-20,47| + |18,13| = 40,94$$

Última amostra com teores de $N = 3,49$, $P = 0,25$ e $K = 2,54$.

-Cálculo das funções DRIS sugeridas por Beaufils (1973).

$$f(N/P) = \left(1 - \frac{14,367}{13,96} \right) \frac{100,5}{8,660} = -1,685 \quad 13,96 < 14,367$$

$$f(K/N) = \left(\frac{0,728}{0,654} - 1 \right) \frac{100,5}{7,556} = 7,481 \quad 0,728 > 0,654$$

$$f(K/P) = \left(\frac{10,16}{9,392} - 1 \right) \frac{100,5}{11,146} = 3,670 \quad 10,16 > 9,392$$

-Cálculo dos índices DRIS.

$$\acute{I}ndice N = \frac{\{[-1,685] - [7,481]\}}{1 + 1} = -4,583$$

$$\text{Índice } P = \frac{\{-[-1,685 + 3,670]\}}{0 + 2} = -0,992$$

$$\text{Índice } K = \frac{\{[7,481 + 3,670]\}}{2 + 0} = 5,576$$

$$\text{Índice de Balanço Nutricional (IBN)} = |-4,58| + |-0,99| + |5,58| = 11,15$$

5.5.1.4 Faixa de Beaufils (2/3s)

Como visto nas deduções das duas funções básicas de Beaufils (1973), ela está diretamente relacionada à distribuição Normal e a transformação para a Normal padrão. Logo, pode-se supor uma analogia com os testes estatísticos bilaterais, baseados na distribuição Normal, em que se têm um ponto crítico determinado pelas normas e a razão nutricional da amostra a ser testada.

Como exemplo do método anterior, a Tabela 8 traz os índices DRIS calculados pela função de Faixa de Beaufils e logo após serão apresentados os cálculos detalhados apenas da última amostra, pois na primeira não há alteração.

Tabela 8 Índice DRIS utilizando a função Faixa de Beaufils (2/3s)

N	P	K	IBN	Produtividade
2,34	-20,47	18,13	40,94	1234
-5,23	-10,96	16,20	32,40	1322
0	0	0	0	1622
-3,06	-3,44	6,50	13,00	2012
8,88	-14,36	5,47	28,72	1445
2,90	-22,92	20,02	45,85	1361
5,53	-1,86	-3,67	11,06	1655
0	0	0	0	1658
-1,62	-24,88	26,51	53,02	1160
0	0	0	0	1818
-9,52	-27,67	37,19	74,38	0
-6,48	12,26	-5,78	24,52	1891
22,43	-11,76	-10,66	44,85	805
-3,74	-1,83	5,58	11,15	1800

Última amostra com teores de $N = 3,49$, $P = 0,25$ e $K = 2,54$.

-Cálculo das funções DRIS pela Faixa de Beauflis.

$$f(N/P) = \left(1 - \frac{14,367}{13,96}\right) \frac{100,5}{8,660} = -1,685 \quad 13,96 < 14,367$$

$$\text{como: } 14,367 - 2/3.1,244 < 13,96 < 14,367 + 2/3.1,244 \\ 13,538 < 13,96 < 15,197$$

$$f(N/P) = 0$$

$$f(K/N) = \left(\frac{0,728}{0,654} - 1\right) \frac{100,5}{7,556} = 7,481 \quad 0,728 > 0,654$$

$$f(K/P) = \left(\frac{10,16}{9,392} - 1\right) \frac{100,5}{11,146} = 3,670 \quad 10,16 > 9,392$$

-Cálculo dos índices DRIS.

$$\hat{\text{Índice}} N = \frac{\{[0] - [7,481]\}}{1 + 1} = -3,741$$

$$\hat{\text{Índice}} P = \frac{\{-[0 + 3,670]\}}{0 + 2} = -1,835$$

$$\hat{\text{Índice}} K = \frac{\{[7,481 + 3,670]\}}{2 + 0} = 5,576$$

$$\hat{\text{Índice de Balanço Nutricional}} (IBN) = |-3,74| + |-1,84| + |5,576| = 11,15$$

Utilizando o critério de ponto crítico, na determinação de faixas de equilíbrio para as razões nutricionais, irão ocorrer variações nos índices que utilizarem as funções que foram zeradas por estar na faixa de equilíbrio. Com isso, alguns ou todos os índices nutricionais podem ser alterados; e apesar do exemplo não ter mostrado alteração do IBN, isso não é uma regra.

5.5.1.4 Função de Elwali e Gascho (1984)

Na Tabela 9 são apresentados os índices DRIS calculados pela função de Elwali e Gascho (1984) e logo após são apresentados os cálculos detalhados apenas da última amostra.

Tabela 9 Índice DRIS utilizando a função de Elwali e Gascho (1984)

N	P	K	IBN	Produtividade
2,34	-20,47	18,13	40,94	1234
-5,23	-10,96	16,20	32,40	1322
0	0	0	0	1622
-3,06	-3,44	6,50	13,00	2012
8,88	-14,36	5,47	28,72	1445
2,90	-22,92	20,02	45,85	1361
3,67	0	-3,67	7,34	1655
0	0	0	0	1658
-1,62	-24,88	26,51	53,02	1160
0	0	0	0	1818
-9,52	-27,67	37,19	74,38	0
-6,48	12,26	-5,78	24,52	1891
22,43	-11,76	-10,66	44,85	805
-3,74	0	3,74	7,48	1800

Última amostra com teores de $N = 3,49$, $P = 0,25$ e $K = 2,54$.

-Cálculo das funções DRIS pelo método de Elwali e Gascho (1984).

$$f(N/P) = \left(1 - \frac{14,367}{13,96}\right) \frac{100,5}{8,660} = -1,685 \quad 13,96 < 14,367$$

$$\text{como: } 14,367 - 1,244 < 13,96 < 14,367 + 1,244$$

$$13,1231 < 13,96 < 15,6116$$

$$f(N/P) = 0$$

$$f(K/N) = \left(\frac{0,728}{0,654} - 1\right) \frac{100,5}{7,556} = 7,481 \quad 0,728 > 0,654$$

$$f(K/P) = \left(\frac{10,16}{9,392} - 1\right) \frac{100,5}{11,146} = 3,670 \quad 10,16 > 9,392$$

$$\text{como: } 9,392 - 1,0469 < 10,16 < 9,392 + 1,0469$$

$$8,3447 < 10,16 < 10,4385$$

$$f(K/P) = 0$$

-Cálculo dos índices DRIS.

$$\text{Índice } N = \frac{\{[0] - [7,481]\}}{1 + 1} = -3,741$$

$$\text{Índice } P = \frac{\{-[0 + 0]\}}{0 + 2} = 0$$

$$\text{Índice } K = \frac{\{[7,481 + 0]\}}{2 + 0} = 3,741$$

$$\text{Índice de Balanço Nutricional (IBN)} = |-3,741| + |0| + |3,741| = 7,481$$

Este método utiliza um valor maior para de o ponto crítico (1S) do que o método anterior (2/3S), isto faz com que aumente a faixa que será considerada em equilíbrio das razões nutricionais. Desta forma, além da $f(N/P)$ que foi zerada no método anterior, a $f(K/P)$ também foi zerada por se considerar que a razão nutricional K/P está em equilíbrio e dentro do intervalo de um desvio padrão. Este exemplo também mostrou que o IBN pode ser alterado utilizando o critério de ponto crítico.

5.5.1.5 Função de Jones (1981)

A Tabela 10 traz os índices DRIS calculados pela função de Jones (1981) e logo após os cálculos detalhados apenas da última amostra.

Tabela 10 Índice DRIS utilizando a função de Jones (1981)

N	P	K	IBN	Produtividade
2,34	-20,47	18,13	40,94	1234
-5,23	-10,96	16,20	32,40	1322
1,01	-0,29	-0,72	2,02	1622
-1,45	-5,05	6,50	13,00	2012
10,51	-14,36	3,85	28,72	1445
2,90	-22,92	20,02	45,85	1361
5,16	-0,92	-4,24	10,32	1655
2,14	-1,85	-0,29	4,28	1658
-1,62	-24,88	26,51	53,02	1160
2,11	-0,76	-1,35	4,21	1818
-9,52	-27,67	37,19	74,38	0
-4,41	9,89	-5,48	19,78	1891
19,83	-13,22	-6,61	39,66	805
-4,56	-1,02	5,58	11,15	1800

Última amostra com teores de $N = 3,49$, $P = 0,25$ e $K = 2,54$.

