

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

NATHALIA SOBRAL BEZERRA

**MÉTODOS DE DIAGNOSE NUTRICIONAL DA CANA-DE-AÇÚCAR
FERTIRRIGADA NA PARAÍBA**

RECIFE

2018

Nathalia Sobral Bezerra

Engenheira Agrônoma

Métodos de diagnose nutricional da cana-de-açúcar fertirrigada na Paraíba

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Fernando José Freire

Coorientador: Prof. Dr. Emídio Cantídio Almeida de Oliveira

Recife

2018

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada à fonte.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

B574d Bezerra, Nathalia Sobral
Métodos de diagnose nutricional da cana-de-açúcar fertirrigada na Paraíba / Nathalia Sobral Bezerra. – 2018.
75 f. : il.

Orientador: Fernando José Freire.
Coorientador: Emídio Cantídio Almeida de Oliveira.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Recife, Departamento de Agronomia, BR-PE, 2018.
Inclui referências.

1. Cana-de-açúcar - Cultivo - Paraíba 2. Cana-de-açúcar - Nutrição
3. Irrigação por Gotejamento 3. Fertirrigação 4. Análise Foliar I. Freire, Fernando José, orient. II. Oliveira, Emídio Cantídio Almeida de, coorient. III. Título

CDD 631.4

NATHALIA SOBRAL BEZERRA

Métodos de diagnose nutricional da cana-de-açúcar fertirrigada na Paraíba

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Aprovada em 31 de agosto de 2018.

Prof. Dr. Fernando José Freire
Orientador
Universidade Federal Rural de Pernambuco

BANCA EXAMINADORA

Dr. Djalma Euzébio Simões Neto
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Renato Lemos dos Santos
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco

“Troque suas folhas, mas não perca suas raízes. Mude suas opiniões, mas não perca seus princípios. ”

Victor Hugo

AGRADECIMENTOS

A DEUS primeiramente, pela dádiva da vida, por ter me proporcionado tantas conquistas e por nunca ter me desamparado;

Aos meus pais, Alexandre da Cunha Sobral e Sueli Macena Sobral, pela educação a mim dada e pelas oportunidades de estudo concedidas;

Ao meu marido Diego Victor Bezerra dos Santos, pelo apoio, companheirismo e por acreditar em mim, as vezes até mais do que eu mesma acreditava, obrigada pela confiança;

A professora Maria Betânia Galvão dos Santos Freire, pela confiança e oportunidade me concedida ainda na graduação, por me indicar à vaga de PIBIC para trabalhar com o professor Fernando José Freire.

Ao meu orientador, professor Fernando José Freire, por todos os conhecimentos e experiências passados, por sua simplicidade, paciência e dedicação dada aos seus orientados;

Ao meu coorientador, Professor Emídio Cantídio, pelas sugestões e compartilhamento de recursos físicos e materiais que foram fundamentais para a realização deste trabalho;

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência do solo, pelo conhecimento passado;

A Socorro Santana, pelo carinho e dedicação a todos os alunos da Pós-Graduação;

As unidades produtoras de cana-de-açúcar, Usina Monte Alegre e Destilaria Japungu, pela disponibilidade de área, pessoal e material para coleta e condução de experimentos em campo;

A Patrícia Karla Batista de Andrade, amiga que fiz ainda no tempo do PIBIC, pelas conversas, conselhos e dúvidas tiradas desde o período da graduação até agora no mestrado;

Aos meus colegas do mestrado, Evaniely, Thaís, Felipe, Sueide, Greciele, David, Luan, pelas experiências trocadas, pela torcida e apoio nos momentos mais difíceis da pós-graduação;

A minha Irmã científica, Janyelle Lemos, pela ajuda na coleta de campo e por todos os momentos compartilhados dentro e fora do ambiente acadêmico;

A Pedro Gabriel, pela ajuda e orientação nas análises no laboratório de química do solo;

A Estação Experimental de Cana-de-açúcar de Carpina (EECAC), na pessoa do Dr. Djalma Euzébio Simões Neto, pela disponibilização da estrutura física, material e humana do laboratório de solos e adubação para o preparo, condicionamento e armazenamento das amostras;

Aos colegas de trabalho da EECAC, Andréa Chaves, Ismael Gaião, Leonam Silva, Amaro Epifânio, Paulo Rocha, Gilberto Eduardo, Jaime, Dinho, Vadinho, Clécio, Josias, Anunciada, Carpina, pelo apoio, incentivo ou ajuda concedidos na condução desta pós-graduação;

Aos meus parentes e amigos que se felicitam pelas minhas conquistas, e que direta ou indiretamente contribuíram de alguma forma para a conclusão deste trabalho.

