

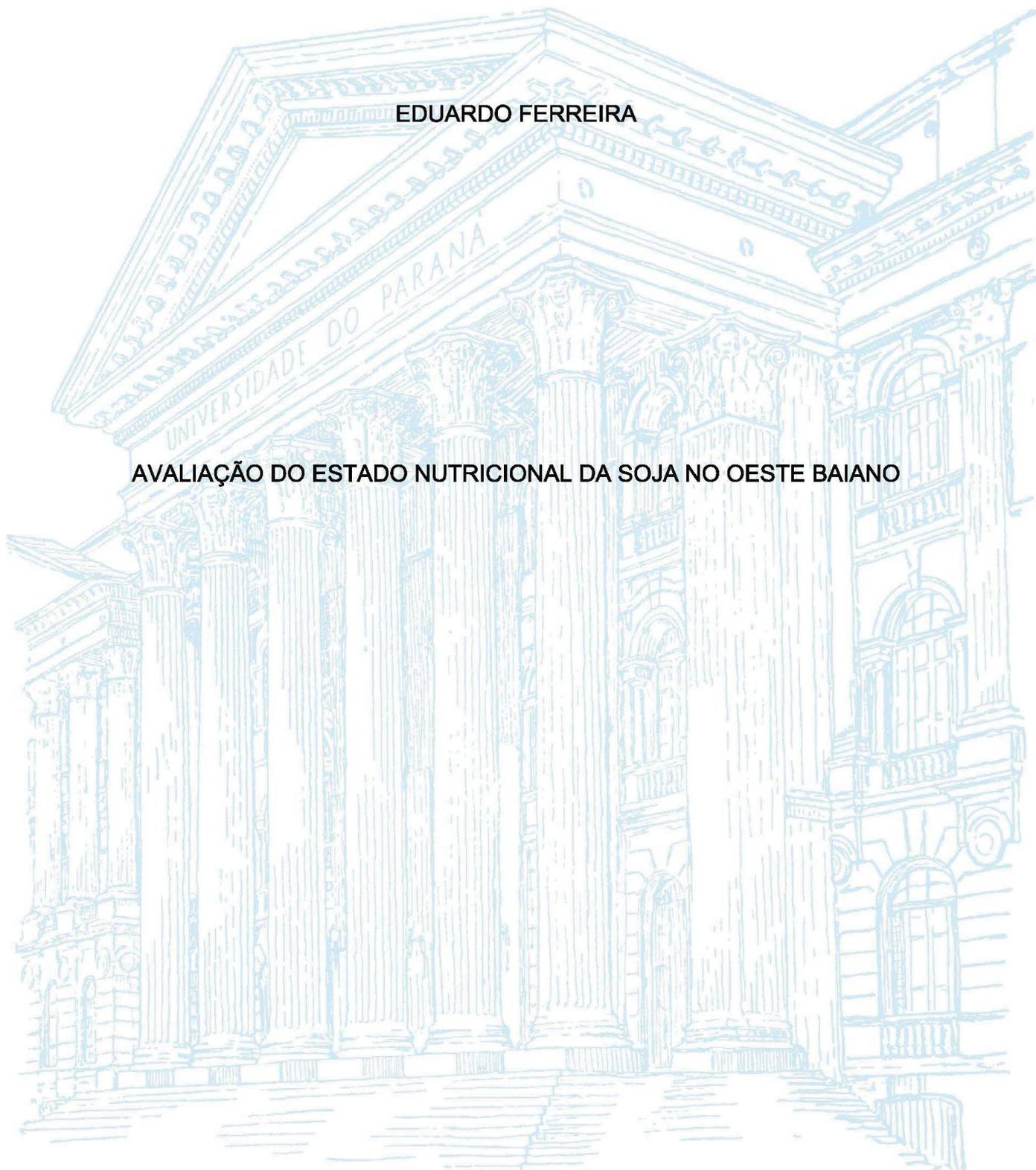
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

EDUARDO FERREIRA

AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DA SOJA NO OESTE BAIANO

CURITIBA

2020



**EDUARDO FERREIRA**

**AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DA SOJA NO OESTE BAIANO**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Danilo Eduardo Rozane

Coorientadora: Profa. Dra. Laura Lindsey

**CURITIBA**

**2020**

Ferreira, Eduardo

Avaliação do estado nutricional da soja no oeste baiano / Eduardo Ferreira. - Curitiba, 2020.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo.  
Orientador: Danilo Eduardo Rozane

Coorientadora: Laura Lindsey

1. Soja - Nutrição. 2. Plantas - Nutrição - Avaliação. 3. Análise multivariada. I. Rozane, Danilo Eduardo. II. Lindsey, Laura. III. Título. IV. Universidade Federal do Paraná.

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIA DO SOLO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de EDUARDO FERREIRA intitulada: **AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DA SOJA NO OESTE BAIANO**, sob orientação do Prof. Dr. DANILO EDUARDO ROZANE, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua Aprovação no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 19 de Fevereiro de 2020.



DANILO EDUARDO ROZANE

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE EST. PAULISTA - JULIO DE MESQUITA FILHO)



VOLNEI PAULETTI

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)



JOAO AUGUSTO LOPES PASCOALINO

Avaliador Externo (COMITÊ ESTRATÉGICO SOJA BRASIL)

Dedico aos meus pais que nunca mediram esforços para proporcionar o melhor para mim e meus irmãos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço os meus pais Ana Maria e Leonel e meus irmãos João e Leana, pelo apoio e incentivo para as minhas realizações.

Ao Prof. Danilo Eduardo Rozane por aceitar me orientar no meu trabalho de pesquisa.

Ao Adilson de Marchi, o Chicão, pela amizade e apoio para que esta pesquisa fosse realizada.

À Carla Albuquerque pela paciência e incentivo.

Aos meus amigos Marcus Cremonesi, Alessandra Santos e Caroline Amadori pela amizade e apoio.

À Faculdade Arnaldo Horácio Ferreira pela parceria e disponibilidade do laboratório de análise de planta e solo.

As demais pessoas que de alguma forma ajudaram para que o presente trabalho acontecesse.

## RESUMO

A baixa fertilidade dos solos tropicais da região oeste da Bahia é um limitador da produtividade da cultura da soja (*Glycine max L.*). Para mitigar este problema são utilizados fertilizantes e corretivos buscando suprir as necessidades demandadas pela planta e proporcionar um melhor ambiente para o seu desenvolvimento. Visando diagnosticar o estado nutricional da oleaginosa, este trabalho avaliou 153 lavouras comerciais dos municípios de Barreiras, Formosa do Rio Preto, Luís Eduardo Magalhães e Riachão das Neves pelos métodos do Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação (DRIS) e da Diagnóstico da Composição Nutricional (CND), baseados nas relações bivariadas e multivariadas, respectivamente, durante as safras 2017/2018 e 2018/2019. O banco de dados foi formado a partir de análises de tecido vegetal de folhas coletadas com pecíolo, dividido em duas subpopulações em função da produtividade. Os diagnósticos de ambos os métodos foram semelhantes, porém o CND apresentou ser mais sensível para determinar os índices de equilíbrio. P, B, Cu, Zn, Mn e Fe foram os nutrientes mais limitadores por carência, enquanto N, K, Ca e Mg foram categorizadas como excessivos para a subpopulação de baixa produtividade. O método DRIS possibilitou avaliar o potencial de resposta à adubação (PRA) que foi ineficiente para recomendar aplicação de fertilizantes para todos os nutrientes nas duas subpopulações avaliadas. Os índices nutricionais oriundos das metodologias aplicadas foram usados para desenvolver novas faixas de suficiência dos teores dos nutrientes nas folhas que foram comparados com os propostos pela literatura. As novas faixas tiveram seus intervalos expandidos para os nutrientes S, Cu e Zn, enquanto para os demais nutrientes o intervalo foi reduzido. A validação das metodologias pelo particionamento Cate-Nelson mostrou que 47% das áreas estavam desequilibradas nutricionalmente, segundo o método DRIS, enquanto pelo CND apenas 41%, mostrando uma singela superioridade do método DRIS para determinar lavouras nutricionalmente desbalanceadas.

Palavras-chave: Soja. Balanço nutricional. Análise multivariada. Diagnóstico nutricional.

## ABSTRACT

The poor fertility of tropical soils in western of Bahia State is a limiting factor for soybeans (*Glycine max* L.) yield. To mitigate this problem, fertilizer and correctives agents are used in order to supply the needs demanded by the plant and provide a better environment for its development. In order to diagnose the nutritional status of soybeans, this study evaluated 153 commercial fields in the municipalities of Barreiras, Formosa do Rio Preto, Luís Eduardo Magalhães e Riachão das Neves using the Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) and the Compositional Nutrient Diagnosis (CND), based on bivariate and multivariate relationships, respectively, during the 2017/2018 and 2018/2019 crop seasons. The database was formed from analyzes of plant tissue from leaves collected with petiole, divided into two subpopulations according to yield. The diagnoses of both methods were similar, but the CND showed to be more sensitive to determine the nutritional balances indexes. P, B, Cu, Zn, Mn and Fe were classified as limiting due to lack, while N, K, Ca and Mg were categorized as excessive in the low-yield subpopulation. The indexes from DRIS method were used to assess the potential response to fertilization (PRP), which was inefficient to recommend fertilizer application for all nutrient. The nutritional indexes from both methodologies were used to develop new levels of sufficiency of the nutrient content in the leaves that were compared with those proposed by the literature. The new levels had their ranges expanded for the nutrients S, CU and Zn, while for the others the ranges were reduced. The validation of the methodologies by Cate-Nelson partitioning showed that 47% of the fields were nutritionally unbalanced according to the DRIS method, while by the CND method only 41%, which means DRIS had a slightly superiority to determine nutritional unbalance in the field evaluated.

**Keywords:** Soybeans. Nutritional balance. Multivariate analysis. Nutritional diagnosis.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO DOS MUNICÍPIOS ONDE FORAM AMOSTRADAS AS LAVOURAS DE SOJA PARA A FORMAÇÃO DO BANCO DE DADOS. ....	23
FIGURA 2 – MODELO DO PARTICIONAMENTO CATE-NELSON PARA AS RELAÇÕES ENTRE O ÍNDICE DE BALANÇO NUTRICIONAL E PRODUTIVIDADE (NC <sup>1</sup> = Nível crítico preditor da produtividade; NC <sup>2</sup> = Nível crítico preditor do índice). ....	32
FIGURA 3 – FUNÇÃO CUMULATIVA DA PRODUTIVIDADE E PONTO DE INFLEXÃO DA CURVA DO BANCO DE DADOS DE 117 LAVOURAS DE SOJA. ....	36
FIGURA 4 – CORRELAÇÃO ENTRE A DISTÂNCIA DE MAHALANOBIS (D <sup>2</sup> ) E O CND-r <sup>2</sup> , PARA OS DADOS DE TEORES DE NUTRIENTES DA SUBPOPULAÇÃO DE ALTA PRODUTIVIDADE (n=41). ....	40
FIGURA 5 – ÍNDICE DE DESEQUILÍBRIO NUTRICIONAL CND-r <sup>2</sup> E PRODUTIVIDADE DA SOJA (kg ha <sup>-1</sup> ) DE TODO O BANCO AMOSTRAL (n = 117). ....	42
FIGURA 6 – ÍNDICE DE BALANÇO NUTRICIONAL MÉDIO (IBNm) E PRODUTIVIDADE DA SOJA DAS DUAS SUBPOPULAÇÕES (n = 117). ....	44
FIGURA 7 – ÍNDICE DE BALANÇO NUTRICIONAL MÉDIO (IBNm) E PRODUTIVIDADE DA SOJA DE TODO O BANCO DE DADOS (n = 153, sem a remoção de <i>outliers</i> ). ....	45
FIGURA 8- MÉDIAS DOS ÍNDICES NUTRICIONAL OBTIDOS PELOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO CND E DRIS DAS AMOSTRAS DA SUBPOPULAÇÃO DE BAIXA PRODUTIVIDADE. ....	46
FIGURA 9 – RELAÇÃO ENTRE OS ÍNDICES IBNm E CND-r <sup>2</sup> DE TODO O BANCO AMOSTRAL (n = 117), A PARTIR DE TEORES FOLIARES DE SOJA. ....	47
FIGURA 10 – PARTICIONAMENTO CATE-NELSON PARA AS RELAÇÕES ENTRE OS ÍNDICES IBNm E A PRODUTIVIDADE DO BANCO DE DADOS DE AMOSTRAS DE SOJA (n = 117). ....	60

**FIGURA 11 – PARTICIONAMENTO CATE-NELSON PARA AS RELAÇÕES ENTRE OS ÍNDICES CND- $r^2$  E A PRODUTIVIDADE DO BANCO DE DADOS DE AMOSTRAS DE SOJA (n = 117). .....61**

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - MÍNIMO, MÉDIA, MÁXIMO E INTERPRETAÇÃO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO DAS ÁREAS AMOSTRADAS PARA A DIAGNOSE NUTRICIONAL DA SOJA NO OESTE BAIANO (Profundidade 0-20cm). .....	24
TABELA 2 – CLASSIFICAÇÃO DE INTERPRETAÇÃO DOS ÍNDICES DE EQUILÍBRIO DO POTENCIAL DE RESPOSTA À ADUBAÇÃO (PRA) BASEADO NOS ÍNDICES PROPOSTOS PELO MÉTODO DRIS. ....	30
TABELA 3 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE OS TEORES DE NUTRIENTES FOLIARES E A PRODUTIVIDADE (Prod) DE SOJA DO BANCO DE DADOS (n = 117). .....	34
TABELA 4 – MÍNIMO, MÉDIA, MÁXIMO E DESVIO-PADRÃO DOS TEORES NUTRICIONAIS DAS AMOSTRAS FOLIARES DE SOJA DAS POPULAÇÕES DE ALTA E BAIXA PRODUTIVIDADE. ....	37
TABELA 5 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE PEARSON DOS TEORES FOLIARES E PRODUTIVIDADE DA SUBPOPULAÇÃO DE ALTA PRODUTIVIDADE DE SOJA (n = 41). .....	38
TABELA 6 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE PEARSON DOS TEORES FOLIARES E PRODUTIVIDADE DA SUBPOPULAÇÃO DE BAIXA PRODUTIVIDADE DE SOJA (n = 71). .....	39
TABELA 7 – MÉDIA GEOMÉTRICA DOS COMPONENTES DA MASSA SECA (G), MÉDIA E DESVIO-PADRÃO DAS VARIÁVEIS MULTINUTRIENTES DAS AMOSTRAS FOLIARES DE SOJA. ....	40
TABELA 8 -MÉDIA E DESVIO-PADRÃO DOS LOGARITMOS DAS RELAÇÕES BIVARIADAS DOS TEORES DOS NUTRIENTES DAS MATÉRIAS SECAS DAS AMOSTRAS FOLIARES DE SOJA DA SUBPOPULAÇÃO DE ALTA PRODUTIVIDADE PARA O DESENVOLVIMENTO DAS NORMAS DRIS. ....	43
TABELA 9 – PORCENTAGEM DE AMOSTRAS CLASSIFICADAS EM FUNÇÃO DO POTENCIAL DE RESPOSTA À ADUBAÇÃO (PRA) NAS SUBPOPULAÇÕES DE ALTA E BAIXA PRODUTIVIDADE DE SOJA PROPOSTO PELO MÉTODO DRIS. ....	48

TABELA 10 – FREQUÊNCIAS DOS NUTRIENTES LIMITANTES POR EXCESSO ( $n + nz$ ), POR FALTA ( $p + pz$ ) E NÃO LIMITANTE ( $z$ ), CATEGORIZADOS PELO PRA E CÁLCULO DO QUI-QUADRADO ( $\chi^2$ ) PARA AS SUBPOPULAÇÕES DE ALTA E BAIXA PRODUTIVIDADE DE SOJA UTILIZANDO OS ÍNDICES DRIS. ....	50
TABELA 11 – EQUAÇÕES, $R^2$ , E NÍVEL CRÍTICO DOS NUTRIENTES PROPOSTOS A PARTIR DAS RELAÇÕES ENTRE OS TEORES DOS NUTRIENTES FOLIARES E SEUS RESPECTIVOS ÍNDICES NUTRICIONAIS CND. ....	56
TABELA 12 - EQUAÇÕES, $R^2$ , E NÍVEL CRÍTICO DOS NUTRIENTES PROPOSTOS A PARTIR DAS RELAÇÕES ENTRE OS TEORES DOS NUTRIENTES FOLIARES E SEUS RESPECTIVOS ÍNDICES NUTRICIONAIS DRIS. ....	57
TABELA 13 – FAIXA DE SUFICIÊNCIA DE MACRONUTRIENTES EM FOLHAS DE SOJA COM PECÍOLO, COM PECÍOLO, ESTABELECIDAS PELOS MÉTODOS CND E DRIS E FAIXAS DE SUFICIÊNCIA PROPOSTAS POR DIFERENTES AUTORES. ....	58
TABELA 14 – FAIXAS DE SUFICIÊNCIA DE MICRONUTRIENTES EM FOLHAS DE SOJA COM PECÍOLO, COM PECÍOLO, ESTABELECIDAS PELOS MÉTODOS CND E DRIS E FAIXAS DE SUFICIÊNCIA PROPOSTAS POR DIFERETNES AUTORES. ....	58

## LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

CND	- <i>Compositional Nutrient Diagnosis</i>
D <sup>2</sup>	- Distância de Mahalanobis
DRIS	- <i>Diagnosis and recommendation integrated system</i>
FN	- Falso negativo
FP	- Falso Positivo
IBN	- Índice de balanço nutricional
IBNm	- índice de balanço nutricional médio
IEN	- Índice de equilíbrio nutricional
LE	- Limitante por excesso
LF	- Limitante por falta
LI	- Limite inferior
LS	- Limite superior
<i>n</i>	- Classe de limitação negativa com alta probabilidade
NL	- Não limitante
<i>nz</i>	- Classe de limitação negativa com baixa probabilidade
<i>p</i>	- Classe de limitação positiva com alta probabilidade
PRA	- Potencial de resposta à adubação
<i>pz</i>	- Classe de limitação positiva com baixa probabilidade
SQ	- Soma dos quadrados
VN	- Verdadeiro negativo
VP	- Verdadeiro Positivo
VPN	- Valor preditivo negativo
VPP	- Valor preditivo positivo
<i>z</i>	- Classe de limitação nula

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
1.1 A CULTURA DA SOJA NO OESTE BAIANO .....	16
1.2 AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL .....	17
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>23</b>
2.1 AMOSTRAGEM E ANÁLISE FOLIAR .....	23
2.2 DIAGNOSE DA COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL (CND).....	26
2.3 SISTEMA INTEGRADO DE DIAGNOSE E RECOMENDAÇÃO (DRIS) .....	28
2.4 -FAIXAS DE SUFICIÊNCIA NUTRICIONAL E POTENCIAL DE RESPOSTA À ADUBAÇÃO .....	29
2.5 VALIDAÇÃO DAS METODOLOGIAS.....	30
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>34</b>
3.1 AVALIAÇÃO DOS DADOS PELO MÉTODO CND.....	35
3.2 AVALIAÇÃO DOS DADOS PELO MÉTODO DRIS .....	42
3.3 AVALIAÇÃO DOS ÍNDICES NUTRICIONAIS CND E DRIS, E POTENCIAL DE RESPOSTA À ADUBAÇÃO PELO MÉTODO DRIS.....	45
3.3.1 Impacto na produtividade pelos índices nutricionais .....	51
3.4 NÍVEIS DE SUFICIÊNCIA NUTRICIONAL PROPOSTOS PELOS MÉTODOS ..	56
3.5 VALIDAÇÃO DAS METODOLOGIAS AVALIADAS.....	59
<b>4 CONCLUSÃO</b> .....	<b>63</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>64</b>

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 A CULTURA DA SOJA NO OESTE BAIANO

A soja (*Glycine max L.*) é a fonte de óleo e proteína vegetal mais produzida no mundo, sendo o Brasil o segundo maior produtor. O país é responsável por 28,75% da produção mundial, com cerca de 96 milhões de toneladas produzidas, em uma área de aproximadamente 35 milhões de hectares, nas safras 2017/2018 e 2018/2019, sendo a segunda exploração em ocupação de área, atrás somente da pastagem (CONAB, 2020a). Parte da sua expansão se dá por conta das chamadas fronteiras agrícolas, que são as áreas marginais dos polos produtivos que avançam para áreas que não tem a cultura como parte da sua paisagem.

Atualmente as áreas de fronteiras agrícolas estão nas regiões norte e nordeste do país, localizadas no bioma cerrado, que em meados de 1970 não era visto como área potencial para a produção, e hoje é responsável por cerca de 60% da produção de grãos do país (CONAB, 2020b). É uma região com elevados potenciais produtivos devido ao relevo plano, baixo custo do valor da terra e chuvas concentradas na época de safra, porém existem severas limitações como veranicos, solos ácidos e com baixa fertilidade (ALMEIDA, 1999; MATTHEY, 2004; SCHENFERT et al., 2020). Dentre os estados que abrigam a expansão territorial da agricultura, a MATOPIBA (parte dos estados do Maranhão, Tocantins Piauí e Bahia) é uma região promissora para o estabelecimento de um novo polo de produção da oleaginosa. Esta região vem crescendo no mesmo ritmo que o resto do país, cerca de 1% na safra 2019/2020 em relação a área plantada em 2018/2019 (CONAB, 2020a).