-Cálculo das funções DRIS pelo método de Jones (1981).

$$f(N/P) = \frac{13,96 - 14,367}{1,2443} \times 5 = -1,637$$

$$f(K/N) = \frac{0,7278 - 0,6539}{0,0494} \times 5 = 7,481$$

$$f(K/P) = \frac{10,16 - 9,3916}{1,0469} \times 5 = 3,670$$

-Cálculo dos índices DRIS.

$$\text{Índice } N = \frac{\{-1,637\} - \{7,481\}}{1 + 1} = -4,559$$

$$\text{Índice } P = \frac{\{-[-1,637 + 3,670]\}}{0 + 2} = -1,016$$

$$\text{Índice } K = \frac{\{7,481 + 0\}}{2 + 0} = 5,576$$

$$\text{Índice de Balanço Nutricional (IBN)} = |-4,56| + |-1,02| + |5,58| = 11,151$$

Com o resultado das funções de Jones (1981) pode-se confirmar a demonstração das funções de Beaufile (1973) e também que a função utilizada por este autor, para valores de razão nutricional menor que a média da norma superestima, em módulo, o seu valor devido ao fator $\frac{x/y_n}{X/Y_n} \left(\frac{\bar{x}}{X}\right)$.

$$f(N/P)_{\text{Jones}} \times \frac{x/y_n}{X/Y_n} = f(N/P)_{\text{Beaufile}}$$

$$-1,6371 \times \frac{14,3674}{13,96} = -1,6848$$

$$-1,6371 \times 1,0292 = -1,6848$$

5.5.1.6 Função de Jones (1981) superestimado

A Tabela 11 demonstra superestimação dos índices DRIS calculados por esta função, e logo após, os cálculos detalhados apenas da última amostra.

Tabela 11 Índice DRIS utilizando a função de Jones (1981) superestimado

N	P	K	IBN	Produtividade
3,69	-29,37	25,68	58,74	1234
-6,91	-14,21	21,12	42,24	1322
1,03	-0,30	-0,73	2,05	1622
-1,64	-5,67	7,31	14,62	2012
13,32	-18,43	5,11	36,86	1445
4,72	-34,07	29,35	68,14	1361
5,65	-1,00	-4,65	11,30	1655
2,22	-1,92	-0,30	4,44	1658
-2,23	-39,10	41,33	82,65	1160
2,18	-0,79	-1,39	4,36	1818
-16,30	-47,85	64,14	128,29	0
-5,57	12,26	-6,69	24,52	1891
27,22	-18,10	-9,12	54,44	805
-5,01	-1,14	6,15	12,30	1800

Última amostra com teores de $N = 3,49$, $P = 0,25$ e $K = 2,54$.

-Cálculo das funções DRIS pelo método de Jones (1981) superestimado.

$$f(N/P) = \frac{13,96-14,367}{1,2443} \times 5 \times \frac{14,367}{13,96} = -1,6848 \quad 13,96 < 14,367$$

$$f(K/N) = \frac{0,7278-0,6539}{0,0494} \times 5 \times \frac{0,728}{0,654} = 8,3275 \quad 0,728 > 0,654$$

$$f(K/P) = \frac{10,16-9,3916}{1,0469} \times 5 \times \frac{10,16}{9,392} = 3,97 \quad 10,16 > 9,392$$

-Cálculo dos índices DRIS.

$$\text{Índice } N = \frac{\{-1,6848\} - \{8,3275\}}{1 + 1} = -5,006$$

$$\text{Índice } P = \frac{\{-[-1,6848 + 3,97]\}}{0 + 2} = -1,143$$

$$\text{Índice } K = \frac{\{[8,3275 + 3,97]\}}{2 + 0} = 6,149$$

$$\text{Índice de Balanço Nutricional (IBN)} = |-5,01| + |-1,14| + |6,15| = 12,297$$

Da mesma forma, se pode confirmar a utilização do fator $\frac{x/y_n}{X/Y_n}$ para superestimar as funções com razão nutricional menor que a média da norma, pode-se confirmar a superestimação das funções com razão nutricional maior que a média da norma realizada por este método com o fator $\frac{X/Y_n}{x/y_n}$.

$$f(K/N)_{\text{Jones}} \times \frac{X/Y_n}{x/y_n} = f(K/N)_{\text{Jones superestimado}}$$

$$7,4814 \times \frac{0,7278}{0,6539} = 8,3272$$

$$7,4814 \times 1,1131 = 8,3272$$

5.5.1.7 Função de Garcia (2013)

Este método é recomendado quando a população de referência está muito bem definida e com um número de amostras maior que 30. Pois a ideia é calcular o índice apenas para as amostras que realmente estiverem fora da população de referência, diminuindo a dificuldade de interpretação dos índices e facilitando a identificação das amostras realmente alteradas nutricionalmente. Como o método amplia a faixa de equilíbrio considerada, reduz o número de amostras onde os índices serão calculados e desta forma acredita-se que a utilização dos fatores de superestimação, apresentado no método anterior, serão de grande ajuda para separar melhor as amostras que terão os índices calculados.

Na Tabela 12 pode-se entender melhor o efeito deste aumento da faixa de equilíbrio e dos fatores de superestimação utilizados, já para o demonstrativo de cálculo vamos utilizar apenas a antepenúltima amostra como exemplo.

Tabela 12 Índice DRIS utilizando o método de Garcia (2013)

N	P	K	IBN	Produtividade
3,69	-29,37	25,68	58,74	1234
-9,99	-11,13	21,12	42,24	1322
0	0	0	0	1622
0	0	0	0	2012
11,62	-18,43	6,81	36,86	1445
4,72	-34,07	29,35	68,14	1361
0	0	0	0	1655
0	0	0	0	1658
-2,23	-39,10	41,33	82,65	1160
0,00	0,00	0,00	0,00	1818
-16,30	-47,85	64,14	128,29	0
-6,48	6,48	0	12,96	1891
27,22	-16,56	-10,66	54,44	805
0	0	0	0	1800

Antepenúltima amostra com teores de $N = 3,52$, $P = 0,3$ e $K = 2,24$.

-Cálculo das funções DRIS pelo método de Garcia (2013).

$$Z(N/P) = \frac{11,733-14,367}{1,2443} = 2,117 \quad 2,117 > 1,95998$$

como o valor de $Z(N/P)$ é maior do que o ponto crítico a função será calculada:

$$f(N/P) = \frac{11,733-14,367}{1,2443} \times 5 \times \frac{14,367}{11,733} = -12,961$$

$$11,733 < 14,367$$

$$Z(K/N) = \frac{0,6364-0,6539}{0,0494} = 0,3543 \quad 0,3543 < 1,95998$$

como o valor de $Z(K/N)$ é menor do que o ponto crítico a função será zerada:

$$f(K/N) = 0$$

$$Z(K/P) = \frac{7,4667-9,3916}{1,0469} = 1,8386 \quad 1,8386 < 1,95998$$

como o valor de $Z(K/P)$ é menor do que o ponto crítico a função será zerada:

$$f(K/P) = 0$$

-Cálculo dos índices DRIS.

$$\text{Índice } N = \frac{\{-12,961\} - \{0\}}{1 + 1} = -6,481$$

$$\text{Índice } P = \frac{\{-[-12,961 + 0]\}}{0 + 2} = 6,481$$

$$\text{Índice } K = \frac{\{[0 + 0]\}}{2 + 0} = 0$$

$$\text{Índice de Balanço Nutricional (IBN)} = |-6,481| + |6,481| + |0| = 12,961$$

Mesmo em um exemplo pequeno pode-se verificar que apenas as amostras de maior produtividade tiveram seus índices DRIS zerados, isso demonstra que o método é eficiente quando se quer identificar o nutriente em deficiência ou excesso nas amostras e não o equilíbrio nutricional das amostras.

5.5.1.8 Comparação das funções DRIS

Para uma melhor compreensão e visão geral das diferenças das funções apresentados para o cálculo do índice DRIS, a Tabela 13 traz um resumo dos valores de cada função, dos índices DRIS e o IBN para a primeira, antepenúltima e última amostra.

Na Tabela 13 pode-se visualizar o efeito dos fatores de superestimação, bem como o das faixas de equilíbrio, sobre os valores das funções, índices e IBN do DRIS, lembrando que quanto mais próximo de zero mais em equilíbrio estará à razão nutricional, o nutriente ou a amostra (respectivamente).