Aos que por ventura minha memória tenha esquecido de lembrar.

Muito obrigada!

Métodos de diagnose nutricional da cana-de-açúcar fertirrigada na Paraíba

RESUMO GERAL

A cana-de-açúcar foi introduzida no Brasil no início do século XVI, onde encontrou condições naturais favoráveis, sendo hoje uma das principais culturas do agronegócio Brasileiro. O Brasil é o maior produtor mundial da cultura, mas ainda apresenta produtividade média considerada baixa. A irrigação é uma das técnicas que vem sendo utilizadas objetivando melhorar esses valores de produtividade, e a irrigação por gotejamento tem se destacado pela sua alta eficiência no uso da água e possibilidade de fazer a adubação da cultura via fertirrigação. Essa tecnologia tem sido ampliada nas unidades produtoras de cana-de-açúcar visando conseguir produtividades mais altas e a longevidade do canavial. Porém, a demanda nutricional da cultura fertirrigada é diferente da cultivada em sequeiro. Com isso, há uma carência de informações para melhor nortear o manejo nutricional da cultura nesse tipo de sistema. A diagnose nutricional das plantas pode ser feita com o auxílio de métodos de interpretação de diagnose foliar como o DRIS, M-DRIS e CND. O primeiro passo para implementar um sistema de diagnóstico nutricional é o estabelecimento de valores-padrões ou normas. A utilização de normas regionais ou específicas aumenta a acurácia quanto aos métodos utilizados para realizar o diagnóstico do estado nutricional das culturas. Assim, o objetivo deste trabalho foi realizar o diagnóstico nutricional para a cana-de-açúcar fertirrigada via sistema de gotejamento pelos métodos DRIS, M-DRIS e CND, a partir de normas específicas geradas para cada método utilizado. Para isso, foram realizadas coletas de amostras de folha +1, de 26 talhões cultivados com cana-de-açúcar no sistema de fertirrigação por gotejamento na Destilaria Japungu na Paraíba. Foram calculados os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn, B, Mo e Ni nas folhas e juntamente com os dados de produtividade registrados nas áreas amostradas foi formado um banco de dados que foi utilizado para gerar as normas DRIS, M-DRIS e CND. Foi realizado o diagnóstico nutricional da cultura pelos três métodos e a interpretação realizada pelo método do potencial de resposta a adubação (PRA). Avaliou-se a concordância do diagnóstico pelos diferentes métodos estudados. O diagnóstico realizado pelo DRIS e M-DRIS indicaram o Mo como o principal nutriente limitante, e o Fe como nutriente potencialmente em excesso. O diagnóstico nutricional pelo método CND interpretado pelo PRA discordou dos métodos DRIS e do M-DRIS e indicou desequilíbrio de micronutrientes e deficiência de K. Os métodos propostos por este estudo podem ser adotados para o diagnóstico nutricional e a calibração de teores ótimos para a cultura da cana-de-açúcar fertirrigada, contribuindo efetivamente para o monitoramento de lavouras comerciais.

Palavras-chave: DRIS. M-DRIS. CND. *Saccharum* spp. Gotejamento. Nutrição.