Portanto, para que seja viável o cultivo da oleaginosa de forma produtiva e rentável, o produtor precisa empregar toda tecnologia para compensar e/ou mitigar os problemas que a região apresenta, especialmente no aspecto da fertilidade dos solos. Segundo Lopes e Guilherme (2007), estudos realizados no cerrado brasileiro na década de 60 revelaram que estes solos são pobres em N, P, K, Zn, S e Mo, além de ácidos, respondendo assim à adição de corretivos como calcário. Além disso, o nutriente fósforo tem baixa disponibilidade para as plantas por conta do material de origem pobre dessa região e alta interação (adsorção) com argilas de óxido de ferro e alumínio, indisponibilizando este nutriente para a planta.

Problemas de fertilidade do solo do cerrado brasileiro podem inviabilizar a produção, requerendo investimento em tecnologia. Entre os principais limitantes da produção, observados por Firmano et al. (2009) estão a elevada acidez e saturação de alumínio. Aumentos de até 100% na produtividade da soja podem ser atingidos segundo Sousa e Lobato (2003) em solos de cerrado sob consequência da adequada recomendação da adubação fosfatada, Sfredo (1994) encontrou respostas de até 117% de resposta à adubação fosfatada em áreas de cerrado e Carvalho e Nascente (2018) concluíram que a aplicação de calcário em áreas de cultivo do cerrado aumentaram a fertilidade química do solo e a produtividade final da soja.

Para embasar o uso de fertilizantes, o produtor utiliza a análise de solo com o intuito de avaliar a quantidade de nutrientes disponíveis no solo, através das interpretações das concentrações, gerando um panorama da fertilidade que indicará ou não da necessidade de aplicação de corretivos e fertilizantes. A análise de solo é uma ferramenta consagrada para determinação de níveis de nutrientes no solo para a cultura, entretanto, para altas produtividades a análise foliar é uma opção para aprimorar o manejo em busca do equilíbrio nutricional, permitindo maior acurácia às recomendações de adubação (EMBRAPA, 2016).

## 1.2 AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL

A análise química do tecido vegetal é uma alternativa eficiente e econômica para o manejo da adubação e avaliação nutricional das culturas, comparando os valores das áreas amostradas com padrões pré-estabelecidos baseados em áreas de alta produtividade (ROZANE et al., 2013). O estado nutricional das culturas vem sendo utilizado com o objetivo de possibilitar práticas mais precisas no manejo da adubação, baseados nas interpretações de análises foliares (REIS JR et al., 2002; URANO, et al., 2007). Estas são importantes para definir o status nutricional da planta e de suas atividades fisiológicas (MALAVOLTA et al., 1997) e assim obter maior eficiência técnica/econômica da adubação. A premissa de utilizar o teor mineral das folhas como método para diagnosticar o estado nutricional das plantas foi introduzido por Lagatu e Maume (1934), na França.

Há diversas maneiras de interpretar as análises foliares, as quais podem ser empregadas desde o uso de métodos univariados (faixa de suficiência e nível crítico), métodos bivariados e multivariados como o DRIS (*Diagnosis and Recommendation*

*Integrated System*) e o CND (*Compositional Nutrient Diagnosis*), respectivamente. O diferencial entre as análises univariadas e multivariadas é a consideração das relações dos nutrientes, o que é negligenciado nas interpretações univariadas. Serra et al. (2010) salienta a importância de conhecer o equilíbrio nutricional para avaliar o potencial de produção da cultura, e que os métodos multivariados são parte dessa nova vertente de avaliação nutricional. Para Parent e Natale (2008), as análises químicas dos tecidos vegetais tiveram limitações iniciais justamente pelas consequências dessas relações nutricionais, que eram omitidas, e que análises como o DRIS, e posteriormente o CND, reduziram a barreira do uso da análise foliar, sendo o CND precursor das análises multivariadas dos teores de nutrientes na planta. Também há relatos que apresentam queda de absorção de alguns nutrientes, decorrentes das interações entre eles (HERNANDES, 2012; PARENT et al., 2013a; AMORIM et al., 2015), justificando a necessidade de novas metodologias de diagnósticos nutricionais.

A possibilidade de diagnosticar deficiências nutricionais antes do aparecimento de sintomas visuais faz da análise foliar uma ferramenta útil, já que a avaliação dos teores nutricionais na planta consegue identificar carências que podem acarretar na redução da produtividade antes do surgimento de sintomas severos (ROZANE et al., 2016).

As técnicas de diagnóstico do estado nutricional das plantas mais usuais, ignoram as interações entre os nutrientes (BACON-SHONE, 2011; HERNANDES, 2012; PARENT et al., 2013a). Por isso, métodos que levam em consideração as interações entre os nutrientes, como DRIS e CND, possuem maior potencial para auxiliar às decisões no manejo das lavouras, como vem sendo utilizado em produções de frutíferas, como a laranja e a bananeira (RAGHUPATHI, 2002; DIAS et al., 2013), além de culturas de menor escala como a cenoura e beterraba (PARENT et al., 1994; DEZORDI et al., 2016; BARLÓG, 2016;). Para as culturas da goiabeira, mangueira, videira, atemoia, citros, tomateiro, milho doce, bananeira e soja, existe a possibilidade de consulta e diagnóstico através do método CND disponíveis *online* (UNESP, 2019).

Não apenas pensando no ponto de vista da eficiência do manejo da adubação, o uso irracional dos insumos pode ocasionar impactos ambientais negativos quando usados em excesso, causando contaminação da água e solo (FISCHER et al., 2017). Por outro lado, a aplicação dos insumos abaixo da quantia demandada pela cultura

pode empobrecer o solo e, não ser economicamente viável para o produtor (Valadão, 2008).

Com base na necessidade do uso correto e eficaz dos insumos utilizados, e das limitações apresentadas pelos métodos tradicionais univariados de análises, métodos mais complexos são uma alternativa para mitigar tais dificuldades e expandir possibilidades (ROZANE et al., 2016). Isto justifica a evolução nas interpretações de dados, sendo inicialmente usados apenas os teores dos nutrientes nas folhas, e gradativamente evoluindo para relações simples, como bivariadas (DRIS), até chegar a métodos complexos que avaliam o estado da planta de forma multivariada (CND). De acordo com Tolosana-Delgado e Van Den Boogaert (2011), é interessante evitar interpretar os teores nutricionais isoladamente, sem tentar relacioná-lo com os demais constituintes do tecido vegetal, os dados da composição nutricional são essencialmente multivariados.

E, apesar das análises multivariadas serem universais por abordarem as relações dos nutrientes não se limitando apenas aos teores de cada um na planta, é importante que as áreas amostradas estejam sob mesmas condições edafoclimáticas. A maior semelhança ambiental e genética entre as amostras acarretará maior confiabilidade do diagnóstico, reduzindo a possibilidade de ocorrer variações externas às relações. O tipo de solo, a precipitação e cultivares/variedades, por exemplo, podem influenciar diretamente os valores de referência da cultura para aquela região (URANO et al., 2007). Por isso índices diagnósticos de uma cultura em certa região não podem ser usados como referência para a mesma cultura em regiões que tenham condições ambientais distintas. Segundo Gott et al. (2017), a aplicação dessas metodologias em menor escala, em regiões menores, aumenta o nível de confiabilidade das normas desenvolvidas quando comparadas com normas generalistas.

O DRIS é o método bivariado mais utilizado para diagnosticar o estado nutricional das plantas, proposto por Beaufils (1973). Tem como base de interpretação as relações entre dois nutrientes comparados com valores padrão estabelecidos, que são expressos em formas de índices nutricionais. Por considerar o equilíbrio entre os nutrientes no processo da diagnose nutricional, o DRIS seria menos afetado pelos efeitos de diluição e concentração, por isso, as normas DRIS tem menos dependência das condições ambientais do local, e comparação com curvas de calibração. Uma das vantagens do DRIS é a possibilidade de identificar a ordem de limitação nutricional

(Bataglia et al., 1996), permitindo agrupar os nutrientes, desde o mais limitante por deficiência, até aquele(s) que está(ão) em nível(is) excessivo(s).

Na metodologia DRIS a definição da população de referência é ampla. Beaufils (1973) e Walworth; Sumner (1987) indicam que não há critérios específicos para dividir as duas populações. Letzsch; Sumner (1984) recomendam que pelo menos 10% das amostras de alta produtividade componham o banco de dados; Hoogerheide (2005) cita que deve ser observada a melhor relação entre o índice de balanço nutricional (IBN) e a produtividade; Silva et al. (2005) sugerem que seja adotada a média + 0,5 desvio-padrão da população total; Malavolta (2006) recomenda 80% da produtividade máxima; Serra et al. (2010) aconselham o uso da média da população como critério para a escolha da população de referência. Esta abrangência na definição da população de referência implica que, para uma mesma base de dados, a avaliação do estado nutricional seja diferente, ficando a critério de quem a faz.

No Brasil, os trabalhos com DRIS têm incluído todas as relações possíveis entre os nutrientes no cálculo dos índices (BATAGLIA e SANTOS, 1990; LEITE, 1993). Todavia, alguns autores recomendam apenas a inclusão daquelas relações cujo teste F indique diferenças significativas entre a variância das relações para a razão entre a subpopulação de baixa produtividade e a população de referência (BEAUFILS, 1973; ELWALI e GASCHO, 1984). Outros autores recomendam, ainda, a transformação de todas as relações bivariadas em 'log-transformadas', para corrigir os desvios observados na distribuição normal entre as formas direta e inversa da expressão de uma mesma relação (HOLLAND, 1966; BEVERLY, 1987a,b; 1992).

Atualmente, o DRIS é utilizado para avaliar o estado nutricional das culturas, ainda que originalmente possuísse propósitos menos específicos, pois visava diagnosticar fatores diversos que influenciasses na produção agrícola. Este sistema de diagnose possui, teoricamente, vantagens sobre os métodos univariados (nível crítico e faixa de suficiência), uma vez que são consideradas as relações entre nutrientes, ao invés da concentração absoluta e isolada de cada elemento para a interpretação da análise de tecidos. Logo, possíveis interações entre nutrientes serão contempladas e, quanto maior o número de elementos que se inclui no processo, maior será o ganho na avaliação (HOLLAND, 1966).

O método CND, desenvolvido por Parent e Dafir (1992), diferentemente do DRIS, apresenta uma lógica de cálculos baseado nas relações entre o teor de um dado nutriente com a média geométrica dos teores dos demais componentes da

matéria seca que compõe a planta, incluindo até os nutrientes que não são determinados nas análises foliares de rotina. Na metodologia CND a planta é considerada um sistema fechado e finito, a 100%, formado pelos nutrientes analisados conhecidos (N P, K, Ca, Mg,...) e por componentes desconhecidos (que não são analiticamente quantificados), que juntos formam um termo denominado "R", formando assim um arranjo de nutrientes d-dimensional, simplex ( $S^d$ ), obtido das quantidade relativa de d+1 nutrientes que somam os elementos d a um valor residual ( $R_d$ ) (PARENT e DAFIR, 1992).

Além de interpretar as relações nutricionais que superam as dualidades, segundo Rozane (2016), o CND permite o uso da distância de Mahalanobis ( $D^2$ ), que pode identificar possíveis excessos e carências e ponderá-las com o mesmo peso. Outro diferencial positivo é a identificação e exclusão de valores extremos (outliers) do banco de dados quando o valor for inferior a 1% ( $p < 0,01$ ) no teste  $\chi^2$  baseado na distância  $D^2$  (PARENT et al., 2009). O uso de análises multivariadas possibilitou novas opções de bases de cálculo, como apresentado por Hernandes (2012), que usou além da transformação da razão log centralizada, usou a razão log isométrica (ilr), com o intuito de evitar redundância dos dados analisados e tendência numérica. As particularidades apresentadas pelo CND, podem ocasionar diagnósticos e panoramas diferentes dos propostos pelo DRIS, como já observados nas culturas do milho doce, batata e eucalipto pelos autores Khiari et al. (2001) e Silva et al., (2004), respectivamente.

Os índices CND, normatizados, poderão ter formas de um círculo ( $d + 1 = 2$ ), esfera ( $d + 1 = 3$ ), ou uma hiperesfera ( $d + 1 > 3$ ) num espaço tridimensional, e o raio, r, caracterizará a amostra em questão. Uma nova variável será originada a partir da soma dos quadrados independentes  $d + 1$  com variáveis normais, com distribuição qui-quadrado ( $\chi^2$ ) e  $d + 1$  graus de liberdade. (Ross, 1987), com isso os índices CND terão a distribuição  $\chi^2$ . Logo, segundo Khiari et al. (2001) quanto menor, ou mais próximos a zero, for o valor do CND- $r^2$ , maior será a probabilidade de se encontrar rendimento elevado na amostra analisada.

As possibilidades técnicas e científica que os métodos DRIS e CND podem propiciar aos técnicos e empresários agrícolas que cultivam soja no oeste da Bahia contribui para diminuir a atual limitação de pesquisas na região. Em outras regiões onde a cultura da soja possui maior área de cultivo, pesquisas no tema já foram conduzidas como nos estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul por Urano et al.

(2006), Urano et al. (2007), Kurihara et al. (2004) e Kurihara (2013), no Paraná por Harger et al. (2003), e Goiás por Leandro (1998). Segundo Mostashari et al. (2018), o uso irracional dos fertilizantes pode acarretar a redução da quantidade e qualidade das produções agrícolas por consequência do desbalanço nutricional.

O particionamento Cate-Nelson (1971) pode ser aplicado para avaliar os procedimentos estatísticos diagnósticos, com o objetivo de entender melhor as relações estatísticas entre as subpopulações de alta e baixa produtividade, bem como as interações entre as áreas balanceadas, ou não, nutricionalmente. Dessa forma é possível tomar decisões mais precisas em função dos eventos proeminentes dessas áreas com relação ao uso de fertilizantes, por exemplo.

A exemplo do que ocorra com a soja, visto que o adequado estado nutricional do enxofre e nitrogênio apresenta efeito direto na qualidade, não por aumentar somente o conteúdo de proteínas, e sim o conteúdo de aminoácidos essenciais (metionina e cistina), o que realmente confere qualidade superior ao alimento (KRISHNAN, 2005). O manejo integrado de nutrientes (MIN) estudado por Alam et al. (2009), mostrou que os teores de proteína e óleo nas sementes e clorofila nas folhas foram aumentados quando a adubação P e K foram reduzidas quando comparado ao padrão de recomendação para a cultura na região do estudo.

Sendo assim, objetivou-se avaliar o estado nutricional da cultura da soja na região do oeste baiano, utilizando as metodologias DRIS e CND, com base na seleção da subpopulação de alto rendimento, a partir de amostras foliares de lavouras comerciais da região.

Para tanto, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

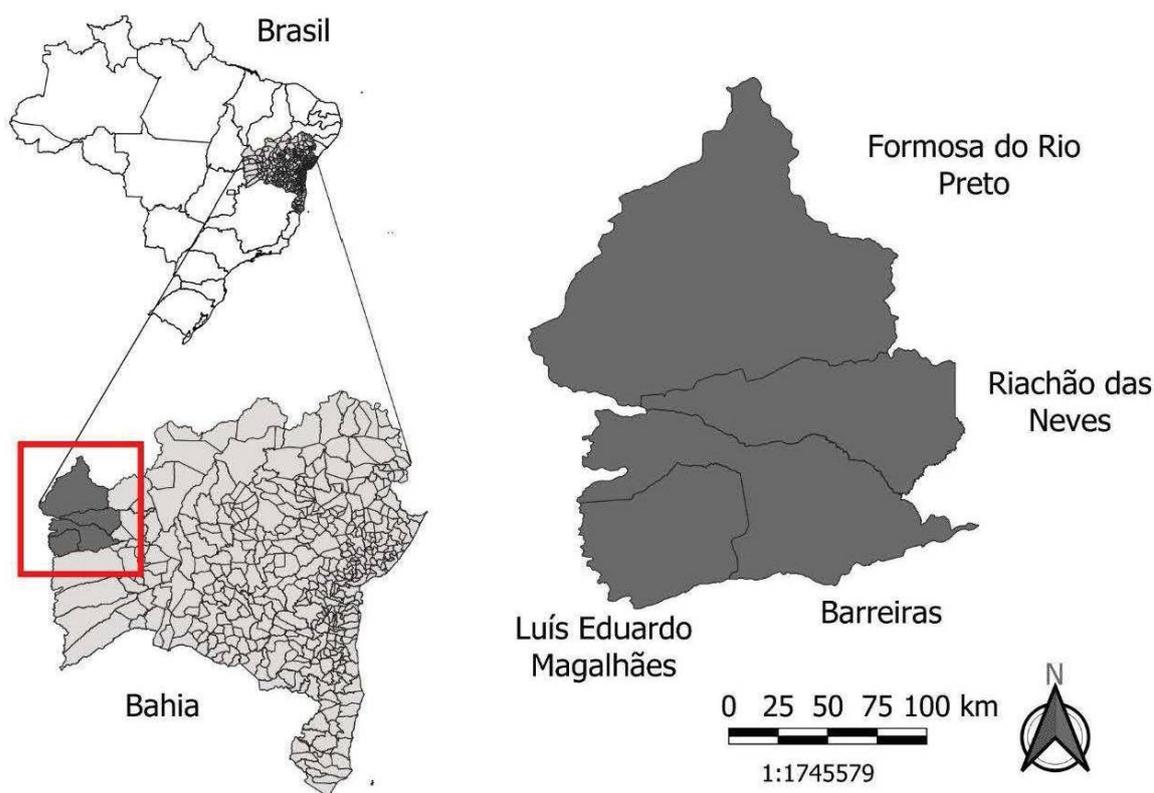
- a) comparar os métodos DRIS e CND, quanto à eficiência no diagnóstico do estado nutricional;
- b) identificar os nutrientes limitantes, por excesso ou falta, das áreas avaliadas de soja pelos métodos DRIS e CND;
- c) avaliar a eficiência do método de Potencial de Resposta à Adubação (PRA) interpretado a partir dos índices DRIS;
- d) determinar faixas de suficiência de teores foliares de soja coletada com pecíolo;
- e) aplicar o particionamento Cate-Nelson para avaliar a eficácia de ambos os métodos utilizados para a elaboração do presente estudo.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 AMOSTRAGEM E ANÁLISE FOLIAR

Foram avaliados 153 talhões comerciais de produção de soja os quais geraram o banco de dados para a determinação dos índices CND e DRIS para a região do oeste baiano, que congregou os municípios de Luís Eduardo Magalhães, Riachão das Neves, Barreiras e Formosa do Rio Preto (FIGURA 1), durante as safras 2017/2018 e 2018/2019. Cada amostra representou um ‘talhão’ em função de manchas de solo, topografia/relevo, fertilidade do solo, tempo de cultivo e produtividade, além da separação por cultivar.

FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO DOS MUNICÍPIOS ONDE FORAM AMOSTRADAS AS LAVOURAS DE SOJA PARA A FORMAÇÃO DO BANCO DE DADOS.



FONTE: O Autor (2020).

O solo da região de estudo é composto, predominantemente, por latossolo vermelho-amarelo, neossolo quartzarênico, argissolos vermelho-amarelo e neossolos litólicos, segundo o mapa exploratório do Instituto do Meio Ambiente e Recursos

Hídricos (INEMA) do Estado da Bahia (2014), classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (SiBCS) da EMBRAPA (2013).

Com o objetivo de embasar os diagnósticos das lavouras de soja avaliadas, foi calculada a média das concentrações dos elementos quantificados a partir de análises de solo fornecidas pelos produtores (TABELA 1). As interpretações das concentrações foram de acordo com a EMBRAPA (2015) e Raij et al. (1996). A separação das análises de solo entre as duas subpopulações não se fez necessária visto que a interpretação dos teores mínimos, médios e máximos foram iguais entre as subpopulações de alta e baixa produtividade.

TABELA 1 - MÍNIMO, MÉDIA, MÁXIMO E INTERPRETAÇÃO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO DAS ÁREAS AMOSTRADAS PARA A DIAGNÓSE NUTRICIONAL DA SOJA NO OESTE BAIANO (Profundidade 0-20cm).

Atributo	Unidade	Mínimo	Média	Máximo	Interpretação
pH água	Água	5,30	5,80	6,40	
pH CaCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	4,70	5,20	6,50	Médio <sup>1</sup>
M.O	%	0,70	1,40	2,40	Baixo <sup>1</sup>
P (Mehlich I)	mg dm <sup>-3</sup>	18,00	37,10	101,50	Alto <sup>1</sup>
S		3,40	5,40	11,90	Médio <sup>2</sup>
K	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,10	0,20	0,30	Alto <sup>1</sup>
Ca		1,20	2,16	3,10	Médio <sup>1</sup>
Mg		0,20	0,59	1,40	Médio <sup>1</sup>
Al		0,00	0,50	4,40	Baixo <sup>1</sup>
H+Al		0,70	1,80	4,40	-
CTC		2,30	4,70	8,80	Baixo <sup>1</sup>
V%		38,60	62,00	80,00	Médio <sup>1</sup>
B		0,20	0,50	1,00	Médio <sup>2</sup>
Zn		1,20	2,70	4,50	Médio <sup>2</sup>
Fe		mg dm <sup>-3</sup>	25,00	83,90	247,40
Mn	4,50	8,00	12,90	Alto <sup>2</sup>	
Cu	0,40	1,10	3,50	Alto <sup>2</sup>	

<sup>1</sup> EMBRAPA (2015); <sup>2</sup> RAIJ et al. (1996).