Para uma compreensão definitiva do fator de superestimação, as Figura 6, 7 e 8 trazem a comparação da função de Jones (1981), que apresenta o valor real da função DRIS, com o efeito do fator de superestimação presente no método Jones superestimado. Note que para o método de Jones (1981) foi ajustada uma curva de tendência linear, mostrando que não há efeito algum de distorção dos resultados, já para o método Jones superestimado a curva ajustada é um polinômio de terceiro grau, o que mostra a distorção tanto dos valores maiores quanto menores que a média. Ainda é importante observar que esta distorção é maior quanto maior é a distância em relação à média presente na norma.

Tabela 13 Resultados de cada método apresentado para o cálculo do índice DRIS para a primeira, antepenúltima e última amostras

Parâmetro	Jones	Jones sup.	Beaufils	Faixa de Beaufils	Elwali e Gascho	Garcia
-----Primeira-----						
N/P	16,961	21,944	16,961	16,961	16,961	21,944
K/N	12,291	14,574	12,291	12,291	12,291	14,574
K/P	23,975	36,791	23,975	23,975	23,975	36,791
N	2,335	3,685	2,335	2,335	2,335	3,685
P	-20,468	-29,368	-20,468	-20,468	-20,468	-29,368
K	18,133	25,682	18,133	18,133	18,133	25,682
IBN	40,937	58,735	40,937	40,937	40,937	58,735
-----Antepenúltima-----						
N/P	-10,59	-12,96	-12,96	-12,961	-12,961	-12,96
K/N	-1,772	-1,820	-1,820	0	0	0
K/P	-9,193	-11,563	-11,56	-11,563	-11,563	0
N	-4,407	-5,570	-5,570	-6,481	-6,481	-6,481
P	9,889	12,262	12,262	12,262	12,262	6,481
K	-5,482	-6,692	-6,692	-5,782	-5,782	0
IBN	19,778	24,524	24,524	24,524	24,524	12,961
-----Última-----						
N/P	-1,637	-1,685	-1,685	0	0	0
K/N	7,481	8,327	7,481	7,481	7,481	0
K/P	3,670	3,970	3,670	3,670	0	0
N	-4,559	-5,006	-4,583	-3,741	-3,741	0
P	-1,016	-1,143	-0,992	-1,835	0	0
K	5,576	6,149	5,576	5,576	3,741	0
IBN	11,151	12,297	11,151	11,151	7,481	0

*funções: N/P, K/N e K/P; índices: N, P e K; IBN: Índice de Balanço Nutricional.

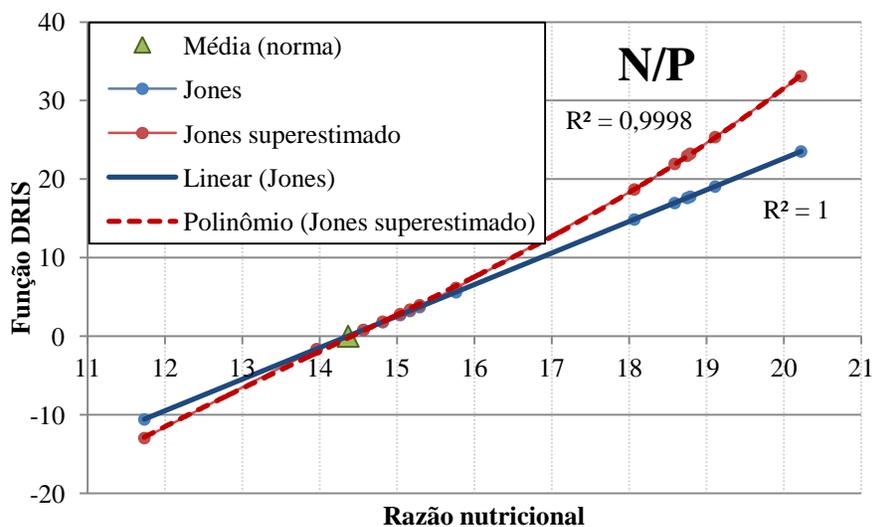


Figura 6 Efeito de distorção dos resultados da função DRIS provocados pelo fator de superestimação na razão N/P

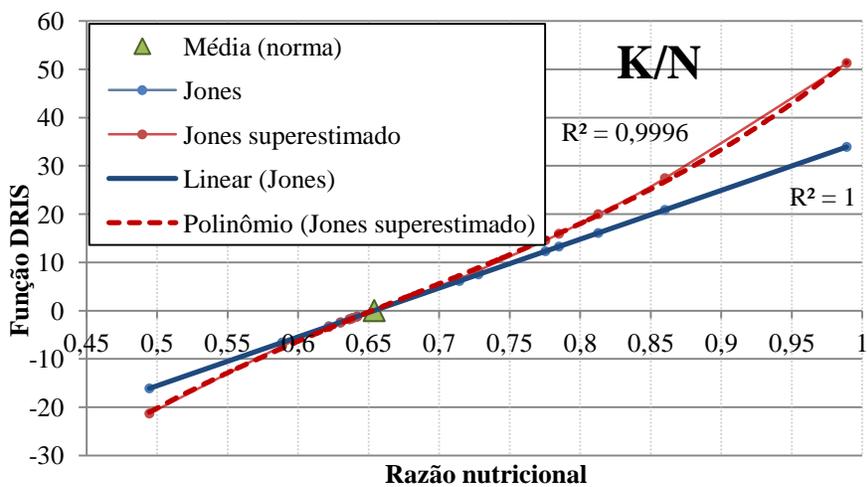


Figura 7 Efeito de distorção dos resultados da função DRIS provocados pelo fator de superestimação na razão K/N

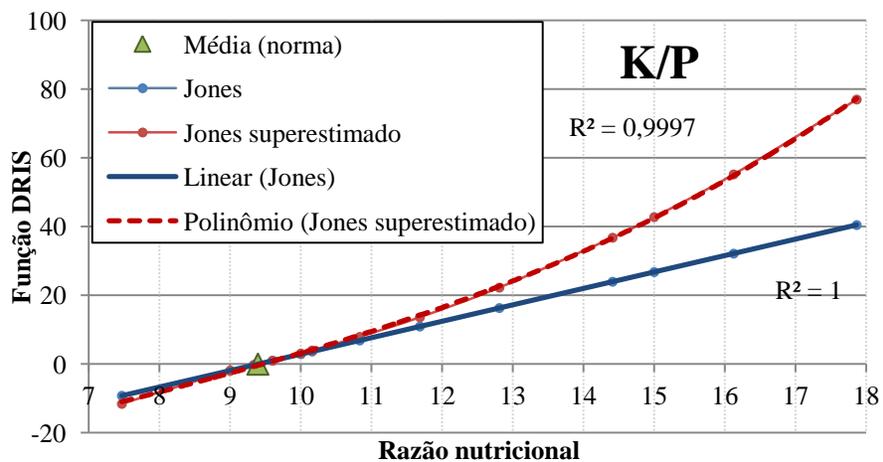


Figura 8 Efeito de distorção dos resultados da função DRIS provocados pelo fator de superestimação na razão K/P

Já para uma compreensão definitiva da faixa de equilíbrio, as Figuras 9, 10 e 11 trazem gráficos inovadores para o tema. Neles, as razões nutricionais das amostras são relacionadas com a distribuição normal gerada pela norma DRIS, os resultados das funções DRIS e as faixas de equilíbrio de cada método, sendo que são todos apresentados na mesma escala.