Methods of nutritional diagnosis of fertirrigated sugarcane in Paraíba

OVERALL ABSTRACT

Sugarcane was introduced in Brazil in the early sixteenth century, where it found favorable natural conditions, being today one of the main Brazilian agribusiness crops. Brazil is the world's largest producer of the crop, but still has average productivity considered low. Irrigation is one of the techniques that has been used to improve these productivity values, and drip irrigation has been highlighted by its high efficiency in water use and the possibility of fertilizing the crop via fertirrigation. This technology has been expanded in the sugar cane producing units in order to achieve higher yields and the longevity of the cane field. However, the nutritional demand of the fertirrigated crop is different from the one cultivated in the rainfed. With this, there is a lack of information to better guide the nutritional management of the crop in this type of system. The nutritional diagnosis of the plants can be made with the aid of foliar diagnostic methods such as DRIS, M-DRIS and CND. The first step in implementing a nutritional diagnostic system is the establishment of standard values or standards. The use of regional or specific standards increases the accuracy of the methods used to make a diagnosis of the nutritional status of crops. Thus, the objective of this work was to perform the nutritional diagnosis for the fertirrigated sugar cane via the DRIS, M-DRIS and CND methods, based on specific norms generated for each method used. For this, samples of leaf +1 samples were collected from 26 plots cultivated with sugarcane in the drip fertirrigation system at the Japungu Distillery in Paraíba. The contents of N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn, B, Mo and Ni were calculated on the leaves and, together with the productivity data recorded in the sampled areas, a database was formed that was used to generate DRIS, M-DRIS and CND standards. The nutritional diagnosis of the crop was performed by the three methods and the interpretation performed by the method of potential response to fertilization (PRA). The agreement of the diagnosis was evaluated by the different methods studied. The diagnosis performed by DRIS and M-DRIS indicated Mo as the main limiting nutrient, and Fe as a potentially excess nutrient. The nutritional diagnosis by the CND method interpreted by the PRA disagreed with the DRIS and M-DRIS methods and indicated imbalance of micronutrients and K deficiency. The methods proposed by this study can be adopted for the nutritional diagnosis and the calibration of optimal contents for the culture of fertirrigated sugarcane, effectively contributing to the monitoring of commercial crops.

Keywords: DRIS. M-DRIS. CND. *Saccharum* spp. Drip. Nutrition.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1 - Médias (Md), medianas (Med), valores mínimos (Min), máximos (Max), desvio-padrão (s), coeficiente de variação (CV), variância (s^2), coeficiente de assimetria (Assim) e coeficiente de curtose (Curt) da produtividade agrícola (TCH) e teores foliares de dos grupos de alta e baixa produtividade de cana-de-açúcar fertirrigada na safra 2017/2018 na Destilaria Japungu na Paraíba.....37

Tabela 2 - Média (Md), coeficiente de variação (CV), variância da população de alta produtividade (s^2a) e baixa produtividade (s^2b), razão entre variâncias (s^2b/s^2a), seleção e identificação da necessidade de transformação das relações entre os teores de nutrientes dos grupos de alta e baixa produtividade de cana-de-açúcar fertirrigada na safra 2017/2018 na Destilaria Japungu na Paraíba.....38

Tabela 3 - Média (Md), desvio-padrão (S), coeficiente de variação (CV), coeficiente de assimetria (Assim), coeficiente de curtose (Curt) e transformação (Transf.) das relações entre os nutrientes selecionadas como normas DRIS para cana-de-açúcar fertirrigada na safra 2017/2018 na Destilaria Japungu na Paraíba.....43

Tabela 4 - Teste de normalidade Kolmogorov – Smirnov para as relações entre nutrientes selecionadas como Normas DRIS para cana-de-açúcar fertirrigada na safra 2017/2018 na Destilaria Japungu na Paraíba.....44

CAPÍTULO 3

Tabela 1 - Média (Md), desvio-padrão (s), coeficiente de variação (CV), coeficiente de assimetria (Assim) e coeficiente de curtose (Curt) das relações entre os nutrientes selecionadas como normas DRIS para cana-de-açúcar fertirrigada na safra 2017/2018 na Destilaria Japungu na Paraíba.....59

Tabela 2 - Média (Md), Média transformada (Mdt), desvio-padrão (s) e coeficiente de variação (CV) dos teores de nutrientes selecionados como normas M-DRIS para cana-de-açúcar fertirrigada na safra 2017/2018 na Destilaria Japungu na Paraíba.....60