FONTE: O Autor (2020); com base em Embrapa (2015) e Raij et al. (1996)

Cada amostra representou um talhão, sendo coletada 30 folhas com pecíolo de cada área amostrada, no estágio de desenvolvimento de floração inicial 'R1' ou plena 'R2', que se caracteriza pela presença de flores desenvolvidas nos nós superiores da haste principal da planta (FEHR e CAVINESS, 1997; FARIAS et al., 2007). A folha diagnóstica foi a terceira ou quarta folha desenvolvida a partir do ápice

(EMBRAPA, 2014). Este estádio foi escolhido para a coleta, pois, durante a floração o acúmulo de nutrientes pelas folhas é máximo no ciclo da cultura da soja, representando maior relação com a produtividade (BARTH et al., 2018). As amostragens compreenderam o período a partir da segunda quinzena de dezembro até a primeira quinzena de fevereiro, variando em função da época de semeadura e ciclo da cultivar.

Imediatamente após cada coleta, as amostras foram identificadas e acondicionadas em sacos de papel e encaminhadas ao laboratório de química e fertilidade da Faculdade Arnaldo Horácio Ferreira, em Luís Eduardo Magalhães/BA, onde foram lavadas com detergente neutro 1,0 ml/L em água corrente potável e posteriormente submergidas em solução de ácido clorídrico a 3,5 ml/L com enxágue imediato em água deionizada. Após a lavagem as amostras foram secas à temperatura de 65°C até que fosse atingida o valor constante de massa, e moídas em peneira de tamanho 0,2 mm em moinho tipo Willey, para a determinação dos teores dos elementos nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), manganês (Mn), ferro (Fe), zinco (Zn) e cobre (Cu).

A quantificação dos elementos seguiu a metodologia proposta pela EMBRAPA (2000) e que concorda com Bataglia et al. (1983). O nitrogênio foi determinado por micro-Kjeldahl, o fósforo e enxofre por colorimetria, o boro também por colorimetria após calcinado por 3 h à 550°C, e os cátions potássio, cálcio, magnésio, cobre, ferro, zinco e manganês por espectrofotometria de absorção atômica.

Os dados de produtividade de grãos foram coletados na maturação fisiológica 'R8', sendo a produtividade determinada pela divisão da produção total do talhão amostrado, obtida medindo a massa de grãos por balanças das fazendas, em quilogramas, pela área de cada talhão amostrado, em hectare, com a umidade dos grãos ajustadas para 13% (ECK et al., 1987).

Os teores dos elementos na planta e a produtividade de grãos permitiu criar um banco de dados para as aplicações das metodologias CND e DRIS para a avaliação do estado nutricional da soja na região.

## 2.2 DIAGNOSE DA COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL (CND)

O banco de dados foi submetido aos cálculos do método CND para a determinação dos índices diagnósticos, segundo Parent e Dafir (1992) e Parent et al. (2005, 2009), onde o tecido vegetal é formado por um arranjo de nutrientes ( $d$ ), representado por  $d + 1$  proporções de nutrientes, formando um simplex,  $S^d$  (EQUAÇÃO 1), sendo:

$$S^d = \begin{cases} N > 0; P > 0; K > 0; Ca > 0; [...] Fe > 0; Mn > 0; Zn > 0 \\ N + P + K + Ca + [...] + Fe + Mn + Zn + R = 100 \end{cases} \quad (1)$$

Onde o número 100 representa o valor total da matéria seca que compõe o tecido vegetal (%), os valores dos nutrientes serão obrigatoriamente maiores que zero, e que a soma dos nutrientes mais o  $Rd$  (EQUAÇÃO 2), que representa um valor de enchimento, seja igual a 100% do tecido vegetal. Sendo determinado como proposto por Khiari et al. (2001a, 2005):

$$Rd = 100 - \sum_{i=1}^d X_i \quad (2)$$

Os nutrientes tornam-se adimensionais após serem divididos pela média geométrica ( $G$ ) do  $d + 1$  componentes (Aitchison, 1982; Parent et al., 2009), apresentados na equação 3:

$$G = \left( \prod_{i=1}^d X_i \right)^{\frac{1}{d+1}} = (N \times P \times K \dots \times Rd)^{\frac{1}{d+1}} \quad (3)$$

As razões log centradas dos nutrientes ( $clr$  ou centered logratio) foram determinadas a partir da equação 4:

$$clr_{nutriente} = V_N = \ln \frac{N}{G}; V_P = \ln \frac{P}{G}; V_K = \ln \frac{K}{G}; [...] V_{Rd} = \ln \frac{Rd}{G} \quad (4)$$

Na equação 5 está explicado a formação das variáveis multinutriente ( $V_{\text{nutriente}}$ ) que são o logaritmo neperiano da divisão dos teores de cada nutriente pela média geométrica (G) das concentrações dos constituintes da massa da matéria seca. Sabendo que os nutrientes mais o enchimento resultam em 100% do tecido, então a soma dos valores das razão log centradas das variáveis, incluindo Rd, será igual a zero:

$$V_N + V_P + V_K + V_{Ca} + V_{Mg} + [...] + V_{Rd} = 0 \quad (5)$$

Portanto, os índices CND é o quociente da diferença das variáveis multinutriente das amostras coletadas e a média da população referência de alta produtividade, entre o desvio-padrão da variável na população de referência, na equação 6:

$$I_N = \frac{(V_N - \bar{V}_N)}{\sigma_N}; I_P = \frac{(V_P - \bar{V}_P)}{\sigma_P}; I_K = \frac{(V_K - \bar{V}_K)}{\sigma_K}; [...] ; I_{Rd} = \frac{(V_{Rd} - \bar{V}_{Rd})}{\sigma_{Rd}} \quad (6)$$

Usando a equação 7 os índices  $I_n$  calculados foram usados para determinar o CND, o índice geral de equilíbrio:

$$CND - r^2 = I_N^2 + I_P^2 + I_K^2 + [...] + I_{Rd}^2 \quad (7)$$

Ordenando o conjunto de dados baseados na produtividade de maneira decrescente, seguindo o que foi apresentado por Khiari et al. (2001), foi determinada uma função cúbica oriunda da produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) relacionada com a variância acumulada dos valores  $D^2$ , em que o ponto de inflexão, obtido pela derivada segunda, identificando a subpopulação de alta produtividade do banco de dados (PARENT et al., 2009).

### 2.3 SISTEMA INTEGRADO DE DIAGNOSE E RECOMENDAÇÃO (DRIS)

A fim de padronizar a população de referência nos cálculos do DRIS adotou-se como base a mesma população já determinada no método CND, usando a função cumulativa da produtividade. A identificação e exclusão de dados aberrantes foi feita através da distância de Mahalanobis (PARENT et al., 2009). Com o preparo do banco de dados e populações de referências com o mesmo critério de seleção, foi possível comparar os métodos às mesmas populações/dados.

A interpretação do DRIS foi baseada nos índices de cada nutriente, obtidos em função das relações duais (quocientes) entre os teores dos nutrientes avaliados. Índices DRIS positivos indicaram excessos, negativos indicaram deficiências, enquanto índices DRIS iguais, ou próximos de zero, indicaram equilíbrio nutricional.

A proposta inicial do método DRIS teve várias alterações, buscando seu aperfeiçoamento e, entre as principais, a abordagem desenvolvida por Beverly (1987b), empregando a transformação logarítmica. Tal transformação tende à simplificação da fórmula DRIS (relações bivariadas log-transformadas) e, como consequência, à maior coerência na expressão das normas DRIS (Dias et al., 2010). O cálculo para se realizar a transformação proposta por Beverly (1987a) está descrito na equação 8:

$$I_Y = \left\{ \sum_{i=1}^d \left[ \frac{(\log \frac{Y}{X_n} - Pr_d) \cdot k}{\sigma_d} \right] - \sum_{i=1}^d \left[ \frac{(\log \frac{X_n}{Y} - Pr_i) \cdot k}{\sigma_i} \right] / (Nr_d + Nr_i) \right\} \quad (8)$$

Em que:  $I_Y$  é o índice de um dado nutriente;  $Y/X_n$  e  $X_n/Y$  é a razão entre dois nutrientes contidos na amostra de tecido vegetal, onde  $Y$  é o nutriente avaliado e  $X_n$  os nutrientes também avaliados na planta;  $Pr_d$  e  $Pr_i$  são as médias das razões logarítmicas  $Y/X_n$  diretas e  $X_n/Y$  indiretas, respectivamente, o  $k$  é um valor constante de sensibilidade igual a 1;  $\sigma_d$  e  $\sigma_i$  são os respectivos desvio-padrão da subpopulação de referência (alta produtividade) das relações diretas e indiretas; e  $Nr_d$  e  $Nr_i$  são os números de relações diretas e indiretas.

Posteriormente, foi calculado o índice de desequilíbrio de nutrientes (IBN), na equação 9, somando-se os In em módulo, como segue (WALWORTH e SUMNER, 1987):

$$|I_A| + |I_B| + \dots + |I_n| = IBN \quad (9)$$

$$|I_A| + |I_B| + \dots + |I_n| = IBN$$

em que:  $I_A$ ,  $I_B$  e  $I_C$  são índices DRIS de nutrientes A, B e C, respectivamente, e IBN calculado independentemente do sinal do índice DRIS. Visto que os índices DRIS brutos são simétricos e a soma destes é restrita a zero (BEAUFILS, 1973).

#### 2.4 -FAIXAS DE SUFICIÊNCIA NUTRICIONAL E POTENCIAL DE RESPOSTA À ADUBAÇÃO

Relacionando os teores dos nutrientes na folha com os índices nutricionais das amostras do banco de dados foi possível estabelecer uma equação, onde o valor do índice do nutriente avaliado igualado a zero, indicando equilíbrio sem excesso ou carência, determinou o nível crítico do nutriente na folha. Os limites superiores e inferiores da faixa de suficiência foram determinados a partir do valor do nível crítico  $\pm 2/3$  do desvio padrão dos teores dos nutrientes das amostras, como apresentado por Kurihara et al. (2013), adaptado de Wadt et al. (1998).

Os índices gerados pelo método DRIS foram categorizados quanto a possibilidade da adubação corrigir ou não a limitação de um dado nutriente para um aumento de produtividade, o potencial de resposta a adubação, apresentado por Wadt et al. (1996), subdividiu os índices em 5 classes: positiva (p), positiva ou nula (pz), nula (z), negativa ou nula (nz) e negativa (n), segundo Silva et al. (2005).

TABELA 2 – CLASSIFICAÇÃO DE INTERPRETAÇÃO DOS ÍNDICES DE EQUILÍBRIO DO POTENCIAL DE RESPOSTA À ADUBAÇÃO (PRA) BASEADO NOS ÍNDICES PROPOSTOS PELO MÉTODO DRIS.

Estado nutricional	Classe PRA	Critério
Limitante por falta (LF)	Positiva (p) <sup>(1)</sup>	$I_{Nut} < 0$ e $ I_{Nut}  > IEN_m$ , Onde $I_{Nut}$ é o índice de menor valor <sup>(3)</sup>
	Positiva ou nula (pz) <sup>(2)</sup>	$I_{Nut} < 0$ e $ I_{Nut}  > IEN_m$
Não limitante (NL)	Nula (z)	$ I_{Nut}  \leq IEN_m$ <sup>(3)</sup>
Limitante por excesso (LE)	Negativa ou nula (nz) <sup>(2)</sup>	$I_{Nut} > 0$ e $I_{Nut} > IEN_m$
	Negativa (n) <sup>(1)</sup>	$I_{Nut} > 0$ e $I_{Nut} > IEN_m$ , Onde o $I_{Nut}$ é o índice de maior valor <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> alta probabilidade; <sup>(2)</sup> baixa probabilidade; <sup>(3)</sup> da amostra avaliada.

FONTE: adaptado de Wadt (1996)

Pela contagem do número de observações que os nutrientes foram limitantes para todas as classes de PRA obteve-se as frequências observadas (FO) em relação aos valores dos índices de todos os nutrientes obtidos pelo método DRIS. A razão entre o número total de áreas (amostras) avaliadas pelo número de nutrientes analisados, gerou o valor das frequências esperadas (FE). Ambas as frequências foram sujeitadas à análise pelo teste do qui-quadrado ( $\chi^2$ ) a 5% de probabilidade. As condições para que o teste acima pudesse ser utilizado é de que não houvesse mais do que 20% das frequências esperadas abaixo de cinco, e nenhuma igual a zero.

## 2.5 VALIDAÇÃO DAS METODOLOGIAS

Os métodos avaliados foram submetidos ao particionamento Cate-Nelson para validação. Os índices gerados tanto pelo DRIS (IBN) quanto pelo CND (CND-r<sup>2</sup>) foram relacionados com a produtividade. Como apresentado por Nelson e Anderson (1977), o particionamento foi baseado na divisão, a partir de pontos críticos dos itens relacionados, num gráfico de dispersão bidimensional (x, y) em quatro quadrantes, potencializando o número de dados nos quadrantes positivos e reduzindo nos quadrantes negativos (FIGURA 2). Sendo assim, os dados de produtividade foram divididos em subpopulações de alta e baixa produtividade. Ambos os métodos tiveram o mesmo critério para esta divisão, desta forma foi possível comparar as duas metodologias.

Os quadrantes foram determinados segundo a equação 10:

$$SQ = \left[ \frac{(\sum_{i=1}^k X_i^2)}{k} + \frac{(\sum_{j=k+1}^n X_j^2)}{(n-k)} \right] - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n X_i^2}{n} \right] \quad (10)$$

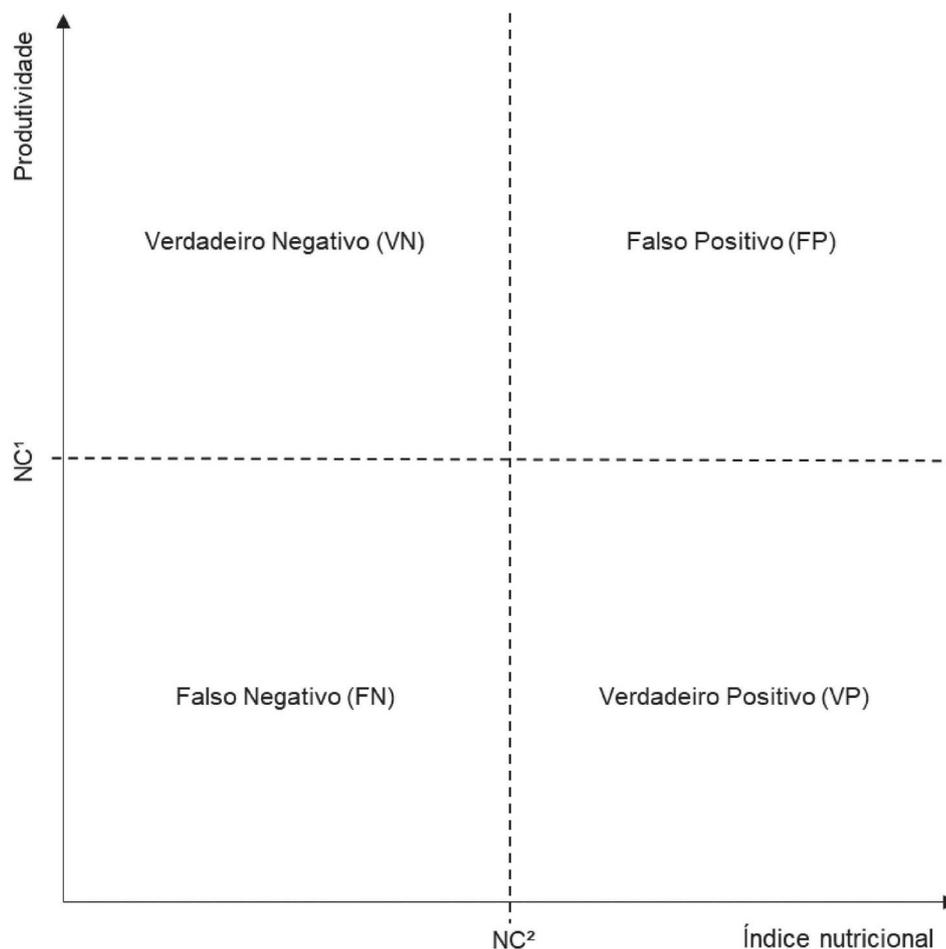
O valor de X indica o índice de balanço nutricional (CND ou DRIS), sendo o  $X_n$  o conjunto de todos os amostrados, com n números de observações, k é a contagem elementar que começa com a primeira observação ordenada de forma crescente, e j é o número subsequente da contagem elementar.

Classes de resposta à uso de fertilizantes foram atreladas aos quadrantes formados. Sendo assim, os quadrantes foram divididos conforme os níveis críticos de produtividade e índice nutricional (SANTOS, 2016). Portanto, as amostras avaliadas foram agrupadas em quatro quadrantes conforme a produtividade e balanço nutricional, alta e baixa produtividade, e balanceado (índices nutricionais abaixo do nível crítico) e desbalanceado (índices nutricionais acima do nível crítico) nutricionalmente.

A interpretação para os quadrantes determinados foram (PARENT et al., 2013b):

- a) Verdadeiro Negativo (VN): amostras de alta produtividade, corretamente identificadas como equilibradas. O estado nutricional está satisfatório;
- b) Verdadeiro Positivo (VP): amostras de baixa produtividade, corretamente identificadas como desequilibradas (acima do valor crítico) em que pelo menos um nutriente está em desequilíbrio;
- c) Falso Positivo (FP): amostras de alta produtividade, incorretamente identificadas como desequilibradas;
- d) Falso Negativo (FN): amostras de baixa produtividade, incorretamente identificadas como equilibradas. O FN indica as consequências de outros fatores de produção nas amostras.

FIGURA 2 – MODELO DO PARTICIONAMENTO CATE-NELSON PARA AS RELAÇÕES ENTRE O ÍNDICE DE BALANÇO NUTRICIONAL E PRODUTIVIDADE (NC<sup>1</sup> = Nível crítico preditor da produtividade; NC<sup>2</sup> = Nível crítico preditor do índice).



FONTE: O Autor (2020).

O modelo diagnóstico Cate-Nelson permitiu que o banco de dados fosse interpretado da seguinte forma:

- a) Valor preditivo positivo (VPP): probabilidade de um diagnóstico de desequilíbrio retornar a um baixo desempenho,  $VP / (VP+FP)$ ;
- b) Valor preditivo negativo (VPN): probabilidade de um diagnóstico equilibrado retornar a um alto desempenho,  $VN / (VN+FN)$ ;
- c) Especificidade: probabilidade de uma observação de alta produtividade estar equilibrada,  $VN / (VN+FP)$ ;
- d) Sensibilidade: probabilidade de uma observação de baixa produtividade estar desequilibrada,  $VP / (VP+FN)$ ;

e) Acurácia: probabilidade de uma observação ser identificada corretamente como desequilibrada ou equilibrada,  $(VN+VP) / (VN+FN+VN+FP)$ .

A especificidade e o VPP identificam possíveis problemas relativos a consumo de luxo ou contaminação das amostras, enquanto o VPN, acurácia e sensibilidade avaliam a possível carência de nutrientes e que outros fatores de produção podem interferir no resultado da planta.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As áreas avaliadas apresentaram produtividades que variaram de 558 a 5160 kg ha<sup>-1</sup>, com a produtividade média de 3621 kg ha<sup>-1</sup> a 13% de umidade. O banco de dados submetido a verificação de dados discrepantes pela distância de Mahalanobis foi reduzido de 153 para 117 amostras, visto que 36 dados foram apontados como outliers e, por consequência, removidos para evitar qualquer tipo de distorção dos possíveis resultados (PARENT et al., 2009).

Previamente à análise dos dados, realizou-se a distribuição gaussiana dos dados (n=117), como descrito por Hair et al. (2005), observou-se a distribuição normal para a produtividade, aceitando-se, portanto, Ho, ou seja, os dados possuem distribuição normal (Shapiro-Wilk W=0,89079; p=0,09234).

A matriz das correlações de Pearson dos teores foliares e produtividade (TABELA 3) apresentaram valores significativos para os nutrientes P, K, Mg, S, B, Fe e Zn, não havendo correlações fortes entre a produtividade e os teores foliares. Das 55 relações nutriente-nutriente, 22 foram significativas, sendo o Zn o nutriente com maior número, um total de 6 relações, enquanto o Mg foi o nutriente com menor relações significativas, apenas 2.

TABELA 3 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE OS TEORES DE NUTRIENTES FOLIARES E A PRODUTIVIDADE (Prod) DE SOJA DO BANCO DE DADOS (n = 117).