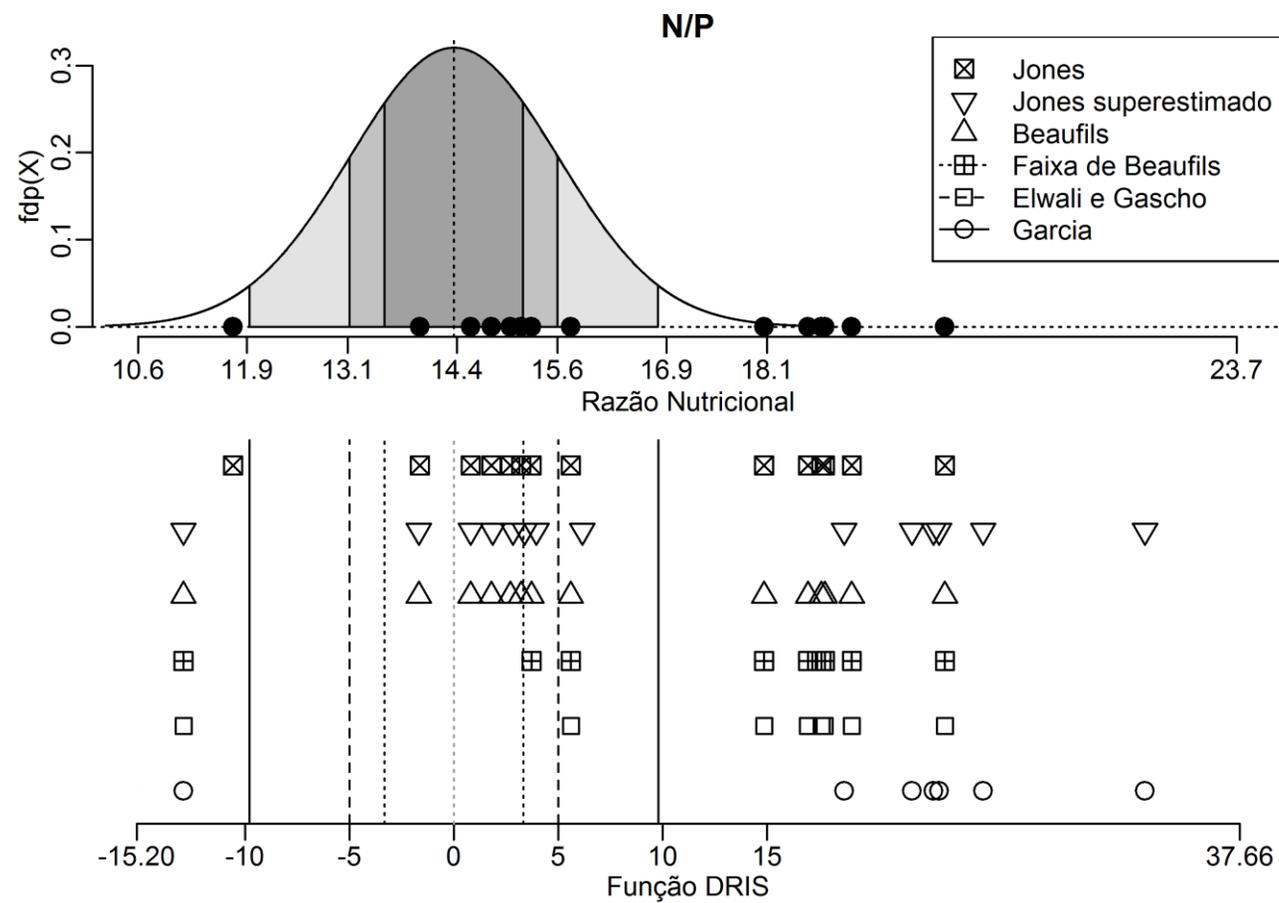


Figura 9 Relação entre a razão nutricional N/P e as funções DRIS

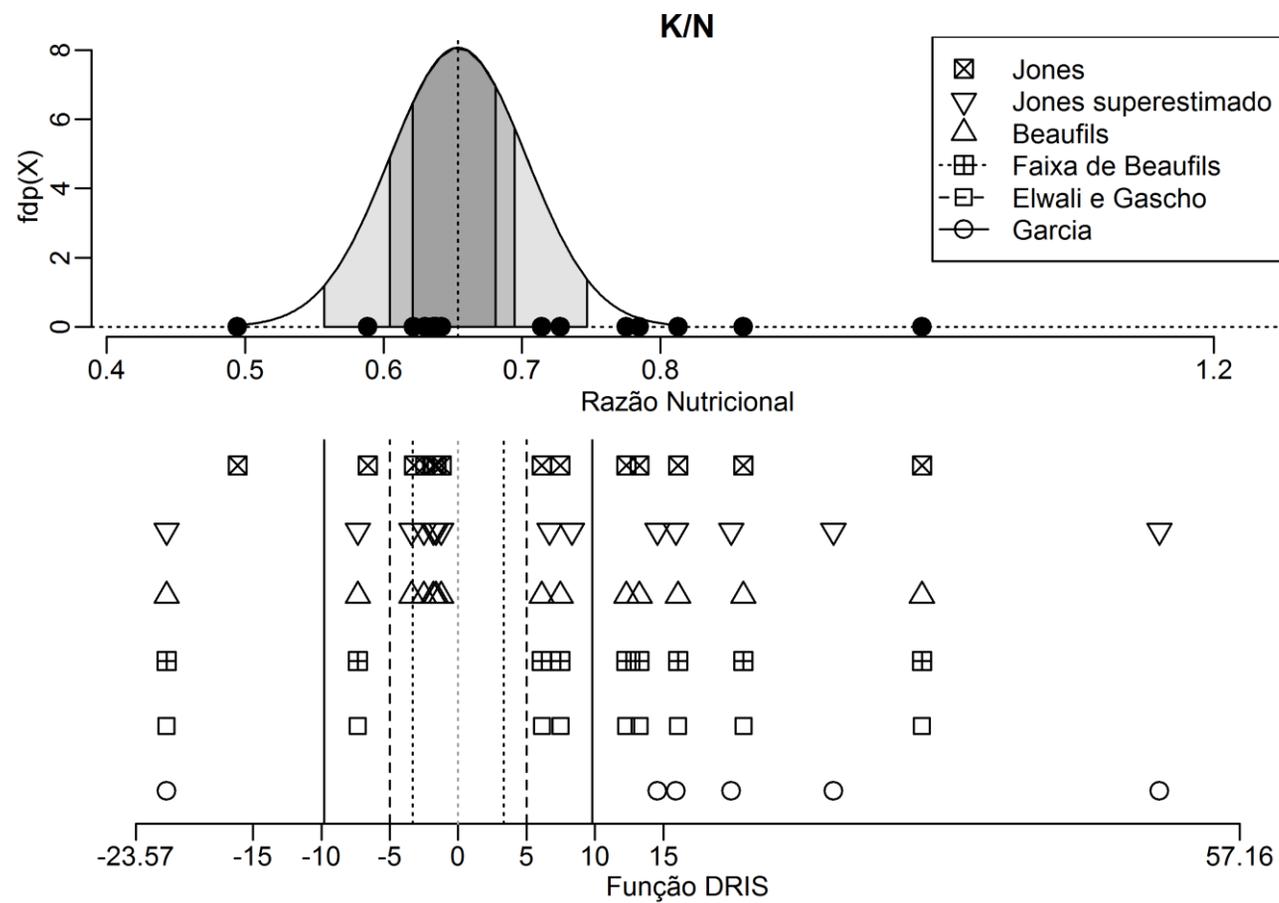


Figura 10 Relação entre a razão nutricional K/N e as funções DRIS

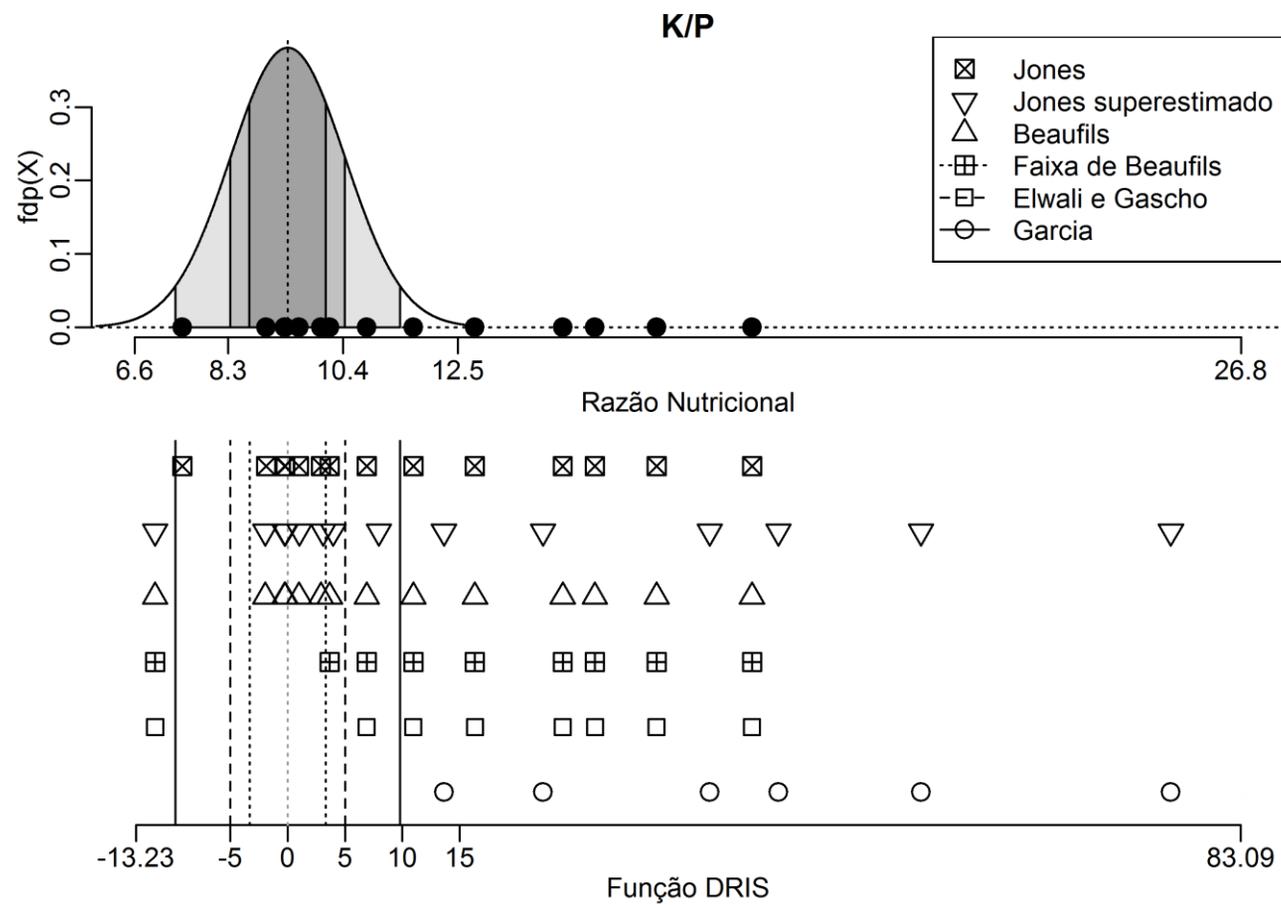


Figura 11 Relação entre a razão nutricional K/P e as funções DRIS

5.5.2 CND

A Tabela 14 traz os valores das variáveis multinutriente para a base de dados de exemplo e logo após os cálculos detalhados da primeira amostra.

Tabela 14 Variável multinutriente calculada no método CND

ln(N/G)	ln(P/G)	ln(K/G)	Produtividade
-0,0545	-2,9770	-0,3090	1234
-0,0948	-2,8524	-0,3022	1322
-0,0538	-2,7324	-0,4973	1622
-0,0477	-2,7668	-0,3841	2012
0,0344	-2,8989	-0,4407	1445
-0,0280	-2,9783	-0,2702	1361
0,0038	-2,7235	-0,5263	1655
-0,0137	-2,7244	-0,4627	1658
-0,0914	-3,0226	-0,2422	1160
0,0023	-2,6934	-0,4598	1818
-0,1615	-3,0556	-0,1726	0
-0,0924	-2,5549	-0,5444	1891
0,1139	-2,8929	-0,5903	805
-0,0841	-2,7203	-0,4019	1800

Primeira amostra com teores de $N = 3,16$, $P = 0,17$ e $K = 2,45$.

-Cálculo da variável multinutriente.

$$R = 100 - (3,16 + 0,17 + 2,45) = 94,22$$

$$G = (3,16 \times 0,17 \times 2,45 \times 94,22)^{1/4} = 3,34$$

$$\ln(N/G) = \ln\left(\frac{3,16}{3,34}\right) = -0,0545$$

$$\ln(P/G) = \ln\left(\frac{0,17}{3,34}\right) = -2,9770$$

$$\ln(K/G) = \ln\left(\frac{2,45}{3,34}\right) = -0,3090$$

A Tabela 15 traz os índices nutricionais calculados pelo método CND.

Tabela 15 Índices nutricionais calculados pelo método CND

N	P	K	IEN	Produtividade
-0,3474	-4,0127	2,6507	7,011	1234
-1,3683	-2,1923	2,7643	6,325	1322
-0,3286	-0,4405	-0,4866	1,256	1622
-0,1736	-0,9421	1,3987	2,514	2012
1,9057	-2,8723	0,4559	5,234	1445
0,3252	-4,0304	3,2972	7,653	1361
1,1300	-0,3112	-0,9710	2,412	1655
0,6871	-0,3239	0,0900	1,101	1658
-1,2816	-4,6772	3,7642	9,723	1160
1,0924	0,1298	0,1383	1,360	1818
-3,0602	-5,1595	4,9231	13,143	0
-1,3092	2,1518	-1,2727	4,734	1891
3,9227	-2,7837	-2,0369	8,743	805
-1,0981	-0,2639	1,1032	2,465	1800

Para exemplificar serão demonstrados os cálculos dos índices da primeira amostra:

$$\text{Índice } N = \frac{-0,0545 - (-0,0408)}{0,0394} = -0,3474$$

$$\text{Índice } K = \frac{-2,9770 - (-2,7022)}{0,0685} = -4,0127$$

$$\text{Índice } P = \frac{-0,309 - (-0,4681)}{0,06} = 2,6507$$

$$\text{Índice de Balanço Nutricional (IBN)} = |-0,347| + |-4,013| + |2,65| = 7,01$$

A Tabela 16 traz o índice CND calculado com uma faixa de equilíbrio de 2/3 do desvio padrão.

Tabela 16 Índices nutricionais calculados pelo método CND com faixa de equilíbrio

N	P	K	IEN	Produtividade
0	-4,0127	2,6507	6,6634	1234