Tabela 3 - Média (Md), desvio-padrão (S), coeficiente de variação (CV) e assimetria (Asim) das variáveis multinutrientes e da média geométrica dos constituintes de massa seca (G) selecionados como normas CND para cana-de-açúcar fertirrigada na safra 2017/2018 na Destilaria Japungu na Paraíba.....	60
Tabela 4 - Critérios para interpretação dos valores dos índices DRIS, M-DRIS e CND baseados no potencial de resposta à adubação (PRA).....	64
Tabela 5 - Percentagem de concordância dos diagnósticos nutricionais (deficiente, provavelmente deficiente, equilibrado, provavelmente excessivo e excessivo) obtidos a partir de índices gerados pelos métodos DRIS, M-DRIS e CND para cana-de-açúcar fertirrigada na Destilaria Japungu na Paraíba.....	65
Tabela 6 - Potencial de resposta à adubação (PRA) de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, ferro, zinco, manganês, boro, molibdênio e níquel para cana-de-açúcar fertirrigada obtido do diagnóstico nutricional realizado pelos métodos DRIS, M-DRIS e CND.....	67
Tabela 7 - Teor foliar ótimo e faixas de suficiência de nutrientes pelos métodos DRIS, M-DRIS e CND para cana-de-açúcar para cana-de-açúcar fertirrigada na Destilaria Japungu na Paraíba.....	70

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	17
1.1 Hipóteses	18
1.2 Objetivo geral.....	18
1.3 Objetivos específicos	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1 A cultura da cana-de-açúcar	19
2.2 Irrigação, fertirrigação e nutrição da cana-de-açúcar	20
2.3 Diagnóstico nutricional	21
Referências.....	23
3 NORMAS DRIS PARA CANA-DE-AÇÚCAR FERTIRRIGADA	27
3.1 Introdução	30
3.2 Material e Métodos.....	32
3.3 Resultados e Discussão.....	35
3.3 Conclusões	45
Referências.....	45
4 DIAGNOSE NUTRICIONAL DA CANA-DE-AÇÚCAR FERTIRRIGADA PELOS MÉTODOS DRIS, M-DRIS E CND.....	51
4.1 Introdução	54
4.2 Material e Métodos.....	56
4.3 Resultados e Discussão.....	65
4.4 Conclusões	70
Referências.....	71
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	75

1 INTRODUÇÃO GERAL

A cana-de-açúcar é uma das culturas agrícolas de destaque na economia brasileira. É cultivada em todas as regiões do país, mas a maior parte da produção concentra-se na Região Sudeste. O Brasil destaca-se no cenário mundial, sendo o maior produtor da cultura.

Embora o Brasil tenha destaque no mundo em relação à produção da cultura, o país ainda apresenta produtividade média considerada baixa. Dentre os fatores que interferem na produtividade da cultura destacam-se variedades, clima, solo, manejo de adubação e irrigação.

O suprimento de água à cultura por meio de sistemas de irrigação é uma das formas de incrementar o rendimento da cana-de-açúcar e tem sido uma técnica adotada por várias empresas produtoras para garantir o aumento da produtividade sem a necessidade de expansão de áreas agrícolas.

Dentre os sistemas de irrigação, destaca-se o gotejamento, técnica que tem crescido nos últimos anos, principalmente pela sua eficiência no uso da água além de favorecer o uso de fertilizantes via fertirrigação.

A demanda nutricional da cana-de-açúcar fertirrigada é diferente da de sequeiro, dessa forma, as relações nutricionais podem ser diferentes nesse sistema de cultivo. Assim, há uma carência de informações sobre a cana-de-açúcar fertirrigada que possa nortear o manejo de adubação mais adequado para esse sistema de cultivo.

Para realizar o diagnóstico nutricional das plantas existem diversos métodos. A diagnose foliar é um deles, e tem se mostrado eficiente na avaliação do estado nutricional das culturas. Diversos são os métodos de interpretação da diagnose foliar, entre eles a faixa de suficiência ou o nível crítico é o mais utilizado, embora existam outros métodos que possam determinar valores regionais de referência que possuem maior acurácia na diagnose do estado nutricional das culturas.

O sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS), o DRIS modificado (M-DRIS) e a diagnose da composição nutricional (CND) são alguns desses métodos. Eles oferecem melhor acurácia no diagnóstico nutricional das culturas pois levam em consideração a relação de um nutriente com os demais, seja por relação bivariada (DRIS e M-DRIS) ou multivariada (CND).