	Prod	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn
N	0,04										
P	0,37*	0,50*									
K	-0,37*	0,14	-0,13								
Ca	-0,09	-0,01	-0,32*	0,21*							
Mg	-0,18*	-0,02	-0,02	0,13	0,54*						
S	-0,22*	0,02	-0,08	0,36*	-0,11	-0,05					
B	0,39*	0,07	0,28*	-0,33*	0,07	0,00	-0,26*				
Cu	0,15	-0,24*	-0,18	0,04	-0,06	-0,08	0,20*	-0,15			
Fe	0,28*	0,21*	0,26*	0,01	0,18	0,17	0,02	0,13	0,03		
Mn	-0,13	0,01	-0,11	-0,04	-0,14	-0,33*	0,22*	-0,25*	0,23*	0,03	
Zn	0,24*	-0,38*	-0,25*	-0,45*	0,22*	-0,02	-0,35*	0,34*	-0,08	-0,03	-0,09

\* significativo à 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

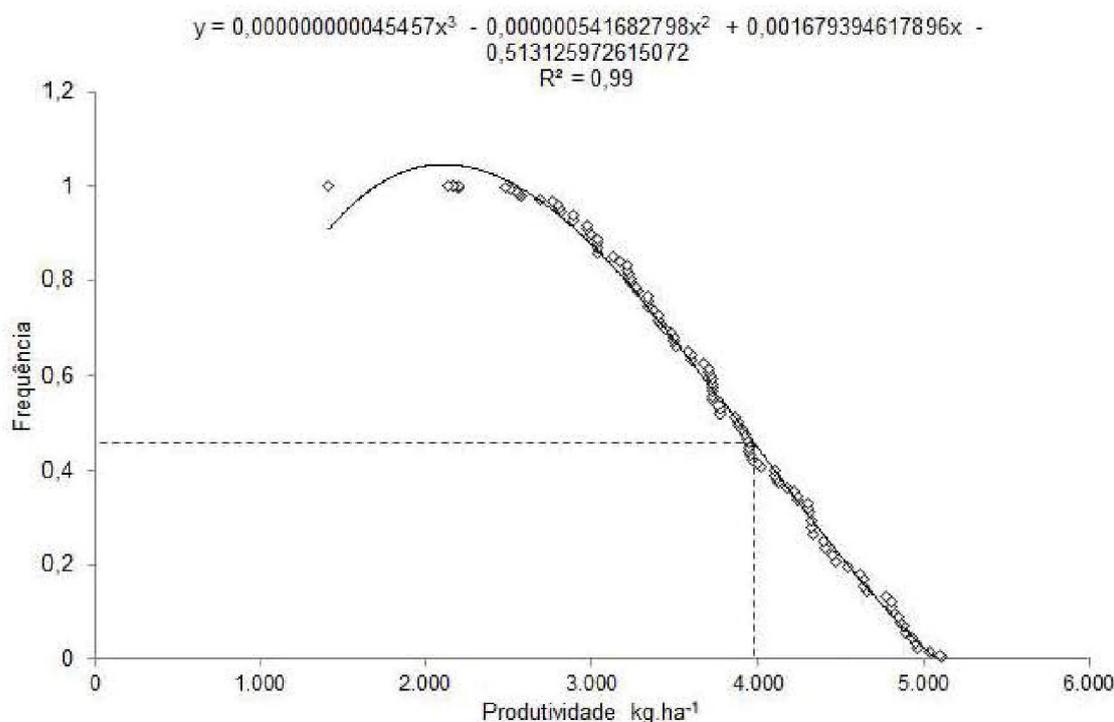
FONTE: O Autor (2020).

Dentre as correlações avaliadas, nenhuma foi considerada como forte (maior que 0,7), e apenas as correlações N-P (0,50), Ca-Mg (0,54) e K-Zn (-0,45) foram categorizadas como moderadas (DANCEY e REIDY, 2006). Apenas a relação K-Zn foi antagônica, onde o aumento de um dos nutrientes provoca a redução do outro. A fraca correlação entre os nutrientes e a produtividade apontam que a avaliação do estado nutricional das plantas por métodos univariados é insuficiente para ser usado como parâmetro de avaliação. Salienta-se, entretanto, que seria pouco adequado que uma explicação isolada de um único nutriente pudesse justificar substancialmente a produtividade, como já evidenciado por Kenworthy (1967); Geraldson et al. (1973); Marschner (1995); Rozane et al. (2016; 2017).

### 3.1 AVALIAÇÃO DOS DADOS PELO MÉTODO CND

Após a identificação e remoção dos dados aberrantes do banco de dados, foi realizada a divisão da população em duas subpopulações com base na produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). Sendo assim, o banco de dados foi separado usando a função cumulativa da produtividade (FIGURA 3) em subpopulação de alta e subpopulação de baixa produtividade. O ponto de inflexão da equação indicou um valor de produtividade de  $3.972 \text{ kg ha}^{-1}$ , portanto, as amostras que tiveram produtividade superior foram classificadas como produtivas, enquanto as que tiveram produtividade inferior compuseram a subpopulação de baixa. Logo, a população definida como de “alta produtividade” foi composta por 41 amostras (35%), enquanto a de “baixa produtividade” por 76 amostras (65%).

**FIGURA 3 – FUNÇÃO CUMULATIVA DA PRODUTIVIDADE E PONTO DE INFLEXÃO DA CURVA DO BANCO DE DADOS DE 117 LAVOURAS DE SOJA.**



**FONTE: O Autor (2020).**

O ponto de inflexão indicado pela função cumulativa para definir a população de alta produtividade foi 351 kg ha<sup>-1</sup> superior à média do banco de dados, e 312 kg maior que a média das duas safras avaliadas (2017/2018 e 2018/2019) da região, que foi de 3660 kg ha<sup>-1</sup>, e 851 kg a mais que a média das últimas 5 safras do estado baiano de 3 121 kg.ha<sup>-1</sup>, segundo a CONAB (2019). É importante esse tipo de comparação porque muitas vezes a média da safra é usada como parâmetro comparativo, e no caso, o CND apresentou um valor de base mais alto, podendo dizer que elevou o padrão de comparação para as avaliações.

Na TABELA 4 estão apresentados os valores dos teores mínimos, médios e máximos, além dos desvio-padrão das subpopulações de alta e baixa produtividade a partir da análise de folhas com pecíolo de soja.

TABELA 4 – MÍNIMO, MÉDIA, MÁXIMO E DESVIO-PADRÃO DOS TEORES NUTRICIONAIS DAS AMOSTRAS FOLIARES DE SOJA DAS POPULAÇÕES DE ALTA E BAIXA PRODUTIVIDADE.

Nutriente	Alta produtividade (41 talhões)				Baixa produtividade (76 talhões)			
	Mínimo	Média	Máximo	$\sigma$	Mínimo	Média	Máximo	$\sigma$
N (g kg <sup>-1</sup> )	24,30	38,27	47,34	5,17	28,08	38,53	54,90	5,24
P (g kg <sup>-1</sup> )	1,46	2,67	4,03	0,63	0,80	2,01	3,20	0,52
K (g kg <sup>-1</sup> )	6,50	15,61	26,00	4,60	12,00	19,44	29,25	3,79
Ca (g kg <sup>-1</sup> )	4,50	7,41	12,65	1,52	5,00	8,23	12,50	1,66
Mg (g kg <sup>-1</sup> )	2,11	3,26	4,78	0,44	2,32	3,32	4,60	0,45
S (g kg <sup>-1</sup> )	0,54	1,83	3,41	0,57	0,66	2,03	3,69	0,64
B (mg kg <sup>-1</sup> )	30,01	43,94	65,06	8,82	22,10	36,54	59,38	8,48
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	4,00	11,98	52,00	13,55	1,35	8,94	54,00	9,60
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	62,00	102,03	212,35	26,74	56,00	90,25	213,00	24,44
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	15,00	32,44	101,22	18,52	5,00	42,67	131,00	32,60
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	23,62	84,09	176,00	51,75	56,60	69,43	183,00	44,01
Produtividade	3999,0	4563,0	5160,0	352,1	1.200,0	3.215,0	3.960,0	609,3

$\sigma$  = desvio-padrão.

FONTE: O Autor (2020).

As duas subpopulações também foram submetidas à correlação linear de Pearson (TABELA 5 e TABELA 6), e, o número de correlações significativas entre os teores foliares e a produtividade foi menor que o do banco de dados total do estudo, também justificando que esta avaliação é insuficiente para garantir parâmetros de avaliação.

Dancey e Reidy (2006) apresentaram uma classificação para a interpretação do coeficiente linear de Pearson ( $r$ ), sendo: fraco (0,10 - 0,30); moderado (0,40 - 0,60); forte (0,70 - 1,0). Assim correlações fortes não foram observadas em nenhuma das populações, porém, na subpopulação de alta produtividade o número de correlações moderadas aumentou, foram 14 correlações moderadas, sendo N-P (0,57), P-B (0,40), K-S (0,60), K-Cu (0,41), Ca-Mg (0,57), Ca-Fe (0,50), Mg-Fe(0,50), S-Cu (0,47), S-Mn (0,47) e Fe-Mn (0,42), positivas, e B-Cu (-0,44), Cu-Mn (-0,57), K-B (-0,44) e Mg-Zn (-0,43) correlações negativas. Apenas o nutriente Zn a sua correlação com a produtividade significativa, porém uma correlação fraca (0,39).

TABELA 5 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE PEARSON DOS TEORES FOLIARES E PRODUTIVIDADE DA SUBPOPLAÇÃO DE ALTA PRODUTIVIDADE DE SOJA (n = 41).

	Prod	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn
N	0,16										
P	0,22	0,57*									
K	-0,06	-0,11	-0,29								
Ca	-0,15	0,07	-0,21	0,25							
Mg	-0,28	0,14	0,13	0,16	0,57*						
S	-0,09	-0,08	-0,14	0,63*	0,03	0,07					
B	-0,05	0,25	0,40*	-0,44*	-0,24	-0,05	-0,22				
Cu	-0,24	-0,32*	-0,36*	0,41*	-0,11	-0,14	0,47*	-0,44*			
Fe	0,01	0,32*	0,09	0,37*	0,50*	0,50*	0,23	-0,13	-0,04		
Mn	-0,12	0,06	-0,11	0,30	0,28	0,22	0,47*	-0,27	0,57*	0,42*	
Zn	0,39*	-0,17	-0,09	-0,31*	-0,16	-0,43*	-0,27	0,06	-0,36*	-0,26	-0,17

FONTE: O Autor (2020).

Da subpopulação de baixa produtividade, coeficientes moderados foram observados entre os nutrientes e a produtividade significativos apenas para as relações Ca-produtividade (0,24), B-produtividade (0,24) e Fe-produtividade (0,24). Apenas 7 correlações moderadas foram observadas sendo N-P (0,60), Ca-Mg (0,53), Ca-Zn (0,51) e B-Zn (0,47) positivas e, N-Zn (-0,52), P-Zn (-0,58) e Ca-Zn (-0,51) as negativas. Não foram observadas correlações fortes. A redução do número de correlações significativas e maiores entre as subpopulações pode indicar que a diferença de produtividade, por conta das baixas correlações, está sendo influenciada por outro(s) fator(es) além do nutricional.

Estudos conduzidos por Yamada (2002) explicam que o N está relacionado diretamente com a absorção de P, visto que este nutriente estimula o crescimento das raízes, que por consequência, aumenta a área de solo explorado e a absorção de P, que é dada pelo mecanismo de difusão.

Interações entre K, Ca e Mg, que normalmente ocorrem visto que são cátions de carga e tamanho semelhantes (tratando-se de Ca e Mg), ocorrem de forma antagônica, foram observadas no presente estudo como positivas para as relações Ca-Mg em ambas populações, relações K-Ca e K-Mg não foram significativas.

TABELA 6 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE PEARSON DOS TEORES FOLIARES E PRODUTIVIDADE DA SUBPOPULAÇÃO DE BAIXA PRODUTIVIDADE DE SOJA (n = 71).

	Prod	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn
N	0,08										
P	-0,10	0,60*									
K	-0,12	0,30*	0,39*								
Ca	0,24*	-0,06	-0,26*	0,05							
Mg	-0,19	-0,10	-0,05	0,08	0,53*						
S	-0,19	0,06	0,08	0,16	-0,23*	-0,12					
B	0,24*	-0,01	-0,07	-0,04	0,39*	0,08	-0,22				
Cu	0,22	-0,19	-0,21	-0,17	0,02	-0,02	0,07	-0,06			
Fe	0,24*	0,16	0,24*	-0,06	0,11	0,02	-0,03	0,15	0,03		
Mn	-0,10	-0,01	-0,07	-0,23*	-0,30*	-0,52*	0,14	-0,24*	0,14	-0,07	
Zn	0,14	-0,52*	-0,58*	-0,51*	0,51*	0,25*	-0,38*	0,47*	0,13	0,07	-0,05

FONTE: O Autor (2020).

O nutriente Zn teve um total de 7 correlações significativas na subpopulação de baixa e 3 na de alta produtividade, mostrando ser um nutriente bastante reativo, principalmente com os nutrientes catiônicos Ca, Mg e K que nas duas subpopulações as correlações foram significativas. Relações entre os cátions  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  são descritas por Loneragan e Webb (1993) como antagônicas com  $Zn^{2+}$ , concordando com o presente estudo apenas para as relações da subpopulação de alta produtividade.

Foram determinadas as variáveis multinutrientes (logaritmos naturais das relações multivariadas das áreas amostras) para a avaliação do método CND, na TABELA 7 estão os valores médios e desvio-padrão das novas variáveis dos nutrientes da massa seca (G) contidos no simplex 11+1 ( $S^{12}$ ), formando um arranjo dimensional de 11 planos.

A relação entre o índice de desequilíbrio nutricional ( $CND-r^2$ ) e a distância de Mahalanobis ( $D^2$ ) constam na figura 4. O uso dessa relação explana que quanto menor a distância da amostra em relação a reta de tendência central, maior é o equilíbrio dessa amostra, e que a maior distância indica desequilíbrio.

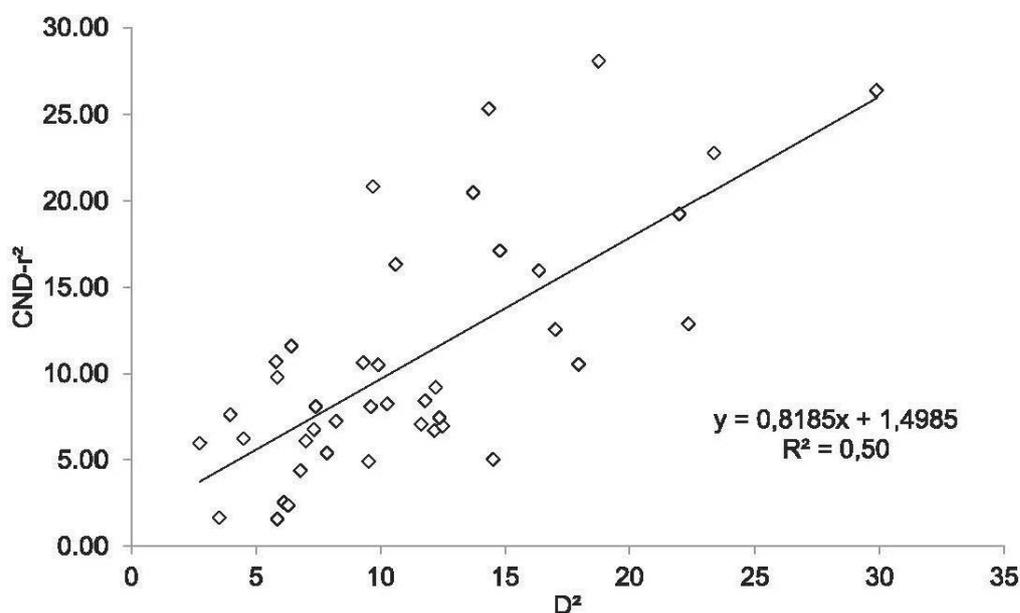
O valor do  $R^2$  de 0,50 encontrado pelo estudo é maior do que os encontrados por outros autores como Khiari et al. (2001) para batata (0,34), Santos (2016) para atemoia (0,35), Rocha (2017) para o morangueiro (0,31), Rozane et al. (2016b) para videira (0,42) exceto para pera (0,73) apresentado por Rozane et al (2017).

TABELA 7 – MÉDIA GEOMÉTRICA DOS COMPONENTES DA MASSA SECA (G), MÉDIA E DESVIO-PADRÃO DAS VARIÁVEIS MULTINUTRIENTES DAS AMOSTRAS FOLIARES DE SOJA.

Variável	Média	Desvio Padrão
G	1107,24	125,97
VN	3,50	0,17
VP	0,82	0,27
VK	2,57	0,26
VCa	1,85	0,20
VMg	1,04	0,16
VS	0,42	0,28
VB	-3,28	0,24
VCu	-4,88	0,63
VFe	-2,44	0,20
VMn	-3,51	0,34
VZn	-2,79	0,62

FONTE: O Autor (2020).

FIGURA 4 – CORRELAÇÃO ENTRE A DISTÂNCIA DE MAHALANOBIS ( $D^2$ ) E O  $CND-r^2$ , PARA OS DADOS DE TEORES DE NUTRIENTES DA SUBPOPULAÇÃO DE ALTA PRODUTIVIDADE (n=41).



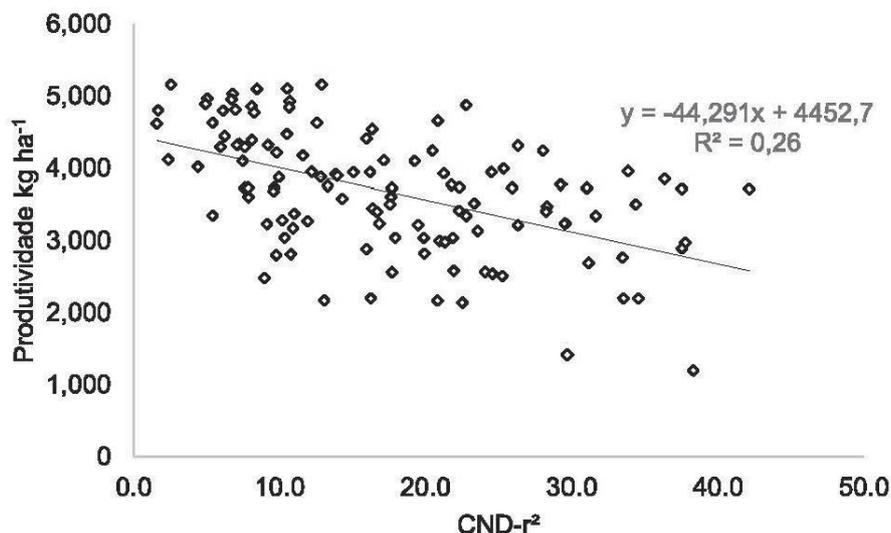
FONTE: O Autor (2020).

Valores de  $CND-r^2$  menores são encontrados em culturas anuais ou que possuem baixa reserva para a safra seguinte, como são os casos citados acima do morangueiro e batata, e cenoura (0,32) apresentado por Parent et al. (1994). Os maiores valores são para culturas perenes que possuem maiores reservas de nutrientes na entressafra como a videira e pereira. Porém, apesar de ser uma cultura

anual, a soja apresentou elevado coeficiente de determinação ( $R^2$ ) entre o CND- $r^2$  e a  $D^2$  quando comparado com os valores salientados. Essa divergência pode estar atrelada ao fato das lavouras de soja avaliadas serem cultivadas sobre solos pobres, e que o manejo adequado destes tem grande impacto no balanço nutricional e na produtividade. Em áreas em que o solo é menos limitante, e por consequência a produtividade responde menos ao manejo, os valores tendem a ser inferiores.

Embora o CND- $r^2$ , calculado a partir da integração de todos os índices CND dos nutrientes avaliados (FIGURA 5), seja classificado por Dancey e Reidy (2006) como moderado ( $R^2 = 0,26$ ;  $r = -0,51$ ), esse foi significativo ( $p < 0,01$ ). Ou seja, o balanço nutricional do presente banco de dados explicou 26% da variação da produção, sendo que outros fatores, além dos nutricionais, influenciaram a produtividade em 74%. Tisdale (1985), em seu célebre estudo, indica que a produtividade é a interação de cerca de 52 fatores. Assim, percebe-se que o Diagnóstico da Composição Nutricional (CND- $r^2$ ), evidenciado no presente estudo pela composição de 11 fatores (N, P, K, Ca, Mg, S, B, CU, Fe, Mn e Zn), observa proporção relativa maior à distribuição média dos nutrientes isoladamente, e semelhante quando comparada aos 52 fatores. Sendo possível indicar que a nutrição tem uma alta influência na produtividade da soja nesta região do estudo. Como já salientado, o manejo da fertilidade do solo para suprir as demandas da planta em áreas de solos pobres implica no aumento da produtividade da cultura. No estudo de Oliveira et al. (1992), por exemplo, houve aumento da produtividade de soja em resposta à adição de potássio na região do oeste baiano. O mesmo foi observado por Costa Leite et al. (2017) que também concluíram que aplicações de fertilizantes fosfatados nesta mesma região propicia respostas positivas na produtividade, gerando consequências positivas para a lavoura.

FIGURA 5 – ÍNDICE DE DESEQUILÍBRIO NUTRICIONAL CND- $r^2$  E PRODUTIVIDADE DA SOJA ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) DE TODO O BANCO AMOSTRAL ( $n = 117$ ).