-1,3683	-2,1923	2,7643	6,3248	1322
0	0	0	0	1622
0	-0,9421	1,3987	2,3408	2012
1,9057	-2,8723	0	4,7780	1445
0	-4,0304	3,2972	7,3276	1361
1,1300	0	-0,9710	2,1009	1655
0,6871	0	0	0,6871	1658
-1,2816	-4,6772	3,7642	9,7230	1160
1,0924	0	0	1,0924	1818
-3,0602	-5,1595	4,9231	13,1427	0
-1,3092	2,1518	-1,2727	4,7336	1891
3,9227	-2,7837	-2,0369	8,7433	805
-1,0981	0	1,1032	2,2013	1800

Para exemplificar serão demonstrados os cálculos dos índices da primeira amostra:

$$\text{Faixa de equilíbrio (N): } -0,0408 - 0,0394 \times \frac{2}{3} < X < -0,0408 + 0,0394 \times \frac{2}{3}$$

$$-0,0671 < -\mathbf{0,05451} < -0,01451$$

-como variável multinutriente N está dentro da faixa o Índice N é zero:

$$\text{Índice N} = 0$$

$$\text{Faixa de equilíbrio (K): } -2,7022 - 0,0685 \times \frac{2}{3} < X < -2,7022 + 0,0685 \times \frac{2}{3}$$

$$-\mathbf{2,9770} < -2,7479 < X < -2,6566$$

$$\text{Índice K} = \frac{-2,9770 - (-2,7022)}{0,0685} = -4,0127$$

$$\text{Faixa de equilíbrio (P): } -0,4681 - 0,0600 \times \frac{2}{3} < X < -0,4681 + 0,0600 \times \frac{2}{3}$$

$$-0,4281 < X < -0,5081 < \mathbf{-0,309}$$

$$\text{Índice P} = \frac{-0,309 - (-0,4681)}{0,06} = 2,6507$$

$$\text{Índice de Balanço Nutricional (IBN)} = |0| + |-4,0127| + |2,6507| = 6,6634$$

5.5.3 IBK

O fator I subtraído da porcentagem P tem a função de retirar o efeito da variabilidade contida nas amostras que geraram a norma, fazendo com que o desvio em relação a média seja menor e o valor do índice mais próximo do ótimo (100). Em um exemplo hipotético de média de 25 e CV 20, com quatro amostras de teores iguais a 15, 20, 30 e 35, teríamos os fatores de ponderação do CV iguais a -0,4, -0,2, 0,2 e 0,4, respectivamente, e a seguinte situação:

$$P_1 = \frac{15}{25} 100 = 60 \qquad P_2 = \frac{20}{25} 100 = 80$$

$$I_1 = 20 \frac{(5 - 25)}{25} = 20 \times (-0,4) \qquad I_2 = 20 \frac{(15 - 25)}{25} = 20 \times (-0,2)$$

$$= -8 \qquad = -4$$

$$B_1 = 60 - (-8) = 68 \qquad B_2 = 80 - (-4) = 84$$

$$P_3 = \frac{30}{25} 100 = 120 \qquad P_4 = \frac{35}{25} 100 = 140$$

$$I_3 = 20 \frac{(25 - 25)}{25} = 20 \times (0,2) = 4 \qquad I_4 = 20 \frac{(35 - 25)}{25} = 20 \times (0,4) = 8$$

$$B_3 = 120 - 4 = 116 \qquad B_4 = 140 - 8 = 132$$

Comparando os exemplos pode-se verificar que o fator I realmente ajusta o índice B para mais próximo de 100, sendo maior a intensidade quanto maior for a diferença entre a amostra e a média na norma. Podendo concluir que o IBK é um método muito mais conservador do que os anteriores, que tinham fatores de superestimação dos índices. A Tabela 17 traz o resultado do índice IBK para a base de dados utilizada como exemplo.

Tabela 17 Índices nutricionais calculados pelo método IBK

N	P	K	IBN	Produtividade
87,74	69,94	102,99	45,31	1234
91,63	84,21	112,30	36,47	1322
92,66	91,34	91,36	24,64	1622
100,19	94,91	108,81	14,09	2012
98,37	77,08	94,07	30,48	1445
95,00	73,51	112,69	44,18	1361
100,96	94,91	91,74	14,31	1655
103,30	98,47	101,05	5,88	1658
83,59	66,38	108,03	58,07	1160
109,52	105,60	105,71	20,83	1818
76,07	62,81	111,91	73,03	0
97,07	116,30	94,85	24,38	1891
100,19	73,51	77,78	48,89	805
96,30	98,47	106,48	11,72	1800

Para exemplificar serão demonstrados os cálculos dos índices da primeira amostra:

$$\begin{array}{l}
 \text{Índice N} \\
 P = \frac{3,16}{3,63} 100 = 86,98 \\
 I = 5,79 \frac{(3,16 - 3,63)}{3,63} = -0,75 \\
 B = 86,98 - (-0,75) = 87,74
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{l}
 \text{Índice P} \\
 P = \frac{0,17}{0,25} 100 = 66,85 \\
 I = 9,32 \frac{(0,17 - 0,25)}{0,25} = -3,09 \\
 B = 66,85 - (-3,09) = 69,94
 \end{array}$$

Índice K

$$P = \frac{2,45}{2,37} 100 = 103,25$$

$$I = 7,97 \frac{(2,45 - 2,37)}{2,37} = 0,26$$

$$B = 103,25 - (0,26) = 102,99$$

O Índice de Balanço Nutricional (IBN) é calculado para o IBK da seguinte maneira:

$$IBN = |87,74 - 100| + |69,94 - 100| + |102,99 - 100| = 45,31$$

Da mesma forma que do IBN, os índices IBK podem ser subtraídos de 100 para terem uma interpretação semelhante aos outros métodos, no entanto isso muda apenas a apresentação dos dados.

5.6 Potencial de Resposta à Adubação (PRA)

Será apresentada aqui a classificação dos índices nutricionais pelo método de Potencial de Resposta à Adubação aplicado aos diversos métodos apresentados. Com isso se poderá obter uma comparação clara da influência dos métodos para a classificação dos índices.

As Tabelas 18 e 19 trazem PRA para o índice DRIS utilizando função de Beaufils e para o índice CND, respectivamente.

Tabela 18 Potencial de Resposta à Adubação pelo método DRIS e função de Beaufils

Índice N	Índice P	Índice K	IBN	N	P	K	Produtividade	Norma
2,34	-20,47	18,13	40,94	0	-2	2	1234	
-5,23	-10,96	16,20	32,40	0	-2	2	1322	
1,02	-0,29	-0,73	2,04	2	0	-2	1622	
-1,45	-5,05	6,50	13,00	0	-2	2	2012	*
10,59	-14,36	3,77	28,72	2	-2	0	1445	
2,90	-22,92	20,02	45,85	0	-2	2	1361	
5,53	-0,88	-4,65	11,06	2	0	-2	1655	*
2,16	-1,85	-0,31	4,32	2	-2	0	1658	*
-1,62	-24,88	26,51	53,02	0	-2	2	1160	
2,15	-0,76	-1,39	4,31	2	0	0	1818	*
-9,52	-27,67	37,19	74,38	0	-2	2	0	
-5,57	12,26	-6,69	24,52	0	2	0	1891	*
22,43	-13,22	-9,21	44,85	2	0	0	805	
-4,58	-0,99	5,58	11,15	-2	0	2	1800	*

*amostras da população de alta produtividade utilizada para gerar as normas.

A lógica do PRA procura classificar o nutriente em maior deficiência e/ou excesso baseado no IBNm, porém, não se preocupando com grandeza desse valor. Observe que mesmo as amostras do grupo de alta produtividade apresentam nutrientes classificados como em desequilíbrio para a deficiência e/ou excesso, além de amostras com baixo valor de IBN também apresentarem essa classificação.

Tabela 19 Potencial de Resposta à Adubação pelo método CND

Índice N	Índice P	Índice K	IBN	N	P	K	Produtividade	Norma
-0,3474	-4,0127	2,6507	7,011	0	-2	2	1234	
-1,3683	-2,1923	2,7643	6,325	0	-2	2	1322	
-0,3286	-0,4405	-0,4866	1,256	0	-1	-2	1622	
-0,1736	-0,9421	1,3987	2,514	0	-2	2	2012	*
1,9057	-2,8723	0,4559	5,234	2	-2	0	1445	
0,3252	-4,0304	3,2972	7,653	0	-2	2	1361	
1,13	-0,3112	-0,971	2,412	2	0	-2	1655	*
0,6871	-0,3239	0,09	1,101	2	0	0	1658	*
-1,2816	-4,6772	3,7642	9,723	0	-2	2	1160	
1,0924	0,1298	0,1383	1,36	2	0	0	1818	*
-3,0602	-5,1595	4,9231	13,143	0	-2	2	0	
-1,3092	2,1518	-1,2727	4,734	0	2	0	1891	*
3,9227	-2,7837	-2,0369	8,743	2	0	0	805	
-1,0981	-0,2639	1,1032	2,465	-2	0	2	1800	*

*amostras da população de alta produtividade utilizada para gerar as normas.

Por essa razão o PRA deve ser interpretado com muita cautela, pois dentro das categorias estão presentes vários níveis de deficiência ou excesso e uma generalização pode levar uma classificação de alta deficiência para uma deficiência moderada por exemplo.

Para tentar melhorar essa classificação é recomendado aplicar o PRA em índices gerados com faixas de equilíbrio, pois nestes casos as deficiências moderadas já são omitidas diretamente no cálculo dos índices. Lembrando que esta abordagem deve levar em conta a base de dados que gerou a norma, de modo que a população de alta produtividade esteja bem definida e amostrada. As Tabelas 20 e 21 trazem o PRA para o DRIS (GARCIA) e CNB (faixas de equilíbrio), respectivamente.

Tabela 20 Potencial de Resposta à Adubação pelo método DRIS utilizando a função de Garcia

N	P	K	IBN	N	P	K	Produtividade	Norma
3,69	-29,37	25,68	58,74	0	-2	2	1234	
-9,99	-11,13	21,12	42,24	0	0	2	1322	
0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	1622	
0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	2012	*
11,62	-18,43	6,81	36,86	0	-2	0	1445	
4,72	-34,07	29,35	68,14	0	-2	2	1361	
0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	1655	*
0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	1658	*
-2,23	-39,10	41,33	82,65	0	-2	2	1160	
0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	1818	*
-16,30	-47,85	64,14	128,29	0	-2	2	0	
-6,48	6,48	0,00	12,96	-2	2	0	1891	*
27,22	-16,56	-10,66	54,44	2	0	0	805	
0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	1800	*

*amostras da população de alta produtividade utilizada para gerar as normas.

A melhoria da classificação é claramente visível na Tabela 20, onde se pode verificar que os índices com valores absolutos baixos foram zerados pela aplicação da faixa de equilíbrio, o que geralmente ocorre com as amostras que geraram a norma. Dessa forma pode-se ter mais tranquilidade em classificar um nutriente como deficiente por meio do método PRA.