FONTE: O Autor (2020).

### 3.2 AVALIAÇÃO DOS DADOS PELO MÉTODO DRIS

Para a avaliação pelo método DRIS, o banco de dados foi previamente tratado da mesma forma que para a avaliação do método CND, portanto, a remoção de outliers e a determinação da subpopulação de alta produtividade foram os mesmos empregados na metodologia de cálculo do CND. Logo, o banco analisado teve 117 amostras, com 41 compondo a subpopulação de alta produtividade e 76 de baixa produtividade, com a produtividade de  $3.972 \text{ kg ha}^{-1}$  como divisor de subpopulações.

Os valores dos logaritmos das relações duais e os seus respectivos desvios-padrão da subpopulação de alta produtividade usados para as determinações pelo método DRIS estão na TABELA 8.

TABELA 8 - MÉDIA E DESVIO-PADRÃO DOS LOGARITMOS DAS RELAÇÕES BIVARIADAS DOS TEORES DOS NUTRIENTES DAS MATÉRIAS SECAS DAS AMOSTRAS FOLIARES DE SOJA DA SUBPOPULAÇÃO DE ALTA PRODUTIVIDADE PARA O DESENVOLVIMENTO DAS NORMAS DRIS.

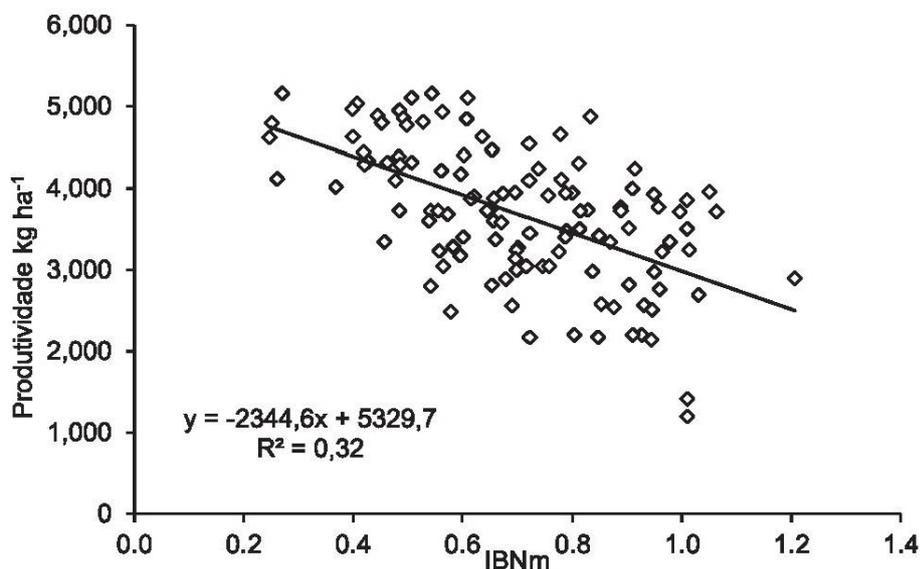
N/	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
média	1,17	0,40	0,72	1,07	1,34	-0,06	0,64	-0,42	0,05	-0,27
$\sigma$	0,09	0,15	0,11	0,08	0,16	0,09	0,32	0,10	0,19	0,28
P/	N	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
média	-1,17	-0,76	-0,45	-0,10	0,17	-1,22	-0,52	-1,58	-1,12	-1,44
$\sigma$	0,09	0,19	0,16	0,12	0,19	0,11	0,35	0,14	0,22	0,29
K/	N	P	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
média	-0,40	0,76	0,31	0,67	0,94	-0,46	0,24	-0,82	-0,36	-0,67
$\sigma$	0,15	0,19	0,14	0,14	0,12	0,19	0,27	0,13	0,20	0,33
Ca/	N	P	K	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
média	-0,72	0,45	-0,31	0,35	0,62	-0,77	-0,08	-1,14	-0,67	-0,99
$\sigma$	0,11	0,16	0,14	0,08	0,17	0,13	0,31	0,10	0,19	0,29
Mg/	N	P	K	Ca	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
média	-1,07	0,10	-0,67	-0,35	0,27	-1,13	-0,43	-1,49	-1,02	-1,34
$\sigma$	0,08	0,12	0,14	0,08	0,16	0,10	0,31	0,09	0,19	0,29
S/	N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn
média	-1,34	-0,17	-0,94	-0,62	-0,27	-1,40	-0,70	-1,76	-1,29	-1,61
$\sigma$	0,16	0,19	0,12	0,17	0,16	0,19	0,27	0,15	0,18	0,33
B/	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
média	0,06	1,22	0,46	0,77	1,13	1,40	0,70	-0,36	0,10	-0,21
$\sigma$	0,09	0,11	0,19	0,13	0,10	0,19	0,35	0,14	0,22	0,26
Cu/	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Fe	Mn	Zn
média	-0,64	0,52	-0,24	0,08	0,43	0,70	-0,70	-1,06	-0,60	-0,91
$\sigma$	0,32	0,35	0,27	0,31	0,31	0,27	0,35	0,31	0,24	0,47
Fe/	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn
média	0,42	1,58	0,82	1,14	1,49	1,76	0,36	1,06	0,46	0,15
$\sigma$	0,10	0,14	0,13	0,10	0,09	0,15	0,14	0,31	0,17	0,30
Mn/	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Zn
média	-0,05	1,12	0,36	0,67	1,02	1,29	-0,10	0,60	-0,46	-0,32
$\sigma$	0,19	0,22	0,20	0,19	0,19	0,18	0,22	0,24	0,17	0,34
Zn/	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn
média	0,27	1,44	0,67	0,99	1,34	1,61	0,21	0,91	-0,15	0,32
$\sigma$	0,28	0,29	0,33	0,29	0,29	0,33	0,26	0,47	0,30	0,34

$\sigma$  = desvio-padrão.

FONTE: O Autor (2020).

O coeficiente de determinação apresentado pelo DRIS foi de  $R^2 = 0,32$  (FIGURA 6), também significativo à 5%, superior ao apontado pelo CND ( $R^2=0,26$ ). Este resultado discorda dos encontrados por Santos (2016) e Rocha (2017) onde os valores de CND foram superiores aos do DRIS.

FIGURA 6 – ÍNDICE DE BALANÇO NUTRICIONAL MÉDIO (IBNm) E PRODUTIVIDADE DA SOJA DAS DUAS SUBPOPULAÇÕES (n = 117).



FONTE: O Autor (2020).

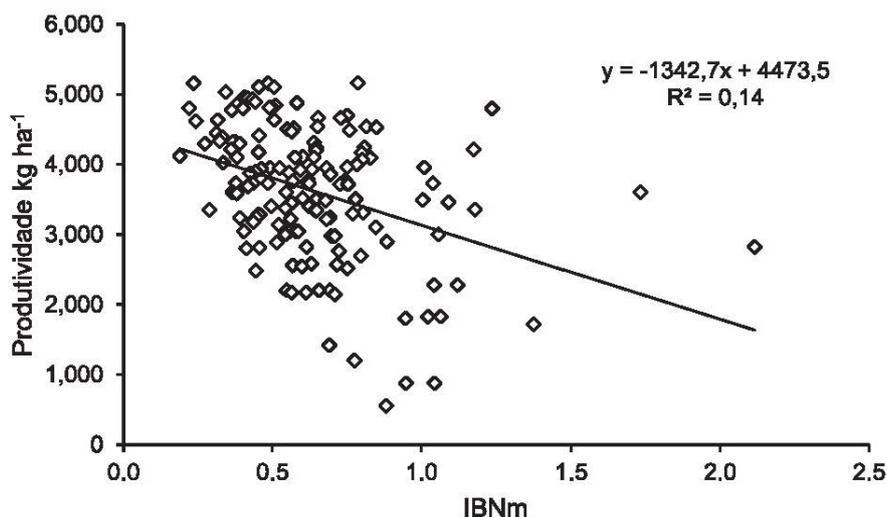
Os índices diagnósticos IBNm e CND- $r^2$  são as junções de índices nutricionais individuais, portanto, caso algum nutriente tenha melhor relação em um método do que em outro, o valor diagnóstico final IBNm ou CND- $r^2$  pode ser aumentado ou reduzido, fazendo que o índice DRIS, como no presente estudo, supere o do CND.

Na FIGURA 7 consta a relação do IBNm com a produtividade, da subpopulação de alta produtividade (referência) determinada pela produtividade média do banco de dados + 0,5 desvio-padrão, como apresentado por Silva et al. (2004), Urano et al. (2006; 2007) e Santos et al. (2013), ou seja, 4.098,1 kg ha<sup>-1</sup>. Também não foi realizada qualquer remoção prévia de dados discrepantes. Em consequência disso, o  $R^2 = 0,14$  foi menor do que o observado quando houve remoção das amostras aberrantes para o mesmo banco de dados, mostrando que o prévio preparo do banco de dados proposto pelo CND também é útil para a obtenção de índices mais precisos pelo método DRIS.

O valor do IBNm da subpopulação de baixa produtividade também foi reduzido, de 0,8 para 0,7. Portanto, os dados que anteriormente foram removidos pela distância de Mahalanobis reduziram o índice, acarretando numa errônea conclusão de que as áreas avaliadas estariam menos desequilibradas. Logo, o preparo dos dados e critério para determinar a subpopulação de referência melhoraram a eficiência do método para explicar a produtividade a partir dos índices nutricionais gerados,

reforçando o impacto das relações nutricionais, e que o uso de dados outliers podem alterar os resultados e, conseqüentemente, as medidas a serem tomadas.

FIGURA 7 – ÍNDICE DE BALANÇO NUTRICIONAL MÉDIO (IBNm) E PRODUTIVIDADE DA SOJA DE TODO O BANCO DE DADOS (n = 153, sem a remoção de *outliers*).



FONTE: O Autor (2020).

Quando há relações positivas e negativas de um mesmo fator (nutriente) para diferentes fatores (outros nutrientes), deve-se tomar atenção especial pois provocar a mudança de uma relação pode afetar outra (HOOPERHEIDE et al., 2007; COIMBRA et al., 2005). Este pensamento se aplica também as normas CND porque a média geométrica faz parte da metodologia, logo, a alteração do teor de um único nutriente pode deslocar os valores de referência dos demais.

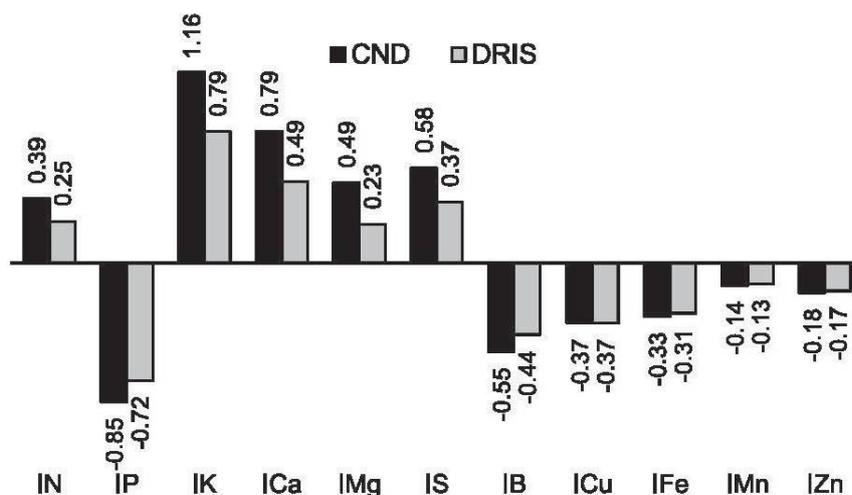
### 3.3 AVALIAÇÃO DOS ÍNDICES NUTRICIONAIS CND E DRIS, E POTENCIAL DE RESPOSTA À ADUBAÇÃO PELO MÉTODO DRIS

Além de elencar os fatores que podem limitar a produção, Tisdale (1985) elencou, de forma resumida, os principais fatores que afetam a produtividade, sendo a água o principal e logo em seguida a fertilidade do solo. Portanto, o incremento de produtividade das áreas da subpopulação de baixa produtividade ocasionado pela correção da fertilidade do solo é indispensável. É importante entender quais os fatores

estão limitando a lavoura e quais devem ser priorizados para terem seus impactos reduzidos.

Dos 11 nutrientes avaliados, tanto o método CND quanto o DRIS identificaram 6 nutrientes (P, B, Cu, Fe, Mn e Zn) como limitantes por deficiência pelo diagnóstico médio dos índices nutricionais da subpopulação de baixa produtividade (FIGURA 8). Essa semelhança de diagnóstico entre CND e DRIS já foi relatada por Urano et al. (2007), Santos (2016) e Rocha (2017), com as culturas de soja, atemoia e morangueiro, respectivamente. Porém, o CND se mostrou mais sensível, indicando as maiores discrepâncias, sendo seus índices superiores aos índices encontrados pelo método DRIS, resultando no índice de equilíbrio geral CND- $r^2 = 20,8$  enquanto o índice IBNm = 0,8, para o mesmo banco de dados.

FIGURA 8- MÉDIAS DOS ÍNDICES NUTRICIONAL OBTIDOS PELOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO CND E DRIS DAS AMOSTRAS DA SUBPOPULAÇÃO DE BAIXA PRODUTIVIDADE.

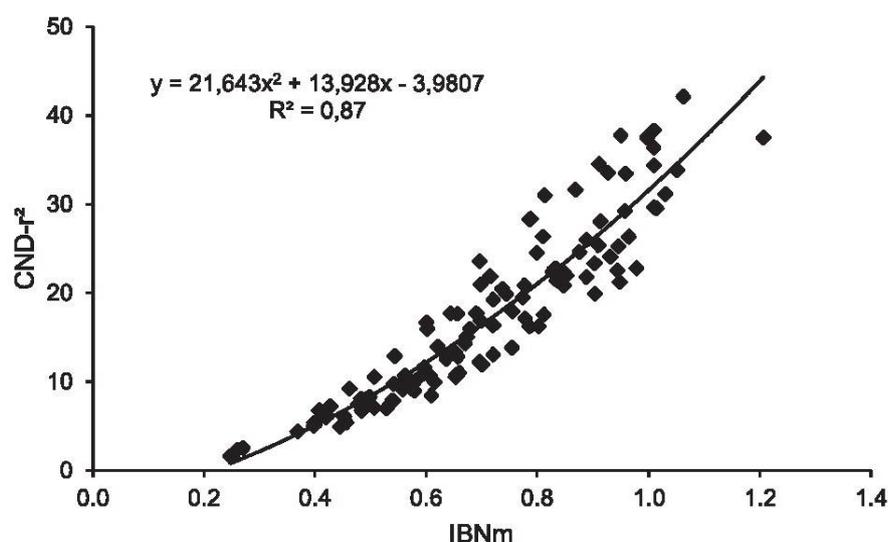


FONTE: O Autor (2020).

Os índices diagnósticos propostos pelos métodos foram semelhantes para todos os nutrientes em relação à carência ou excesso de cada, sendo diferente apenas o valor absoluto dos seus respectivos índices. Diante disso, foi estabelecida uma relação entre o IBNm e o CND- $r^2$  de todas as amostras do banco de dados (FIGURA 9) para ilustrar a relação entre os índices. O estudo com milho doce de Khiari et al. (2001a) e com batata de Parent et al. (1994) também salientaram a forte relação entre os índices obtidos pelos dois métodos.

Isto reforça que, apesar de metodologias diferentes os diagnósticos são semelhantes, sendo então confiável o uso de das duas para diagnosticar lavouras de soja amostradas da região oeste baiana.

FIGURA 9 – RELAÇÃO ENTRE OS ÍNDICES IBNm E CND-r<sup>2</sup> DE TODO O BANCO AMOSTRAL (n = 117), A PARTIR DE TEORES FOLIARES DE SOJA.



FONTE: O Autor (2020).

Os valores dos índices gerados pelos métodos propostos pelo estudo indicam uma quantidade relativa, logo, o excesso ou carência de um dado nutriente pode ser afetado por outros além apenas da sua disponibilidade no solo. Avaliar não apenas as carências, mas também os excessos dos nutrientes na planta e as consequências dessas quantidades e relações é uma das vantagens que os métodos multivariados tem em relação aos univariados, como reportado por Ali et al. (2016). As reações e funções bioquímicas na planta não ocorrem independentemente, sendo essencial entender essas relações na busca por aumento de produtividade e eficiência no uso de fertilizantes.

Por isso, é imprescindível ter atenção não apenas com os valores negativos (nutrientes carentes), mas também os valores que indicam excesso. Essa avaliação dos nutrientes em excesso pode implicar na redução dos insumos aplicados e consequentemente na redução dos custos da lavoura e aumento da margem de lucro.

Com o estabelecimento de normas DRIS houve a indicação da interpretação pelo Potencial de Resposta à Adubação (PRA) proposto por Wadt (1996).

As porcentagens de observações de cada classe estão apresentadas na TABELA 9. Este levantamento de dados foi necessário para avaliar a eficiência do método de potencial de resposta para interpretação e recomendação. O PRA visa a separação das amostras em classes de resposta à adubação para que o manejo da adubação seja mais eficaz, aplicando apenas nas áreas que há probabilidade de resposta positiva à adição de fertilizantes (URANO, 2006).

TABELA 9 – PORCENTAGEM DE AMOSTRAS CLASSIFICADAS EM FUNÇÃO DO POTENCIAL DE RESPOSTA À ADUBAÇÃO (PRA) NAS SUBPOPULAÇÕES DE ALTA E BAIXA PRODUTIVIDADE DE SOJA PROPOSTO PELO MÉTODO DRIS.

PRA	N	P	K	Ca	Mg	S %	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Subpopulação de alta produtividade (n=41)											
<i>n</i>	2,4	4,9	7,3	7,3	4,9	4,9	9,8	12,2	9,8	7,3	29,3
<i>nz</i>	14,6	34,1	14,6	14,6	7,3	9,8	7,3	2,4	7,3	14,6	4,9
<i>z</i>	70,7	36,6	48,8	58,5	78,0	68,3	68,3	58,5	70,7	46,3	34,1
<i>pz</i>	7,3	14,6	14,6	7,3	7,3	4,9	9,8	22,0	7,3	17,1	17,1
<i>p</i>	4,9	9,8	14,6	12,2	2,4	12,2	4,9	4,9	4,9	14,6	14,6
Subpopulação de baixa produtividade (n=76)											
<i>n</i>	1,3	0,0	27,6	11,8	2,6	11,8	2,6	9,2	3,9	25,0	3,9
<i>nz</i>	14,5	0,0	26,3	19,7	15,8	26,3	3,9	3,9	1,3	13,2	15,8
<i>z</i>	81,6	60,5	44,7	61,8	76,3	50,0	60,5	55,3	71,1	28,9	64,5
<i>pz</i>	1,3	19,7	1,3	5,3	5,3	9,2	15,8	14,5	18,4	2,6	10,5
<i>p</i>	1,3	19,7	0,0	1,3	0,0	2,6	17,1	17,1	5,3	30,3	5,3

*n* = negativa, com alta probabilidade; *nz* = negativa com baixa probabilidade; *z* = nula; *pz* = positiva, com baixa probabilidade; *p* = positiva, com alta probabilidade.

FONTE: O Autor (2020).

A formação de classes de resposta permitiu ordenar os nutrientes em função da resposta à adubação e da ordem de limitação por carência, ou não, das lavouras avaliadas. Sendo assim, nas áreas de baixa produtividade, a ordem dos nutrientes mais limitantes (*p* + *pz*) por carências foi  $P > B = Mn > Cu > Fe > Zn > S > Ca > Mg > N > K$ ; para a subpopulação de alta produtividade a ordem foi  $Mn = Zn > K > Cu > P > Ca > S > B > N = Fe > Mg$ . Para a classe limitante por excesso (*n* + *nz*), a ordem para a subpopulação de baixa produtividade foi  $K > S = Mn > Ca > Zn > Mg > N > Cu > B > Fe > P$ ; para a subpopulação de alta  $P > Zn > K = Ca = Mn > N = B = Fe > Cu > S > Mg$ .

Com a segregação das áreas em função da limitação, seja excesso ou carência, dos nutrientes avaliados é possível que a adubação seja executada de forma

mais inteligente, aplicando apenas os nutrientes nas áreas que este é limitante por carência, e economizando o uso dos recursos em áreas que a resposta á adubação seja nula ou negativa, visto que há excesso de nutrientes nessas áreas, descartando a possibilidade de adição de qualquer insumo.

Porém, quando o PRA foi submetido ao teste de  $\chi^2$  para análise da distribuição dos dados (TABELA 10), o método se demonstrou ineficiente, visto que as frequências observadas não foram significativas em nenhuma das duas subpopulações, logo, o método PRA não pode ser indicado para o manejo da adubação das áreas amostradas.

TABELA 10 – FREQUÊNCIAS DOS NUTRIENTES LIMITANTES POR EXCESSO ( $n + nz$ ), POR FALTA ( $p + pz$ ) E NÃO LIMITANTE ( $z$ ), CATEGORIZADOS PELO PRA E CÁLCULO DO QUI-QUADRADO ( $x^2$ ) PARA AS SUBPOPULAÇÕES DE ALTA E BAIXA PRODUTIVIDADE DE SOJA UTILIZANDO OS ÍNDICES DRIS.

Nutriente	Subpopulação de alta produtividade (Fe-FO) <sup>2</sup> /Fe					x <sup>2</sup> (4 GL)
	n	nz	z	pz	p	
N	2,00	2,40	28,39	5,99	0,80	39,58 <sup>ns</sup>
P	0,80	0,71	1,30	2,40	0,02	5,24*
K	0,14	2,40	6,95	2,40	1,39	13,28 <sup>ns</sup>
Ca	0,14	2,40	14,69	5,99	0,43	23,66 <sup>ns</sup>
Mg	0,80	5,99	38,76	5,99	2,00	53,53 <sup>ns</sup>
S	0,80	4,61	25,30	7,54	0,43	38,68 <sup>ns</sup>
B	0,02	5,99	25,30	4,61	0,80	36,72 <sup>ns</sup>
Cu	0,43	9,27	14,69	0,43	0,80	25,63 <sup>ns</sup>
Fe	0,02	5,99	28,39	5,99	0,80	41,19 <sup>ns</sup>
Mn	0,14	2,40	5,47	1,56	1,39	10,96 <sup>ns</sup>
Zn	18,36	7,54	0,71	1,56	1,39	29,56 <sup>ns</sup>
x <sup>2</sup> (10 GL)	23,66 <sup>ns</sup>	49,70 <sup>ns</sup>	189,96 <sup>ns</sup>	44,46 <sup>ns</sup>	10,24 <sup>ns</sup>	-
x <sup>2</sup> (40 GL)	-	-	-	-	-	318,00 <sup>ns</sup>
Nutriente	Subpopulação de baixa produtividade (Fe-FO) <sup>2</sup> /Fe					x <sup>2</sup> (4 GL)
	n	nz	z	pz	p	
N	5,05	4,56	82,18	18,78	5,05	115,63 <sup>ns</sup>
P	6,91	20,73	30,81	1,58	9,47	69,51 <sup>ns</sup>
K	28,74	0,03	8,50	18,78	6,91	62,95 <sup>ns</sup>
Ca	0,63	1,58	33,30	13,50	5,05	54,07 <sup>ns</sup>
Mg	3,49	3,67	67,03	13,50	6,91	94,60 <sup>ns</sup>
S	0,63	0,03	14,39	9,09	3,49	27,63 <sup>ns</sup>
B	3,49	15,16	30,81	3,67	5,37	58,51 <sup>ns</sup>
Cu	0,00	15,16	21,83	4,56	5,37	46,93 <sup>ns</sup>
Fe	2,21	18,78	53,41	2,18	1,22	77,81 <sup>ns</sup>
Mn	21,16	5,55	0,08	16,92	37,47	81,18 <sup>ns</sup>
Zn	2,21	3,67	38,56	7,81	1,22	53,49 <sup>ns</sup>
x <sup>2</sup> (10 GL)	74,53 <sup>ns</sup>	88,93 <sup>ns</sup>	380,92 <sup>ns</sup>	110,38 <sup>ns</sup>	87,55 <sup>ns</sup>	-
x <sup>2</sup> (40 GL)	-	-	-	-	-	742,30 <sup>ns</sup>

PRA = Potencial de resposta à adubação; n = negativa, com alta probabilidade; nz = negativa, com baixa probabilidade; z = nula; pz = positiva, com baixa probabilidade; p = positiva, com alta probabilidade; FE = frequência esperada; FO = Frequência observada; GL = graus de liberdade; \* = significativo à 5%; ns = não significativo à 5%.

FONTE: O Autor. (2020).

### 3.3.1 Impacto na produtividade pelos índices nutricionais

O fósforo foi o nutriente mais limitante por carência apontado pelos índices dos métodos avaliados na subpopulação de baixa produtividade e pelo agrupamento de classes de resposta à adubação ( $p$  e  $pz$ ) das duas subpopulações, e sem qualquer amostra classificada como o P sendo um limitante por excesso para a subpopulação de baixa produtividade. Este nutriente é conhecido pelo seu baixo teor natural em solos tropicais visto que as rochas que originaram estes solos são pobres de P, sendo o principal nutriente limitador da produtividade de plantas (FAGERIA et al., 1997; SILVA et al., 2019). O intenso intemperismo promoveu a formação de minerais óxidos que tem afinidade com o fosfato, reduzindo ainda mais a oferta do nutriente à planta. E, embora o P tenha a sua concentração no solo, quantificadas pelas análises, interpretadas como alta, a concentração no solo não significa que a planta terá suas necessidades supridas, uma vez que pode ocorrer situações que mesmo com a oferta de nutriente a planta possa sofrer carência do nutriente.

Estudo realizado por Nowaki et al. (2017), mostrou que em áreas de tomateiro irrigado a resposta à doses de adubação com fósforo não implicou em aumento de produtividade, justificando que áreas que há maior disponibilidade hídrica às plantas tem as suas necessidades supridas com menores concentrações no solo, visto que a água auxilia na absorção dos nutrientes. Logo, sabendo que as áreas do presente tem baixa retenção de água, por serem intemperizados, com baixo teor de argila e matéria orgânica, e que pode ocorrer períodos de veranicos durante a safra reduzindo a oferta de chuvas, a deficiência de P pode estar ligada à fatores que dificultam a absorção de P pela planta, e não apenas pela disponibilidade ou não quantitativa do elemento no solo.

Na planta o P tem funções importantes como fotossíntese, divisão celular, constituinte de membranas e moléculas de armazenamento de energia como o ATP (DECHEN e NACHTIGALL, 2007). A deficiência de P pode ocasionar redução do número de plantas no estágio inicial da lavoura, redução do porte da planta pela redução de reserva energética e divisão celular, e aumento da taxa de flores abortadas (MARSCHNER, 1995), reduzindo o número de vagens viáveis da planta, que segundo Neto et al. (2011), é o principal componente de rendimento da cultura da soja. Por isso, em virtude da importância do P na planta, e da sua limitada disponibilidade nos

solos, aumentos de produtividades podem ser observados em resposta à adição de fertilizantes fosfatados.

Todos os micronutrientes avaliados foram classificados como carentes pelos índices diagnósticos, sendo o B o mais limitante seguido do Cu. De forma geral, os micronutrientes têm suas disponibilidades afetadas negativamente pela elevação do pH do solo (PRASAD et al., 2016). E tanto pelo método CND quanto pelo DRIS os micronutrientes foram classificados como limitantes por deficiência, pelo PRA, o nutriente Mn ficou entre os nutrientes mais limitantes por falta nas duas subpopulações.

A carência de B pode provocar inúmeras disfunções na planta reduzindo a sua produtividade. Dentre as mais conhecidas está na redução da fertilização das flores visto que o B tem papel importante na formação do tubo polínico (KHAYYAT et al., 2007). Redução no transporte de açúcares e alongamento das raízes também são observadas pela falta de B (Goldbach e Wimmer, 2007). A fixação de N pode ser perturbada, o que não foi observado no estudo visto que os níveis de N estão satisfatórios. O papel do B, segundo Bolaños et al. (2004), com organismos fixadores de N, é garantir a inativação da nitrogenase pelo oxigênio, criando um ambiente com baixo nível de O disponível para oxidação.

Com exceção do Mn e Fe, que normalmente são encontrados em quantidades acima do que é indicado como suficiente para a cultura da soja, os demais micronutrientes podem ter além de baixa quantidade no solo a sua limitação intensificada pelo pH que o solo da lavoura apresenta. A região do oeste baiano é conhecida por ser um polo de produção de algodão, cerca de 280 mil ha são cultivados anualmente (CONAB, 2020). Esta cultura exige o pH de solo mais elevado, acima de pH CaCl<sub>2</sub> 5,6 para alta produtividade (DOSS e LUND, 1975), enquanto a soja pode ter a sua produtividade reduzida quando o pH é acima de 5,8 (ROGOVSKA et al., 2007). Por conta do seu custo elevado de produção em comparação com a soja, o algodão é priorizado nas fazendas que cultivam ambas as culturas, e por consequência, a produtividade da soja pode ser penalizada. Dentre as lavouras observadas, foram identificadas cerca de 17% das amostras com pH próximo ou igual a 5,8.

Além das áreas que dividem e/ou rotacionam com cultura do algodão, a aplicação de calcário em excesso, principalmente em áreas de abertura, a incorporação inadequada (profundidade menor do que a esperada), a disponibilidade de água no solo na época da correção, entre outras situações que podem ocorrer

durante o manejo da calagem, também implicam na indisponibilidade desses nutrientes para a cultura. Estudos mais recentes, como o de Schenfert et al. (2020), indicaram que doses crescente de calcário não reduziram a produtividade da soja na região de cerrado, dando o indício que cultivares mais modernas podem ser mais tolerantes à elevação do pH, desde que haja nutriente disponível no solo em quantidade satisfatória para suprir a demanda da planta.

O Mn é considerado tóxico em solos tropicais por conta do pH natural dos solos (DECHEN et al., 1991). Por isso, quando as áreas são convertidas em lavouras e o pH aumentado para atender as demandas das culturas sua disponibilidade por ser reduzida. Mesmo quando há a disponibilidade de Mn para a planta, o antagonismo de outros elementos como Ca, Fe e Si podem causar uma deficiência relativa de Mn para as plantas (MARSCHNER, 1995), e o nutriente Ca foi o nutriente identificado com o maior excesso na subpopulação de baixa produtividade. Luke e Knezek (1972) e Tanaka et al. (1992), observaram deficiência de Mn quando a saturação por bases do solo estaria acima do limite superior para a soja de 70%, com os valores de Ca elevados. Segundo Oliveira Júnior et al. (2000) a aplicação via foliar de fertilizantes composto por Mn é eficaz para suprir as necessidades da planta quando a quantidade de Mn disponível é insuficiente para a cultura da soja.

Nas plantas o Mn atua como cofator em processos enzimáticos como piruvato carboxilase (DUCIC e POLLE, 2005). Também tem importante função na fotossíntese sendo responsável por acumular cargas positivas na reação do fotossistema II (MARSCHNER, 1995) e participa da assimilação de nitrato. Segundo Huber e Wilhelm (1988), níveis adequados de Mn reduzem a incidência de cretamento bacteriano causado por *Pseudomonas glycinean* na cultura da soja.

Deficiência de Cu quando não é elevada, pode ser negligenciada visto que seus sintomas visuais são discretos (NJOROGÉ et al., 2017). Relatado por Graham (1975), a deficiência cúprica causa esterilidade da parte masculina da flor, reduzindo o potencial produtivo da lavoura. Em áreas de cultivo sobre solo arenoso, com baixa capacidade de retenção de cátions pelo solo, deficiência de Zn e Cu são frequentes (ETENG et al., 2014).

Dentre os nutrientes apontados como excesso, Ca, Mg e S, normalmente são adicionados durante a correção de solo na forma de calcário ou gesso. Segundo Costa et al. (2015), os solos do cerrado são ácidos por natureza, pois o manejo das lavouras reduz o pH do solo. Pierce e Warncke (2000) concluíram que a soja respondeu

positivamente à elevação de pH a partir de 5,0 até 5,9, justificando o manejo da acidez do solo. O gesso agrícola, comumente aplicado em lavouras, tem cerca de 15% de S. Além do gesso, o S pode ser aplicado de outras formas como superfosfato simples (10%), sulfato de amônio (22%), o sulfato de potássio (15%), que são adubos usados para suprir outras demandas nutricionais, e por consequência adicionam S para a cultura.

As quantidades demandadas para o controle da acidez do solo, e as quantidades de adubos que contém Ca, Mg ou S na sua composição, comumente, excedem as exigências nutricionais da planta. A quantidade necessária para a produção (extração) de 1 t ha<sup>-1</sup> de grãos é de 31,5 kg de Ca, 12,2 kg de Mg e 15,4 kg de S (EMBRAPA, 2012). Porém, caso seja necessário a aplicação de Ca, em áreas que o pH está corrigido, o gesso é a melhor alternativa visto que este não altera o pH do solo (CARVALHO e NASCENTE, 2018).

Como os excessos apontados pelas normas CND e DRIS podem ser ocasionados por um excesso relativo com os outros nutrientes, e que a correção do perfil do solo implica no aumento da produtividade, reduzir a aplicação dos corretivos para diminuir os índices não é justificável. Porém, a aplicação de calcário reduz a absorção de micronutrientes, em especial Zn e Mn, como apresentado por Caires e Fonseca (2000). Estes autores afirmaram que a aplicação do calcário reduziu o Mn tóxico inicialmente e que as doses excessivas limitaram a disponibilidade deste para as plantas ocasionando deficiência. O presente estudo indicou deficiências desses nutrientes. Neste caso é plausível reavaliar a correção do solo com o intuito de identificar um ponto chave na correção do solo e disponibilidade dos nutrientes à planta, mitigando os impactos negativos à cultura.

A aplicação de N na cultura da soja não se faz necessária porque a fixação biológica por bactérias em simbiose com a leguminosa provém a quantidade necessária para o desenvolvimento da planta (EMBRAPA, 2000). Por isso o N ficou entre os nutrientes menos limitantes, por excesso ( $n_z + n$ ) e carência ( $p + p_z$ ), para as duas subpopulações pelo PRA. Na população de baixa produtividade o N apresentou excesso pelo dois métodos estudados, reforçando que a quantidade de N ofertado pela simbiose é mais do que suficiente para a cultura. Esta afirmação corrobora com Mendes et al. (2003) que não encontraram diferenças na produtividade em experimentos com soja inoculadas com bactérias fixadora e suplementação de doses de N oriundas de fertilizantes.

Os estudos de Mity et al. (2016) revelaram que índices nutricionais elevados de N proporcionaram aumento da severidade de bacteriose causada por *Xanthomonas axonopodis* pv. *Punicae* na cultura da romã (*Punica granatum* L.). Segundo Fetene (2019), teores elevados de N nas plantas podem aumentar a incidência e severidade de doenças por criar um microclima no dossel das plantas na lavoura pelo excesso de transpiração e maior crescimento vegetal que dificulta a ventilação deste local. Além do N, outro nutriente que tem relação com doenças é o K. Segundo Huber et al. (2012), teores reduzidos de K na folha aumentam a incidência de doenças fúngicas, especialmente as ferrugens. Porém, nas subpopulações de baixa produtividade não foram observados teores baixos de K, visto que segundo os dois métodos o K está em excesso, e o teores foliares médios estão dentro do intervalo indicado como suficiente para a cultura da soja.

Os valores positivos dos índices indicando excesso podem significar que as plantas de soja estão ociosas com o nutriente, e que o aumento de produtividade pode ter sua necessidade nitrogenada suprida sem a adição de fertilizantes. Visto que não é possível controlar a atividade das bactérias, e que elas são capazes de oferecer o nutriente em quantias maiores do que as exigidas pela cultura, a correção dos outros fatores limitantes pode aumentar a produtividade.

O K foi o nutriente identificado como o mais excessivo tanto pelo CND quanto pelo método DRIS na subpopulação de baixa produtividade. Este nutriente tem baixa disponibilidade em áreas de cerrado assim como o P. Logo, a forma de suprir as necessidades das plantas é através da adubação, que nestas amostras está sendo aplicada em quantidades excessivas. Na subpopulação de alta produtividade 29,2% das amostras foram classificadas como limitantes por carência, indicando divergência no diagnóstico das duas populações em relação a este nutriente. Isso mostrou que as áreas podem estar sendo manejadas de formas genéricas e semelhantes, não levando em conta as peculiaridades e limitações de cada área amostrada, onde a aplicação de K na subpopulação de baixa produtividade está em excesso, sendo possível reduzir a sua aplicação, e nas amostras de alta produtividade estão recebendo menos nutrientes do que a planta demanda. O redirecionamento do fertilizante potássico aplicado nas áreas que estão com excesso de K para as áreas carentes podem aumentar a produção sem alterar o custo total da propriedade.

O comportamento dos índices do potássio reforça a ideia de que a avaliação do estado nutricional de lavouras serve para mostrar que o manejo diferenciado das

lavouras, subdividindo-as em grupos semelhantes por excessos e/ou deficiências é uma maneira de aumentar a eficiência dos insumos.

### 3.4 NÍVEIS DE SUFICIÊNCIA NUTRICIONAL PROPOSTOS PELOS MÉTODOS

Novas faixas adequadas de suficiência para interpretação dos teores nutricionais puderam ser geradas a partir dos índices nutricionais obtidos pelos dois métodos avaliados. Correlacionando os teores foliares dos nutrientes avaliados com os seus respectivos índices foi estabelecida índices nulos de cada equação para determinar os valores críticos dos teores dos nutrientes na análise de tecido. Ou seja, o valor do índice nutricional ( $y=IN$ ) igual a zero, indicando o equilíbrio nutricional. Nas tabelas abaixo estão apresentadas as equações e seus respectivos níveis críticos calculados dos nutrientes avaliados pelo método CND (TABELA 11) e DRIS (TABELA 12).

TABELA 11 – EQUAÇÕES, R<sup>2</sup>, E NÍVEL CRÍTICO DOS NUTRIENTES PROPOSTOS A PARTIR DAS RELAÇÕES ENTRE OS TEORES DOS NUTRIENTES FOLIARES E SEUS RESPECTIVOS ÍNDICES NUTRICIONAIS CND.

Nutriente	Equação	R <sup>2</sup>	Nível Crítico
N	$IN = -0,0037(N)^2 + 0,4396(N) - 11,136$	0,60	36,6 g kg <sup>-1</sup>
P	$IP = -0,4035(P)^2 + 3,5448(P) - 6,3084$	0,86	2,5 g kg <sup>-1</sup>
K	$IK = -0,0039(K)^2 + 0,3682(K) - 4,569$	0,85	14,7 g kg <sup>-1</sup>
Ca	$ICa = -0,0733(Ca)^2 + 1,777(Ca) - 8,7789$	0,76	6,9 g kg <sup>-1</sup>
Mg	$IMg = -0,6285(Mg)^2 + 6,2647(Mg) - 13,387$	0,63	3,1 g kg <sup>-1</sup>
S	$IS = -0,4544(S)^2 + 3,6013(S) - 4,76,39$	0,89	1,7 g kg <sup>-1</sup>
B	$IB = -0,0004(B)^2 + 0,126(B) - 4,6774$	0,79	43,0 mg kg <sup>-1</sup>
Cu	$ICu = -0,0027(Cu)^2 + 0,2172(Cu) - 1,8177$	0,93	9,5 mg kg <sup>-1</sup>
Fe	$IFe = -0,0001(Fe)^2 + 0,0649(Fe) - 5,218$	0,78	94,0 mg kg <sup>-1</sup>
Mn	$IMn = -0,0007(Mn)^2 + 0,1419(Mn) - 4,2406$	0,95	36,4 mg kg <sup>-1</sup>
Zn	$Izn = -0,0001(Zn)^2 + 0,0354(Zn) - 2,0857$	0,96	74,7 mg kg <sup>-1</sup>

FONTE: O Autor (2020).

Todos os nutrientes avaliados por ambas metodologias tiveram forte correlação de Pearson (>0,7) entre os teores e seus índices, sendo o N o nutriente com menor coeficiente de determinação e o Zn tanto pelo CND quanto DRIS.

TABELA 12 - EQUAÇÕES, R<sup>2</sup>, E NÍVEL CRÍTICO DOS NUTRIENTES PROPOSTOS A PARTIR DAS RELAÇÕES ENTRE OS TEORES DOS NUTRIENTES FOLIARES E SEUS RESPECTIVOS ÍNDICES NUTRICIONAIS DRIS.

Nutriente	Equação	R <sup>2</sup>	Nível Crítico
N	$IN = -0,0015(N)^2 + 0,1978(N) - 5,1292$	0,60	35,5 g kg <sup>-1</sup>
P	$IP = -0,3146(P)^2 + 2,7357(P) - 4,893$	0,90	2,5 g kg <sup>-1</sup>
K	$IK = -0,0026(K)^2 + 0,2495(K) - 3,092$	0,85	14,6 g kg <sup>-1</sup>
Ca	$ICa = -0,0393(Ca)^2 + 1,021(Ca) - 5,204$	0,80	7,0 g kg <sup>-1</sup>
Mg	$IMg = -0,2804(Mg)^2 + 2,94(Mg) - 6,4398$	0,64	3,1 g kg <sup>-1</sup>
S	$IS = -0,3201(S)^2 + 2,5776(S) - 3,459$	0,90	1,7 g kg <sup>-1</sup>
B	$IB = -0,0003(B)^2 + 0,0977(B) - 3,5869$	0,85	42,2 mg kg <sup>-1</sup>
Cu	$ICu = -0,0025(Cu)^2 + 0,2078(Cu) - 1,7431$	0,91	9,5 mg kg <sup>-1</sup>
Fe	$IFe = -0,00009(Fe)^2 + 0,0467(Fe) - 3,727$	0,85	98,5 mg kg <sup>-1</sup>
Mn	$IMn = -0,0005(Mn)^2 + 0,1119(Mn) - 3,3424$	0,94	35,5 mg kg <sup>-1</sup>
Zn	$Izn = -0,00008(Zn)^2 + 0,033(Zn) - 1,9523$	0,96	71,6 mg kg <sup>-1</sup>

FONTE: O Autor (2020).