Tabela 21 Potencial de Resposta à Adubação pelo método CND com faixa de equilíbrio

N	P	K	IBN	N	P	K	Produtividade	Norma
0	-4,0127	2,6507	6,6634	0	-2	2	1234	
-1,3683	-2,1923	2,7643	6,3248	0	-2	2	1322	
0	0	0	0	0	0	0	1622	
0	-0,9421	1,3987	2,3408	0	-2	2	2012	*
1,9057	-2,8723	0	4,7780	2	-2	0	1445	
0	-4,0304	3,2972	7,3276	0	-2	2	1361	
1,1300	0	-0,9710	2,1009	2	0	-2	1655	*
0,6871	0	0	0,6871	2	0	0	1658	*
-1,2816	-4,6772	3,7642	9,7230	0	-2	2	1160	
1,0924	0	0	1,0924	2	0	0	1818	*
-3,0602	-5,1595	4,9231	13,1427	0	-2	2	0	
-1,3092	2,1518	-1,2727	4,7336	0	2	0	1891	*
3,9227	-2,7837	-2,0369	8,7433	2	0	0	805	
-1,0981	0	1,1032	2,2013	-2	0	2	1800	*

*amostras da população de alta produtividade utilizada para gerar as normas.

A Tabela 22 traz o PRA aplicado ao índice gerado pelo método IBK, lembrando que essa é uma adaptação ao método. Nela pode-se observar que nenhuma das amostras foram classificadas nas categorias 2 e -2, e ainda as amostras pertencentes ao grupo de alta produtividade foram classificadas todas na categoria 0. Isso mostra que o IBK é um método muito mais conservador do que os demais.

Tabela 22 Potencial de Resposta à Adubação pelo método IBK

N	P	K	IBN	N	P	K	Produtividade	Norma
87,74	69,94	102,99	45,31	0	-1	0	1234	
91,63	84,21	112,30	36,47	0	0	0	1322	
92,66	91,34	91,36	24,64	0	0	0	1622	
100,19	94,91	108,81	14,09	0	0	0	2012	*
98,37	77,08	94,07	30,48	0	-1	0	1445	
95,00	73,51	112,69	44,18	0	-1	0	1361	
100,96	94,91	91,74	14,31	0	0	0	1655	*
103,30	98,47	101,05	5,88	0	0	0	1658	*
83,59	66,38	108,03	58,07	0	-1	0	1160	
109,52	105,60	105,71	20,83	0	0	0	1818	*
76,07	62,81	111,91	73,03	-1	-1	0	0	
97,07	116,30	94,85	24,38	0	0	0	1891	*
100,19	73,51	77,78	48,89	0	-1	-1	805	
96,30	98,47	106,48	11,72	0	0	0	1800	*

*amostras da população de alta produtividade utilizada para gerar as normas.

5.7 Chance Matemática

Tentando compreender melhor a equação que calcula a Chance Matemática iremos rearranjá-la:

$$ChM = \sqrt{\frac{A_i}{A} \cdot \frac{A_i}{N_i} \cdot P_{A_i}^2}$$

$$ChM = P_{A_i} \sqrt{\frac{A_i}{A} \cdot \frac{A_i}{N_i}}$$

em que:

A_i = número de amostras de alta produtividade na classe i .

A = número total de amostras de alta produtividade.

P_{A_i} = produtividade média das amostras de alta produtividade na classe i .

N_i = número total de amostras na classe i .

Desta forma pode-se interpretar a Chance Matemática da seguinte forma, ela é a média geométrica da A_i/A (frequência de amostras de alta produtividade na classe i em relação ao total de amostras de alta produtividade) e A_i/N_i (frequência de amostras de alta produtividade na classe i em relação ao total de amostras na classe i) ponderada pela P_{A_i} (produtividade média das amostras de alta produtividade na classe i). A ChM de uma dada classe i será maior quanto maior for a P_{A_i} e A_i ; e menor quanto menor for A e N_i .

Tabela 23 Chance Matemática aplicada a base de dados de referência

Nutriente	Classe	LI	LS	N_i	A_i	A_i/A	A_i/N_i	P_{A_i}	ChM
N	1	2,71	2,968	1	0	0	0	0	0
	2	2,968	3,226	2	0	0	0	0	0
	3	3,226	3,484	3	1	0,167	0,333	1622	382,309
	4	3,484	3,742	6	4	0,667	0,667	1839,5	1226,333
	5	3,742	4	1	1	0,167	1	1658	676,876
P	1	0,15	0,18	3	0	0	0	0	0
	2	0,18	0,21	3	0	0	0	0	0
	3	0,21	0,24	2	1	0,143	0,5	1622	433,498
	4	0,24	0,27	4	4	0,571	1	1781,25	1346,498
	5	0,27	0,3	2	2	0,286	1	3709	1982,544
K	1	1,8	1,98	1	0	0	0	0	0
	2	1,98	2,16	1	1	0,143	1	1622	613,058
	3	2,16	2,34	3	2	0,286	0,667	3546	1547,601
	4	2,34	2,52	3	2	0,286	0,667	3476	1517,051
	5	2,52	2,7	6	2	0,286	0,333	1906	588,204

A Tabela 23 traz o resultado do método *ChM* aplicado à base de dados de referência e a Tabela 24 a classe de maior valor de *ChM* selecionada para cada nutriente.

Tabela 24 Classes selecionadas do método Chance Matemática

Nutriente	Classe	<i>LI</i>	<i>LS</i>	N_i	A_i	A_i/A	A_i/N_i	P_{A_i}	<i>ChM</i>
N	4	3,484	3,742	6	4	0,667	0,667	1839,5	1226,333
P	5	0,27	0,3	2	2	0,286	1	3709	1982,544
K	3	2,16	2,34	3	2	0,286	0,667	3546	1547,601

Como pode-se observar, os limites de teores nutricionais gerados pela escolha apenas de uma classe acaba sendo muito estreito e por essa razão alguns autores preferem unir as classes de maior valor de *ChM* para aumentá-lo. De uma forma empírica pode-se selecionar as classes 4 e 5 para N e P e 3 e 4 para K, assim teríamos as seguintes faixas ótimas: N (3,484 – 4); P (0,24 - 0,3); K (2,16 - 2,52).

5.8 Definição de Teor e Faixa Ótima de Nutrientes

Este é um método alternativo ao método convencional, que obtém o Teor e Faixa Ótima por meio da teoria do método de Nível Crítico. Uma vez que as normas já estejam prontas, o cálculo dos índices nutricionais permite obter essa informação sem a necessidade de conhecer a produção da cultura. Ou seja, somente com a análise foliar, e uma norma confiável e representativa, é possível encontrar os Teores e Faixas Ótimas dos nutrientes para aquela amostragem ou um valor mais abrangente e confiável com uma base de dados mais completa.

A Tabela 25 traz o resultado da regressão para os índices DRIS e CND. Observe que, para esses índices, a confiabilidade dos Teores e Faixas Ótimas apresentados na Tabela 26 está intimamente relacionada com o resultado da regressão.

Tabela 25 Resultado da regressão teor nutricional em fusão do índice DRIS e CDN

Nutriente	b	a	SQTotal	SQRL	r^2
-----DRIS-----					
N	0,019087	3,418339	1,403886	0,296133	21,09378
P	0,003741	0,251004	0,026543	0,02473	93,17066
K	0,014298	2,296006	0,898293	0,498918	55,5407
-----CND-----					
N	0,131969	3,446237	1,403886	0,663979	47,29578
P	0,020613	0,253596	0,026543	0,02565	96,63651
K	0,106004	2,289513	0,898293	0,634079	70,58711

Tabela 26 Teores e Faixas Ótimas para os métodos DRIS, CDN, IBK e ChM

Nutriente	LI	LS	TO
-----DRIS-----			
N	3,355	3,482	3,418
P	0,239	0,263	0,251
K	2,248	2,344	2,296
-----CND-----			
N	3,358	3,534	3,446
P	0,240	0,267	0,254
K	2,219	2,360	2,290
-----IBK-----			
N	2,977	4,288	3,633
P	0,207	0,302	0,254
K	1,935	2,811	2,373
-----ChM-----			
N	3,484	3,742	3,613
P	0,270	0,300	0,285
K	2,160	2,340	2,250

Observando a Tabela 26 pode-se notar que os resultados dos índices DRIS e CND são muito próximos, isso é devido à grande semelhança entre os dois métodos. Ambos utilizam da distribuição normal padrão para obter seus índices. Além disso, como a determinação de Teores e Faixas Ótimas utiliza de regressão para obter seus resultados, é de extrema importância que não se utilize

nenhum valor faixa de equilíbrio para o DRIS e CND, garantindo assim um maior número de observações.