Adicionando  $\pm 2/3$  do desvio padrão dos teores ao nível crítico foram determinadas as faixas de suficiência dos nutrientes para interpretação de análises de tecido vegetal de soja para o oeste da Bahia (TABELA 13 e TABELA 14). Esses valores são apresentados e comparados com os valores de interpretação propostos por Kurihara et al. (2008) e por Urano et al. (2007) que avaliaram o estado nutricional da soja. Estes autores também utilizaram a folha com pecíolo em suas coletas, realizadas nos estados do Mato Grosso do Sul e Mato Grosso, que assim como a Bahia estão localizados na região do cerrado brasileiro, tendo algumas semelhanças edafoclimáticas. Os valores de suficiência apresentados por Kurihara et al (2008) são usados nos manuais de interpretação de análises foliares de soja pela EMBRAPA.

TABELA 13 – FAIXA DE SUFICIÊNCIA DE MACRONUTRIENTES EM FOLHAS DE SOJA COM PECÍOLO, COM PECÍOLO, ESTABELECIDAS PELOS MÉTODOS CND E DRIS E FAIXAS DE SUFICIÊNCIA PROPOSTAS POR DIFERENTES AUTORES.

Fontes	N	P	K	Ca	Mg	S
g kg <sup>-1</sup>						
CND-Soja	33,2 - 40,1	2,1 - 2,9	11,7 - 17,7	5,8 - 8,0	2,8 - 3,4	1,3 - 2,1
DRIS-Soja	32,0 - 38,9	2,1 - 2,9	11,6 - 17,6	5,9 - 8,1	2,8 - 3,4	1,3 - 2,1
Kurihara (2008)	36,8 - 46,9	2,3 - 3,4	17,3 - 25,7	6,8 - 11,8	2,9 - 4,7	2,1 - 3,0
Urano-DRIS (2007)	37,0 - 44,2	2,8 - 3,2	21,1 - 25,2	10,1 - 13,2	2,6 - 3,8	2,0 - 2,7
Urano-CND (2007)	37,0 - 44,2	2,8 - 3,2	21,1 - 25,2	10,1 - 13,1	2,6 - 3,8	2,0 - 2,7

FONTE: O Autor (2020).

TABELA 14 – FAIXAS DE SUFICIÊNCIA DE MICRONUTRIENTES EM FOLHAS DE SOJA COM PECÍOLO, COM PECÍOLO, ESTABELECIDAS PELOS MÉTODOS CND E DRIS E FAIXAS DE SUFICIÊNCIA PROPOSTAS POR DIFERETNES AUTORES.

Fontes	B	Cu	Fe	Mn	Zn
mg kg <sup>-1</sup>					
CND-Soja	36,8 - 49,1	2,0 - 16,9	76,8 - 111,2	17,4 - 55,4	43,2 - 106,1
DRIS-Soja	36,1 - 48,4	2,1 - 17,0	81,3 - 115,7	16,5 - 54,5	40,1 - 103,0
Kurihara (2008)	33,0 - 50,0	6,0 - 11,0	59,0 - 120	28,0 - 75,0	31,0 - 58,0
Urano-DRIS (2007)	38,0 - 47,4	7,4 - 11,4	75,6 - 104,5	44,7 - 69,6	43,6 - 69,9
Urano-CND (2007)	38,0 - 47,4	7,4 - 11,3	75,7 - 104,4	45,0 - 69,4	43,8 - 72,5

FONTE: O Autor (2020).

Os valores indicados pelos métodos CND e DRIS para a interpretação de análises foliares de soja com pecíolo foram semelhantes para todos os nutrientes, com exceção do Fe que para o CND o intervalo foi ligeiramente deslocado para baixo e para o Zn que foi deslocado para cima, quando comparado com os valores propostos pelo DRIS. Para o nutriente N, os valores do presente trabalho tiveram a faixa de suficiência de aproximadamente 7 g.kg<sup>-1</sup> como proposto pelos outros autores, porém seus limites foram menores, variando de 32,0 até 40,1 g.kg<sup>-1</sup> enquanto para os demais autores foi de 36,8 até 46,9 g.kg<sup>-1</sup>. É notável que para todos os nutrientes, exceto o Cu e Zn, os intervalos de suficiência foram menores do que os propostos por Kurihara et al. (2008), dando maior precisão nos resultados e nas tomadas de decisão para o manejo das lavouras de soja da região avaliada. Os dados de Urano et al. (2007) geraram intervalos de CND e DRIS iguais entre si, o que mostra que apesar de metodologias diferentes os diagnósticos são semelhantes.

Todos os macronutrientes do presente estudo tiveram seu intervalo reduzido quando comparados aos demais autores. B, Cu e Fe tiveram faixas de suficiência

maiores quando comparadas com as faixas propostas por Urano et al. (2007). O Cu variou de 2 até 17 mg.kg<sup>-1</sup> indicando que a quantidade encontrada nas plantas foi bastante elástica, e que maiores coeficiente de variação encontrados no banco de dados para o estabelecimento de faixas de suficiência acarretam faixas mais amplas, como falado por Partelli et al. (2006). Essa amplitude nas faixas de suficiência pode indicar que as plantas com baixo teor podem gerar elevadas produtividades por serem eficientes na absorção e uso deste nutriente.

### 3.5 VALIDAÇÃO DAS METODOLOGIAS AVALIADAS

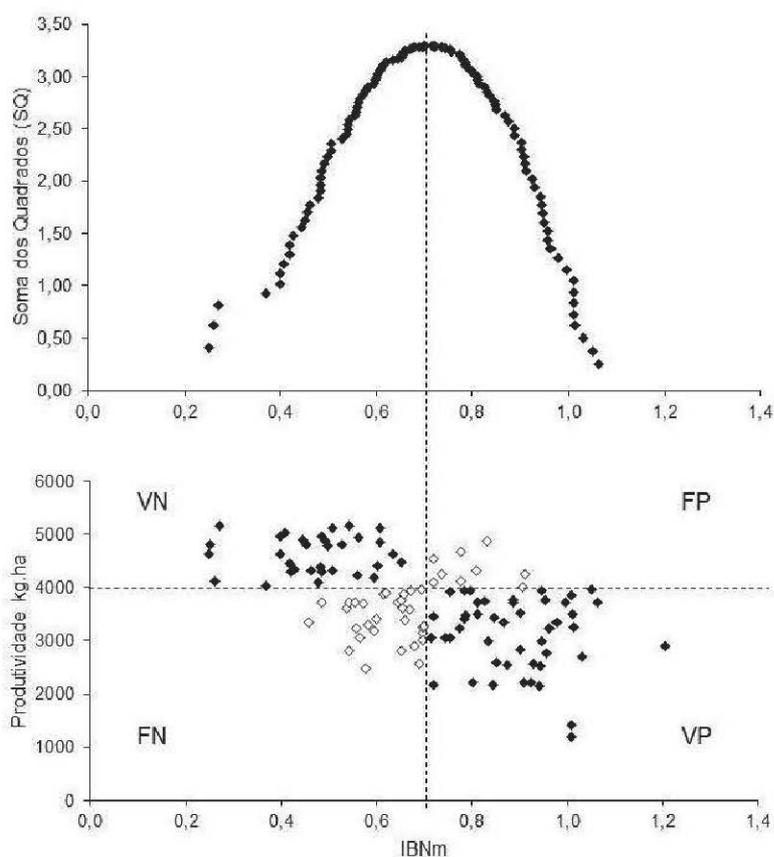
Foi aplicado o procedimento Cate-Nelson para avaliar a acurácia, especificidade e sensibilidade (CATE e NELSON, 1971) dos dois métodos empregados para determinar o estado nutricional da soja, visto que tanto o CND quanto o DRIS tiveram seus índices com a produtividade correlacionados significativamente. Nas FIGURAS 10 e 11 estão apresentadas as relações entre produtividade e os índices CND e DRIS, formando quatro quadrantes que foram divididos pelo ponto crítico dos índices (DRIS = 0,7 e CND = 17,94), que é o maior valor da SQ dos índices, e a produtividade, de 3972 kg.ha<sup>-1</sup>, que separam o banco de dados em alto e baixo rendimento.

Os valores que compuseram os quadrantes VN, FN, FP e VP, para o método DRIS, foram 32 (27,4%); 30 (25,6%); 9 (7,7%) e 46 (39,3%), respectivamente. A partir desses valores foram calculados os valores de acurácia, sensibilidade e especificidade do método DRIS, que foram 66,7%; 60,5% e 78%, respectivamente. Para o método CND, os valores dos quadrantes VN, FN, FP e VP foram 34 (29,1%); 35 (29,9%); 7 (6,0%) e VP 41 (35%), respectivamente. Gerando os valores de acurácia de 64,1%, sensibilidade de 53,9 % e especificidade de 82,9%.

As amostras categorizadas no quadrante FP podem ter sido classificadas erroneamente como desequilibradas ou pode estar ocorrendo alta eficiência no uso dos nutrientes pelas plantas. Em ambos os métodos o número de amostra deste quadrante foi semelhante, e por consequência, a quantidade de amostras classificadas como alta produtividade e equilibradas, índices menores que o níveis críticos, foram semelhantes também. Cerca de  $\frac{1}{3}$  das amostras formaram o quadrante FN pelos dois métodos avaliados, indicando estão nutricionalmente

balanceadas, porém, limitadas por outros fatores que não sejam nutricionais. Nestas áreas, assim como nas áreas do quadrante VN, o manejo da adubação e fertilidade do solo estão melhores do que nas áreas amostradas que compõem os quadrantes FP e VP.

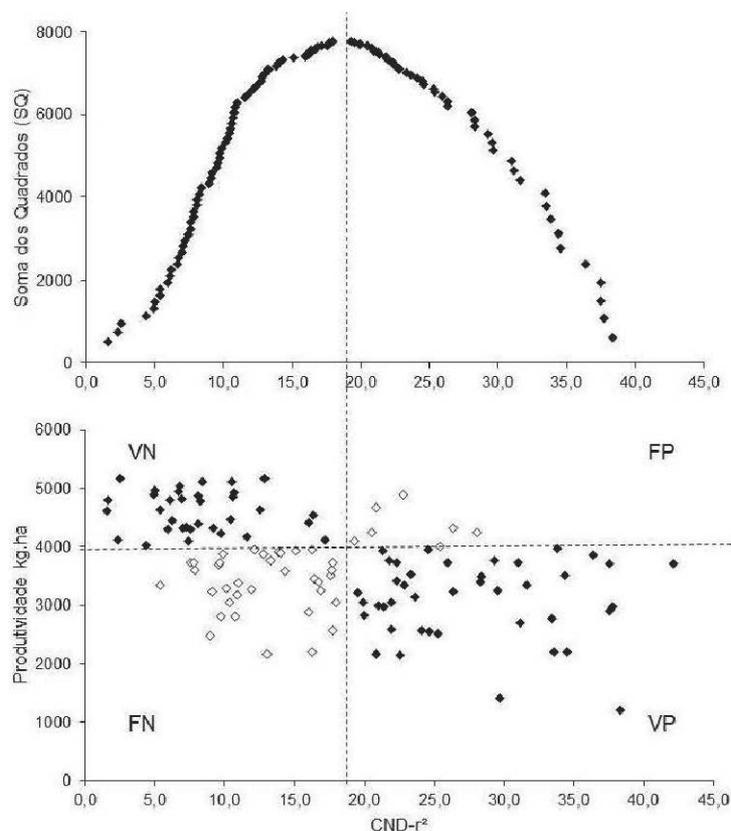
FIGURA 10 – PARTICIONAMENTO CATE-NELSON PARA AS RELAÇÕES ENTRE OS ÍNDICES IBNm E A PRODUTIVIDADE DO BANCO DE DADOS DE AMOSTRAS DE SOJA (n = 117).



FONTE: O Autor (2020).

As amostras agrupadas no quadrante VP são aquelas cuja produtividade está sendo influenciada negativamente pelo desbalanço nutricional, ou, pelo desbalanço e outros fatores que impactam na produtividade da planta. Há também a possibilidade de as amostras deste quadrante estarem erroneamente categorizadas como balanceadas nutricionalmente.

FIGURA 11 – PARTICIONAMENTO CATE-NELSON PARA AS RELAÇÕES ENTRE OS ÍNDICES CND- $r^2$  E A PRODUTIVIDADE DO BANCO DE DADOS DE AMOSTRAS DE SOJA ( $n = 117$ ).



FONTE: O Autor (2020).

O particionamento acima também pode ser usado para embasar tomadas de decisões em relação aos manejos da área. Dessa forma, assim como a separação das áreas em função dos índices individuais de cada nutriente, excesso ou carente, e seu possível potencial de resposta à adubação, esquematizar as áreas separando-as em função do balanço nutricional e produtividade, como no particionamento Cate-Nelson, é uma maneira de racionar e direcionar os insumos empregados nas lavouras de soja da região estudada.

Os valores de sensibilidade de 60,5% e acurácias de 66,7% obtidos pelo método DRIS foram maiores que os do método CND, sensibilidade de 53,9% e acurácia de 64,1%. Logo, o método DRIS, segundo o particionamento Cate-Nelson, demonstrou-se um método mais preciso. Assim como na relação entre a produtividade e os índices diagnósticos, o CND foi superado, modestamente, pelo DRIS. Os valores de acurácia do presente estudo, tanto pelo CND quanto DRIS, foram inferiores o valor de acurácia obtido para o tomateiro de 81% (NOWAKI et al., 2017), e de 92% para

mangueira (PARENT et al., 2013b). Porém, superior ao encontrado para a cultura da atemoia por Santos (2016), de 58% e 54%, dos métodos CND e DRIS, respectivamente.

#### 4 CONCLUSÃO

Ambos os métodos avaliados obtiveram diagnósticos nutricionais similares, porém o método CND foi mais sensível para identificar desbalanço nutricional que o DRIS;

O tratamento do banco de dados teve mais impacto no diagnóstico final do que a escolha do de avaliação do estado nutricional da soja;

As ordens de nutrientes classificados como carentes pelos métodos CND e DRIS, para a subpopulação de baixa produtividade foram  $P > B > Cu > Fe > Zn$  e Mn;

A ordem de nutrientes classificados como excesso para a subpopulação de baixa produtividade pelo método CND foi  $K > Ca > S > Mg > N$  e pelo método DRIS  $K > Ca > S > N > Mg$ ;

O PRA foi ineficiente para recomendar fertilização de qualquer nutriente em ambas as subpopulações avaliadas;

As faixas obtidas pelas normas CND e DRIS foram semelhantes entre si e alterados em relação a maioria dos intervalos das literaturas consultadas, sendo que os nutrientes K, Ca, S e Mn que tiveram seus limites máximos e mínimos reduzidos e os nutrientes Cu, Fe e Zn tiveram seus limites aumentados;

A metodologia CND teve os valores de acurácia, sensibilidade e especificidade menores que o DRIS, porém a predição de valores negativos e positivos (VPN e VPP) foram maiores. Logo, o método DRIS é mais preciso para as áreas de soja amostradas no oeste baiano, que o CND.

## REFERÊNCIAS

AITCHISON, J. The Statistical Analysis of Compositional Data. **Journal of the Royal Statistical Society**, v.44, p.139-177.1982.

ALAM, M. A.; SIDDIQUA, A.; CHOWDHURY, M. A. H.; PRODHAN, M. Y. Nodulation, yield and quality of soybeans as influenced by integrated nutrient management. **Journal of the Bangladesh Agricultural University**, v. 7, n. 2, p. 229-234. 2009.

ALI, A. M.; IBRAHIM, S. M.; SAYED, A. S. A. Evaluation of Nutritional Balance in Wheat Using Compositional Nutrient Diagnosis Model in Sahl El-Tina, Egypt. **Alexandria Science Exchange Journal**, v. 37, n. 4, p. 581-592. 2016.

ALMEIDA, L. A.; AFONSO, R.; KIIHL D. S.; ALBINO, M.; MIRAND, C.; JESUS, G.; CAMPELO, D. A. Melhoramento da soja para regiões de baixas latitudes. In: Queiróz, M. A.; Goe Dert, C. O.; Ramos, S. R. R. Editores. **Melhoramento de plantas para o nordeste brasileiro**. Petrolina, Embrapa Semi-árido, 1999 p. 15.

AMORIM, D. A.; ROZANE, D. E.; SOUZA, H.; MODESTO, V. C.; NATALE, W. Adubação nitrogenada e potássica em goiabeiras 'Paluma': I. Efeito na produtividade e na qualidade dos frutos para industrialização. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, p. 201-209. 2015.

BARLÓG, P.; GRZEBISZ, W.; BLASZYK, R. Compositional nutrient diagnosis in sugar beet with sodium supplementation. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 63, n. 6, p. 856-869. 2016.

BARTH, G.; FRANCISCO, E.; SUYAMA, J. T.; GARCIA, F. Nutrient Uptake Illustrated for Modern High-Yielding Soybean. **Better Crops**, v. 102, p. 102-114. 2018.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLAN, P. R.; GALLO, J. R. **Métodos de análises químicas de plantas**, n. 78. Campinas: Instituto Agrônomo; 1983. Boletim Técnico.

BATAGLIA, O. C.; SANTO, W. R.; Efeito do procedimento de cálculo e da população de referência nos índices do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p. 339-344, 1990.

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

BEAUFILS, E. R. **Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS): A general scheme for experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition**. Pietermaritzburg: University of Natal, Soil Science; 1973.

BEVERLY, R. B. Comparison of DRIS and alternative nutrient diagnostic methods for soybean. **Journal of Plant Nutrition**. New York, v. 10, p. 901-920. 1987a.

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

BEVERLY, R. B.; HALLMALK, W. B. Prescient diagnostic analysis: a proposed new approach to evaluating plant nutrient diagnostic methods. **Communications in Soil Science & Plant Analysis**, v. 23, p. 2633-2640. 1992.

BOLAÑOS, L.; REDONDO-NIETO, M.; RIVILLA, R.; BREWIN, N. J.; BONILLA, I. Cell surface interactions of Rhizobium bacterioids and other bacterial strains with symbiosomal and peribacteroid membrane components from pea nodules. **Molecular Plant Microbe Interact**, v. 17, p. 216-223. 2004.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F. Absorção de nutrientes pela soja no sistema de plantio direto em função da calagem na superfície. **Bragantia**, v. 59, n. 20, p. 213-220. 2000.

CARVALHO, M. D. C. S.; NASCENTE, A. S. Application of lime, phosphogypsum and fertilizations rates affect soil fertility and common bean development in no-tillage system in a Cerrado oxysol. **Acta Scientiarum**, v. 40, n. 1. 2018.

COIMBRA, J. L. M.; BENIN, G.; VIEIRA, E. A.; OLIVEIRA, A. C.; CARVALHO, F. I. F.; GUIDOLIN, A. F.; SOARES, A. P. Consequências da multicolinearidade sobre a análise de trilha em canola. **Ciência Rural**, v. 37, n. 2, p. 347-352. 2005.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. Portal de informações agropecuárias. 2020. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/index.php/safra-evolucao-dashboard>. Acessado em 29/01/2020b.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Observatório Agrícola. Acompanhamento da safra brasileira**. v.7, safra 2019/2020. 2020a.

COSTA LEITE, R.; CARNEIRO, J. S. S.; FREITAS, G. A.; CASALI, M. L.; SILVA, R. R. Adubação fosfatada da soja durante três safras consecutivas na nova fronteira agrícola brasileira. **Scientia Agraria**, v. 18, n. 4 p. 28-35. 2017.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; DE ARAUJO, N.; COSTA, B. S.; PARIZ, C. M.; CAVASANO, F. A.; FILHO, M. C. M. T. Produtividade da soja sobre palhada de forrageiras semeadas em diferentes épocas e alterações químicas no solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 10, n. 2, p. 8-16. 2015.

DANCEY, C. REIDY, J. **Estatística sem matemática para psicologia: Usando SPSS para Windows**. Porto Alegre: Artme; 2006.

DECHEN, A. R.; HAAG, H. P.; CARMELLO, Q. A. C. Função dos micronutrientes nas plantas. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. (Ed.). **Micronutrientes na Agricultura**. Piracicaba: Potafos/CNPq, p. 65-75. 1991.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos Requeridos à Nutrição de Plantas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2007. 1ed. p. 91-132.

DEZORDI, L. R.; AQUINO, L. A.; AQUINO, R. F. B. A.; CLEMENTE, J. M.; ASSUNÇÃO, N. S. Diagnostic methods to asses the nutritional status of the crop carrot. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p. 1-16. 2016.

DIAS, J. R. M.; WADT, P. G. S.; TUCCI, C. A. F.; SANTOS, J. Z. L.; SILVA, S. V. Normas DRIS multivariadas para a avaliação do estado nutricional de laranja 'Pera' no estado do Amazonas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, p. 251-259. 2013.

DOSS, B. D.; LUND, Z. F. Subsoil pH Effects on Growth and Yield of Cotton. **Agronomy Journal**, v. 67, n. 2, p. 193-196. 1975.

DUCIC, T.; POLLE, A. Transport and detoxification of manganese and copper in plants. **Plant Physiology**, v. 17, n. 1, p. 103-112. 2005.