Para os outros métodos, pode-se verificar que o IBK confirma sua condição de ser um método conservador na classificação de deficiências ou toxidez, pois ele é o que apresenta a maior amplitude de Faixas Ótimas dentre todos os métodos. Já o ChM é um método que depende muito das escolhas empíricas das classes de maior valor de ChM, desta forma não pode-se obter conclusões concretas.

5.9 IBN em função da Produtividade

Esta análise mostra o quanto os índices nutricionais estão bem ajustados em relação a produtividade, podendo ser um parâmetro para a escolha de um índice ou uma função dentro do DRIS. A Tabela 27 traz o resultado da regressão IBN em função da produtividade.

Tabela 27 Resultado da regressão IBN em função da produtividade

Nutriente	b	a	SQTotal	SQRL	r^2
DRIS	-84,5181	2385,663	3537641	2647821	74,84709
CND	-556,966	2936,254	3537641	2749667	77,72599
IBK	-121,35	3952,612	3537641	2773364	78,39586

Em uma base de dados pequena como a do exemplo pode-se interpretar os resultados do r^2 da seguinte forma. Tendo o DRIS como referência pode-se dizer que a variabilidade criada entre as diferentes razões binárias pode ter resultado em um menor valor de r^2 , da mesma forma que a utilização log no método CND e a transformação dos teores nutricionais para variáveis multinutriente podem ter causado um melhor valor de r^2 que no DRIS. Porém, o

melhor resultado obtido pelo IBK pode ser apenas pela relação linear simples que o método utiliza para calcular seus índices.

6 CONCLUSÕES

O Software INAF se mostrou muito eficiente e eficaz para a interpretação de análise foliar e geração padrões para qualquer cultura.

O agrupamento dos métodos de interpretação de análise foliar teve um grande desempenho em relação ao grande número de resultados obtidos simultaneamente e ao poder de comparação entre eles.

O modelo de um Software de interpretação de análise foliar funcionando como uma ferramenta off-line, com uma grande versatilidade no manuseio de base de dados e geração de normas, surge como uma grande mudança para os pesquisadores da área e produtores.

REFERÊNCIAS

ALCARDE, J. C.; GUIDOLIN, J. A.; LOPES, A. S. Os adubos e a eficiência das adubações. São Paulo. ANDA, Boletim Técnico, 3. 1998. 35 p.

ANDRADE, A. C.; FONSECA, D. M. GOMIDE, da; J. A.; ALVAREZ, V. H.; MARTINS, C. E.; SOUZA, D. P. H. de. Produtividade e Valor Nutritivo do Capim-Elefante cv. Napier sob Doses Crescentes de Nitrogênio e Potássio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 1589-1595, mar. 2000.

AITCHISON, J. The Statistical Analysis of Compositional Data. Chapman & Hall, London - New York, 1986. 416 p.

BEAUFILS, E. R. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). **Soil Science Bulletin**, Natal, v. 2, n. 1, p. 1-132, jun. 1973.

BEVERLY, R. B. Modified DRIS method for simplified nutrient diagnosis of 'Valencia' oranges. **Journal of Plant Nutrition**, New Yourk, v. 10, n. 1, p. 1401-1408, mar. 1987.

EMBRAPA. Documentos 74: Interpretação de Resultados de Análise Foliar. ISSN 1679-043X, novembro, 2005. 42 p.

EMBRAPA Soja. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/dris>>. Acesso em: 27 fev. 2013.

EMBRAPA Agropecuária Oeste Disponível em: <http://www.cpao.embrapa.br/monfert/Novo_Dris>. Acesso em: 27 fev. 2013.

EMBRAPA Café Disponível em: <<http://www.sapc.embrapa.br/index.php/view-details/i-simposio-de-pesquisa-dos-cafes-do-brasil/752-software-dris-para-o-iagnostico-do-estado-nutricional-e-recomendacao-de-adubacao-para-o-cafeeiro-conilon1>>. Acesso em: 27 fev. 2013.

ELWALI, A. M. O.; GASCHO, G. J. Soil testing, foliar analysis, and DRIS as guide for sugarcane fertilization. **Agronomy Journal**, v.76, p.466-470, jun. 1984.

European Soil Portal Disponível em: <http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/esdb_archive/>

eusoils_docs/esb_rr/n17_DRIS_EUR21505/start.htm>. Acesso em: 27 fev. 2013.

IPNI Disponível em:

<[http://www2.ipni.net/ppiweb/DiagNutricional.nsf/\\$Login? OpenForm](http://www2.ipni.net/ppiweb/DiagNutricional.nsf/$Login?OpenForm)>.
Acesso em: 27 fev. 2013.

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

JÚNIOR, C. A. M. Questões em Bioestatística: O Tamanho da Amostra. **Revista Interdisciplinar de Estudos Experimentais**, Juiz de Fora, v. 1, n. 1, p. 26 - 28, mar. 2009.

KENWORTHY, A. L. (Ed.). Plant analysis and fertilizers problems. Washington, DC: **American Institute of Biological Science**, p. 28-43. 1961.

LETZSCH, W. S. Computer program for selection of norms for use in the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New Yourk, v. 16, n. 1, p. 339-347, abr. 1985.

LIEBIG, J. VON. **Die chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie**. Veinegn, Braunschweig. 1840. 342 p. (Original não consultado).

MAFRA, M. S. H.; CASSOL, P. C.; MIQUELLUTI, D. J.; ERNANI, P. R.; GATIBONI, L. C.; FERREIRA, E. Z.; BARROS, M. de; ZALAMENA, J.; GROHSKOPF, M. A. Atributos químicos do solo e estado nutricional de videira Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.) na Serra Catarinense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 10, n. 1, p. 44-53, mar. 2011.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Ceres, 2006. 638 p.

MAIA, C. Análise crítica da fórmula original de Beaufils no cálculo dos índices DRIS: a constante de sensibilidade. In: WADT, P.G.S.; MALAVOLTA, E. (Org.). **Monitoramento nutricional para a recomendação de adubação de culturas**, Piracicaba: Potafos, 1999. 1 CD-ROM.

NICK, J. A. **DRIS para cafeeiros podados**. 1998. 86 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo/ESALQ, Piracicaba, 1998.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H. V.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**, Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017 p.

PARENT, L. E. & DAFIR, M. A theoretical concept of Compositional Nutrient Diagnosis. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 117, n. 1, p. 239-242, jan. 1992.

SERRA, A. P.; MARCHETTI, M. E.; VITORINO, A. C. T.; NOVELINO, J. O.; CAMACHO, M. A. Determinação de faixas normais de nutrientes no algodoeiro pelos métodos CHM, CND e DRIS, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 105-113, mar. 2010.

SCHERER, E. E. Níveis críticos de potássio para a soja em Latossolo húmico de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, n. 1, p. 57-62, abr. 1998.

URANO, E. O. M.; KURIHARA, C. H.; MAEDA, S.; VITORINO, A. C. T.; GONÇALVES, M. C. & MARCHETTI, M. E. Determinação de teores ótimos de nutrientes em soja pelos métodos chance matemática, sistema integrado de diagnose e recomendação e diagnose da composição nutricional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 31, n. 1, p. 63-72, abr. 2007.

VEIGA, M. da; PANDOLFO, C. M.; JUNIOR, A. A. B. Cobre e zinco no solo e no tecido vegetal após nove anos de uso de fontes de nutrientes associadas a sistemas de manejo em um Nitossolo Vermelho. **Revista Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 25, n. 2, p. 79-84, jul. 2012.

VIEIRA, S. R.; FILHO, O. G.; CHIBA, M. K.; MELLIS, E. V.; DECHEN, S. C. F.; MARIA, I. C. de. Variabilidade espacial dos teores foliares de nutrientes e da produtividade da soja em dois anos de cultivo em um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 34, n. 1, p. 1503-1514, abr. 2010.

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

WALWORTH, J. L. & SUMNER, M. E. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). **Advances in Soil Science**, New York, v. 6, n. 1, p. 149-188, mar. 1987.