ECK, H. V.; MATHERS, A. C.; MUSICK, J. T. Plant water stress at various growth stage and growth and yield of soybeans. **Field Crops Research**, v. 17, p. 1-16, 1987.

EMBRAPA. **Métodos de análises de tecidos vegetais utilizados na Embrapa solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2000. Circular técnica n 6.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa, 2013.

EMBRAPA. **Guia Prático para Interpretação de Resultados de Análise de Solo**. Aracaju: Embrapa. 2015.

EMBRAPA. **Diagnose do estado nutricional de soja, algodoeiro pelos métodos das faixas de suficiência e DRIS, em Mato Grosso do Sul e Mato Grosso**. Dourados: EMBRAPA, 2014. Circular técnica 29.

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. 1984.

ETENG, E. K.; ASAWALAM, D. O.; ANO, A. O.; Effect of Cu and Zn on maize (*Zea mays* L.) yield and nutrient uptake in coastal plain sand derived soils of southeastern Nigeria. **Open Journal of Soil Science**, v. 4, p. 235-245. 2014.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. **Growth and Mineral Nutrition of Crop Plants**. Marcel Dekker, New York, 1997.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Embrapa Soja. Londrina, 2007. Circular técnica.

- FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University, 1997. Circular técnica.
- FETENE, D. Y. Review of the Rive Blast Diseases (*Pyricularia Oryzoa*) Response to Nitrogen and Silicon Fertilizers. **International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences**, v. 5, n. 5, p. 37-44. 2019.
- FIRMANO, R. S.; KUWAHARA, F. A.; SOUZA, G. M. Relação entre adubação fosfatada e deficiência hídrica em soja. *Ciência Rural*, v. 39, n.7, p. 1967-1973. 2009.
- FISHER, P. PÖTHING, R. VENOHR, M. The degree of phosphorus saturation of agricultural soils in Germany: Current and future risk of diffuse P loss and implications for soil P management in Europe. **Science of the Total Environment**, v. 599, p. 1130-1139. 2017.
- GERALDSON, C. M.; KLACAN, G. R.; LORENS, O. A. Plant analysis as an aid in fertilizing vegetable crops. In: WALSH, L. M.; BEATON, J. D. (Eds.). **Soil testing and plant analysis**. Madison: Soil Science Society of America, p. 365-379. 1973.
- GOTT, R. M.; AQUINO, L. A.; CLEMENTE, J. M.; SANTOS dos, L. P. D.; CARVALHO, A. M. X.; XAVIER, F. O. Foliar Diagnosis Indexes for Corn by Methods Diagnosis and recommendation Integrated System (DRIS) and Nutritional Composition (CND). **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.48, n. 1, p. 11-19. 2016.
- GOLDBACH, H. E.; WIMMER, M. Boron in plants and animals: Is there a role beyond cell-wall structure? **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 170, p. 39-48. 2007.
- GRAHAM, R. D. Male Sterility in wheat plants deficient in copper. **Nature**, v. 254, p. 514-515. 1975.
- HAIR, J. F.; TATHAM, F.; RONALD, L.; ANDERSON, R. E.; ROLPH, E.; BLACK, W. *Análise multivariada de dados*, 5ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 593p.
- HARGER, N.; FIORETTO, R.; RALISCH, R. Avaliação nutricional da cultura da soja pelos métodos DRIS e níveis de suficiência. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 24, n. 2, p. 219-224. 2003.
- HERNANDES, A.; PARENT, S. E.; NATALE, W.; PARENT, L. E. Balancing guava nutrition with liming and fertilization. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, p. 1224-1234. 2012.
- HOLLAND, D. A. The interpretation of leaf analysis. **Journal of Horticultural Sciences**, v. 41, p. 311-329. 1966.
- HOOGERHEIDE, H. C. **DRIS para avaliação do estado nutricional da soja em duas regiões do cerrado brasileiro**. 2005. 94f. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz' - ESALQ-USP, Piracicaba (SP)..

HOOGERHEIDE, E. S. S.; VENCOVSKY, R.; FARIAS, F. J. C.; FREIRE, E. C.; ARANTES, E. M. Correlações e análises de trilha de caracteres tecnológicos e a produtividade da fibra de algodão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1401-1405. 2007.

HUBER, D. M.; WILHELM, N. S. The Role of Manganese in Disease Resistance. In: GRAHAM, R.D.; HANNAM, R. J.; UREN, N. C (Ed.). **Manganese in Soils and Plants**. Eds. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 1988.

HUBER, D.; VOLKER, R.; WEINMANN, M. Relationship between Susceptibility and Nutritional Status of Plants. In: MARSCHNER, P (Ed.). **Mineral Nutrition of Higher Plants**. Waltham: Elsevier. 2012.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS - INEMA. 2014. Disponível em: [http://www.inema.ba.gov.br/wp-content/files/MTematico\\_solos.pdf](http://www.inema.ba.gov.br/wp-content/files/MTematico_solos.pdf). Acessado em: 30 jan. 2020.

KEMP, A. The Effects of Fertilizer Treatment of Grassland on the Biological Availability of Magnesium to Ruminants. In: FONTENOT, J. P.; BUNCE, G. E.; WEBB, K. E. J; ALLEN, V. G. (Ed.). **Role of Magnesium in Animal Nutrition**. Blacksburg:VPISU, 1983. p. 143-157.

KENWORTHY, A. L. Plant analysis and interpretation of analysis for horticultural crops. In: STELLY, M.; HAMILTON, H (Eds.). **Soil Testing and plant analysis. Part II: Plant Analysis**. Madison: Soil Science Society of America, p. 59-75. 1967.

KHAYYAT, M.; TAFAZOLI, E; ESHGHI, S.; RAJACE, C. Effect of nitrogen, boron, potassium and zinc sprays on yield and fruit quality of date palm. **American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 2, p. 289-296. 2007.

KHIARI, L. PARENT, L. E.; TREMBLAY, N. Critical compositional nutrient indexes for sweet corn at early growth stage. **Agronomy Journal**, v. 93.4, p. 809-814. 2001.

KHIARI, L.; PARENT, L. E.; TREMBLAY, N. The phosphorus compositional nutrient diagnosis range for potato. **Agronomy Journal**. 2001b; 93: 815-819.  
KRISHNAN, H. B. Engineering soybean for enhanced sulfur amino acid content. **Crop Science**, v. 45, p. 454-461. 2005.

KURIHARA, C. H. Demanda de nutrientes pela soja e diagnose de seu estado nutricional. 2004. 101f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal da Viçosa, Viçosa (MG), 2004

KURIHARA, C. H. STAUT, L. A. MAEDA, S. Faixas de suficiência para teores foliares de nutrientes em algodão e soja definidas pelo uso do métodos DRIS de diagnosa do estado nutricional. In: **FERTBIO**, 2008, Londrina. Anais. 2008.

KURIHARA, C. H.; VENEGAS, V. H. A.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F. de.; STAUT, L.A. Faixas de suficiência para teores foliares de nutrientes em algodão e em soja, definidas em função de índices DRIS. **Revista Ceres**, v. 60, p. 412-419. 2013.

LAGATU, H.; MAUME, L. Le diagsonitic foliaire de la pomme de terre. **Ann. Ecology Nature Agriculture**, v. 22, p. 50-158. 1934a.

LAGATU, H.; MAUME, L. Recherches sur lê diagnostic foliaire. **Ann. Ecology Nature Agriculture**, v. 22, p. 257-306. 1934b.

LEANDRO, W. M. Sistema Integrado de diagnose e comendação (DRIS) para a cultura da soja (*Glycine max* L. Merrill) na região de Rio Verde-Go. 1998. 190f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia (GO), 1998.

LEITE, R. A. Avaliação do estado nutricional do cafeeiro conilon no estado do Espírito Santo utilizando diferentes métodos de interpretação de análise foliar. Tese (Doutorado em Agronomia). 1993. 83f. Universidade Federal de Viçosa – UFV. Viçosa, 1993.

LETZSCH, W.S.; SUMNER, M. E. Effect of population size and yield level in selection of Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) norms. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 5, p. 997-1006. 1984.

LONERAGAN J. F.; WEBB, M. J. Interactions between Zinc and Other Nutrientes Affecting the Growth of Plants. In: ROBSON, A. D(Ed.). **Zinc in Soil and Plants**.Perth: Kluwer Academic Publishers. 1993.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Fertilidade do solo e produtividade Agrícola. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.). **Fertilidade do Solo**. 2017p. Viçosa: Sociedade Brasileira do Solo. 2007.

LUCAS, R. E.; Knezek, B. D. Climatic and soil conditions promoting micronutrient deficiencies in plants. In: MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P. M.; LINDSAY, W. L (Ed.). **Micronutrientes in Agriculture**. Madison: Soil Sci. Soc. Am., 1972. p. 265-288.

MAITY, A.; SHARMA, J.; SARKAR, A.; MORE, A. K.; PAL, R. K. Nutrient imbalance indices are closely related with susceptibility of pomegranate to bacterial blight disease. **Scientia Horticulturae**, v. 211, p. 79-86, 2016.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: Princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafós. 1997.

MALAVOLTA E. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres. 2006.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. London: Academic Press, 1995.

MARTINS, A. P. L.; REISSMANN, C. B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico-analíticos. **Scientia Agraria**, v. 8, p1-17. 2007.

MATTHEY, H.; FABIOSA, J. F.; FULLER, F. H.; **Brazil: The future of modern agriculture?** Des Mones: Iowa State University. 2004. Relatório Técnico.

MELO, G. W. B.; ZALAMENA, J.; BRUNETTO, G.; CERETTA, C. A. **Calagem, adubação e contaminação de solos cultivados com videiras**. EMBRAPA. Bento Gonçalves. 2016, p. 44-56.

MENDES, I. C.; HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T. Soybean Response to Starter Nitrogen and *Bradyrhizobium* Inoculation on a Cerrado Oxisol under No-Tillage and Conventional Tillage Systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 81-87. 2003.

MOSTASHARI, M.; KHOSRAVINEJAD, A.; GOLMOHAMMADI, M. Comparative Study of DOP and CND Methods for Leaf Nutritional Diagnosis of *Vitis Vibifera* in Iran. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.48, n. 5, p. 576-584. 2018.

NETO, F. A.; GRAVINA, G. A.; MONTEIRO, M. M. S.; MORAIS, F. B.; PETTER, F. A.; ALBUQUERQUE, J. A. A. Análise de trilha de rendimento de grãos de soja na microrregião do Alto Médio Gurgueia. **Comunicata Scientiae**, v. 2 n. 2, p107-112. 2011.

NELSON, L. A.; ANDERSON, R. L. Partitioning of soil test-crop response probability. In: PECK, T. R., COPE-JUNIOR, J. T., WHITNEY, D. A. (Ed). **Soil testing: correlating and interpreting the analytical results**. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, p19-38,1997.

NJOROGE, R.; OTINGA, A. N.; OKALEBO, J. R.; PEPELA, M. MERCKX, R. Occurrence of poorly responsive soils in western Kenya and associated nutrient imbalances in maize (*Zea mays* L.). **Field Crops Research**, v. 210, p 162-174. 2017.

NOWAKI, R. H. D.; PARENT, S. E.; FILHO, A. B. C.; ROZANE, D. E.; MENESES, N. B.; SILVA, J. A. S.; NATALE, W.; PARENT, L. E. Phosphorus Over-Fertilization and Nutrient Misbalance of Irrigated Tomato Crop in Brazil. **Frontiers in Plant Science**, V. 6. 2017.

OLIVEIRA, F. A.; SILVA, J. J. S.; VILELA, L.; SOUSA, M. G. Doses e métodos de aplicação de potássio em solo dos cerrados da Bahia. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 27, n. 11, p.1485-1495. 1992.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. A.; MALAVOLTA, E.; CABRAL, C. P. efeitos do Manganês sobre a soja cultivada em solo de cerrado do triângulo mineiro. **Pesquisa Agropecuária brasileira**, v. 35, n. 8, p. 1629-1636. 2000.

PARENT, L. É.; DAFIR, M. A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. **Journal Of The American Society For Horticulture Science**, v. 117, p. 239-242. 1992.

- PARENT, L. E.; ISFAN, D.; TREMLAY, N.; KARAM, A. Multivariate Nutrient Diagnosis of the carrot Crop. **Journal Of The American Society For Horticulture Science**, v. 119, p. 420-426. 1994a.
- PARENT, L. E.; CAMBOURIS, A. N.; MUHAWENIMANA, A. Multivariate Diagnosis of Nutrient Imbalance in Potato Crops. **Soil Science Society of America journal**, v. 58, p. 1432-1438. 1994b.
- PARENT, L. E.; NATALE, W. CND: Vantagens e benefícios em culturas de alta produtividade. In : PRADO, R. de M.; ROZANE, D. E.; VALE, D. W. do.; CORREIA, M. A. R.; SOUZA, H. A. de (Ed.). **Nutrição de plantas: diagnose foliar em grandes culturas**. Jaboticabal: UNESP, 2008. p. 105-114.
- PARENT, L. E.; NATALE, W.; ZIADI, N. Compositional nutrient diagnosis of corn using the Mahalanobis distance as nutrient imbalance index. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 89, n. 4, p. 383- 390. 2009.
- PARENT, S. E.; PARENT, L. E.; EGOZCUE, J. J.; ROZANE, D. E.; HERNANDES, A.; LAPOINTE, L.; HEBERT-GENTILE, V.; NAESS, K.; MARCHAND, S.; LAFOND, J.; JUNIOR MATTOS, D.; BARLOW, P.; NATALE, W. The plant ionome revisited by the nutrient balance concept. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, n. 39, p. 1-10. 2013a.
- PARENT, S. É.; PARENT, L. É.; ROZANE, D. E.; NATALE, W. Plant ionome diagnosis using sound balances: case study with mango (*Mangifera Indica*). **Frontiers in Plant Science**, v. 4, p. 1-12. 2013b.
- PARTELLI, F. B.; VIEIRA, H. D.; MARTINS, M. A. Nutritional diagnosis of the organic conilon coffee trees (*Coffea canephora* Pierre Ex Froehn): Sufficiency range approach for leaves and soil. **Coffee Science**, v. 1, n. 1, p 43-49. 2006.
- PRASAD, R.; SHIVAY, Y. S.; KUMAR, D. interactions of Zinc with Other Nutrient in Soils and Plants – A Review. **Indian Journal of Fertilisers**, v. 12, p. 16-26. 2016.
- PIERCE, F. J.; WARNCKE, D. D. Soil and Crop Response to Variable-Rate Liming for Two Michigan Fields. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, n. 2, p. 774-780. 2000.
- RAGHUPATHI, H. B.; REDDY, B. M. C.; SRIVINAS, K. Multivariate diagnosis of nutrient imbalance in banana. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 33, p. 2131-2143. 2002.
- RAIJ, B. V.; SILVA, N. M.; BATAGLIA, O. C.; CANTARELA, H. QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico e Fundação IAC, 1996. Boletim Técnico 100, 2ed.
- REIS JR, R. A.; CORRÊA, J. B.; CARVALHO, J. G.; GUIMARÃES, P. T. G. Nutritional Diagnosis of coffe plantations in southern of Minas Gerais state, Brazil:

DRIS norms and adequate foliar contents. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 3, p. 801-808. 2002.

ROGOVSKA, N. P.; BLACKMER, A. M.; MALLARINO, A. P. Relationships between Soybean Yield, Soil pH, and Soil Carbonate Concentration. **Soil Science Society of America Journal**, v. 71, n. 4, p. 1251- 1256. 2007.

ROCHA, C. S. Diagnose da composição nutricional do morangueiro. 2016. 56f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2016.

ROSS, S. M. **Introduction to probability and statistics for engineers and scientists**. New York: John Wiley & Sons; 1987.

ROZANE, D. E.; NATALE, W.; PARENT, L. E.; PARENT, S. E.; SANTOS, E. M. H. **CND-Goiaba. BR5120130003792**. 18 abr. 2013. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (São Paulo, Brasil); Université Laval (Ville de Québec, Canadá).

ROZANE, D. E.; PARENT, L. E.; NATALE, W. Evolution of the predictive criteria for the tropical fruit tree nutritional status. **Científica**, n. 44, p. 102-112. 2016a.

ROZANE, D.E.; BRUNETTO, G.; MELO, G.W.B.; NATALE, W.; PARENT, S. E.; SANTOS, E. M. H.; ZALAMENA, J.; PARENT, L. E. Avaliação do estado nutricional de videiras pela Diagnose da Composição Nutricional - CND. In: MELO, G.W.B.; ZALAMENA, J.; BRUNETTO, G.; CERETTA, C.A. (Org.). **Calagem, adubação e contaminação em solos cultivados com videiras**. 2016b. p. 45-60.

ROZANE, E.; NATALE, W.; BRUNETTO, G.; CIOTTA, M.N.; NOWAKI, R.H.D.; MELO, G.W.B. Diagnose da Composição Nutricional (CND) como critério de predição do estado nutricional de pereiras. In: CIOTTA, M.N.; BRUNETTO, G.; COMIN, J.; PASA, M. S.; SETE, P. B. (Orgs.). **I Workshop sobre frutificação e adubação de pereiras**. Epagri, 2017, p.120.

SANTOS, E. F.; DONHA, R. M. A.; ARAUJO, C. M. M.; LAVRES JR, J.; CAMACHO, M. A. Faixas normais de nutrientes em cana-de-açúcar pelos métodos ChM, DRIS e CND e nível crítico pela distribuição normal reduzida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1651-1658. 2013.

SANTOS, E. M. H., Diagnose da composição nutricional (CND) para a cultura da atemoia. 2016. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR), 2016.

SCHENFERT, T. A.; RATKE, R. F.; CASARIN, V.; BARBOSA, J. M.; CHAVES, D. V.; NETO, M. R. H.; ROQUE, C. G.; CARLOS, H. C. V. Lime and gypsum in the implantation no-till system promote the nutrition and yield of soybean. **Journal of Plant Nutrition**, v. 43, p. 641-654. 2020.

SERRA, A. P.; MARCHETTI, M. E.; VITORINO, A. C. T.; NOVELINO, J. O.; CAMACHO, M. A. Desenvolvimento de normas DRIS e CND e avaliação do estado nutricional da cultura do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 34-97. 2010.

SFREDO, G. J.; PALUDZYSZYN, FILHO. E.; GOMES, E. R. Resposta da soja a potássio e a fósforo em podzóico vermelho-amarelo de Balsas, MA. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 29, p. 1359-1364. 1994.

SILVA, G. G. B.; NEVES, J. C. L.; ALVAREZ, V. H.; LEITE, F. P. Nutritional Diagnosis for Eucalypt by, M-DRIS and CND. **Scientia Agricola**, v. 61, n. 5, p. 507-515, 2004.

SILVA, G. G. C.; NEVES, J. C. L.; ALVAREZ, V. H.; LEITE, F. P. Avaliação da universalidade das normas DRIS, M-DRIS e CND. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa**, v. 29, p. 755-761. 2005.

SILVA, F. F.; GONÇALVES, D. H. J.; CRUZ, G. S.; LIMA, W. N.; LIMA, R. C. A.; LIMA, M. A. S. Phosphate fertilization efficiency in soybean cultivars indicated for cerrado tropical soil region. **Ciência Agrícola**, v. 17, n. 3, p. 45-51. 2019.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. **Adubação Fosfatada em solos da região do cerrado**. Piracicaba. POTAFOS. 2003. Circular Técnica.

TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; BULISANI, E. A. Deficiência de Manganês em Soja Induzida por Excesso de Calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 27, p. 247-250. 1992.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers**. Londres: Collier Macmillan Publishers. 1985. 754p.

TOLOSANA-DELGADO, R.; VAN DEN BOOGART, K. G. Linear models with compositions in R. In: PAWLOWSKY-GLAHN V, BUCCIANTI A (Eds.). **Compositional data analysis: Theory and applications**. Nova Iorque: John Wiley and Sons; 2011. p: 356-371.

UNESP. Composição da Diagnose Nutricional. Disponível em: <https://www.registro.unesp.br/#!/sites/cnd/>. Acesso em: 20 jan. 2020.

URANO, E. O. M.; KURIHARA, C. H.; MAEDA, S.; VITORINO, A. C. T.; GONÇALVES, M. C.; MARCHETTI, M. E. Avaliação do estado nutricional da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 9, p. 1421-1428. 2006.

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**, v. 31, p. 63-72. 2007.

VALADÃO, D. D. J.; BERGAMIN, A. C.; VENTUROSO, L. R.; SCHLINDWEIN, J. A.; CARON, B. O.; SHIMIDT, D. Adubação fosfatada na cultura da soja em Rondônia. **Scientia Agraria**, v. 9, p. 369-375. 2008.

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. 99f. Tese (Doutorado em Agronomia). Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; Viçosa (MG). 1996.

WADT, P. G. S.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; FONSECA, S.; BARROS, N. F. Valores de referência para macronutrientes em eucalipto obtidos pelos métodos DRIS e chance matemática. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 685-692. 1998.

WALWORTH, J. L.; SUMNER, M. E. The Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS). **Advances in Soil Science**, v. 6, p. 149-188. 1987.

YAMADA, T. **Melhoria na Eficiência da Adubação Aproveitando as Interações Entre os Nutrientes**. Piracicaba: Informações agronômicas. 2002. Circular Técnica.