O estabelecimento de valores padrões ou normas é essencial para a realização desses diagnósticos nutricionais. O universo da abrangência das normas tem sido discutido por diversos autores. Alguns sugerem a utilização de normas universais, enquanto que outros defendem o uso de normas regionais.

Algumas pesquisas têm demonstrado que há diferença no diagnóstico final, a depender do tipo de norma utilizada, e recomendam a utilização de normas específicas para cada região, uma vez que há diferença nas condições de cultivo.

1.1 Hipóteses

Os métodos de diagnóstico nutricional quando tratados em uma mesma base estatística, como o DRIS e o M-DRIS são concordantes na hierarquização das deficiências nutricionais.

No método CND, onde se modifica a base estatística e as relações nutricionais são multivariadas, a acurácia de detectar deficiências e excessos é mais pronunciada e tende a apresentar diagnósticos discordantes dos métodos DRIS e M-DRIS.

1.2 Objetivo geral

Realizar o diagnóstico nutricional para a cana-de-açúcar fertirrigada via sistema de gotejamento na Destilaria Japungu na Paraíba pelos métodos DRIS, M-DRIS e CND.

1.3 Objetivos específicos

- Desenvolver normas DRIS, M-DRIS e CND para diagnóstico do estado nutricional da cana-de-açúcar fertirrigada na Destilaria Japungu na Paraíba;
- Calcular os índices dos nutrientes por meio do método DRIS-Beaufils, M-DRIS e CND;
- Avaliar o diagnóstico nutricional da cana-de-açúcar fertirrigada, através da elaboração de normas específicas, pelos métodos DRIS, M-DRIS e CND;
- Comparar os diagnósticos nutricionais dos diferentes métodos por meio do potencial de resposta à adubação (PRA).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma planta semi-perene pertencente à família *Poaceae*. Foi introduzida no Brasil no início do século XVI, onde encontrou condições naturais favoráveis (CAVALHEIRO et al., 2012). É uma cultura que tem ampla adaptabilidade, capaz de crescer em diferentes ambientes, sendo hoje uma das culturas de destaque na economia nacional.

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar, seguido por Índia e China. Apesar de mais de 50% da produção nacional estar concentrada no estado de São Paulo, a cana-de-açúcar é cultivada em todas as regiões do país (CONAB, 2018). Na safra 2017/2018 foram produzidos 633,26 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, sendo 37,87 milhões de toneladas de açúcar e de 27,76 bilhões de litros de etanol.

A cana-de-açúcar tem um papel ambiental importante, pois o etanol, um dos seus produtos, é uma das alternativas para reduzir a emissão de gases causadores do efeito estufa, tendo em vista que a sua queima como combustível reduz em 77% a emissão de CO₂ na atmosfera em relação à gasolina (SOARES et al., 2009).

Apesar da importância nacional, a produtividade média da cana-de-açúcar no país ainda é considerada baixa, cerca de 72,54 toneladas por hectare (CONAB, 2018). O país teve diminuição na sua produção em 3,5% em relação à safra anterior (2016/17), possuindo área total de 8,73 milhões de hectares cultivado com a cultura.

Na região Nordeste destacam-se os estados de Alagoas, Pernambuco e Paraíba com 676,2 mil hectares de cana-de-açúcar, representando 78% da área ocupada com a cultura na região. A produtividade nesses estados ainda é bastante inferior quando comparado com a Região Sudeste que apresenta produtividade média de 76,62 ton ha⁻¹ contra 48,85 ton ha⁻¹ da Região Nordeste (CONAB, 2018).

Diversas tecnologias vêm sendo desenvolvidas para melhorar essa produtividade, entre esses mecanismos estão a utilização de cultivares mais produtivas, resistentes a pragas e doenças; uso de irrigação; correção e adubação dos solos.

Dentre as variedades utilizadas no Brasil, a RB92579 que foi desenvolvida pela Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (RIDESA), destaca-se na região Nordeste, sendo atualmente uma das variedades mais plantadas

nessa região, tendo como características: alta brotação e perfilhamento em todos os ciclos da cultura, maturação média, alta produtividade e teor de sacarose, apresentando longo período de utilização industrial (PUI) e médio teor de fibras, conforme Simões Neto e Melo (2005).

2.2 Irrigação, fertirrigação e nutrição da cana-de-açúcar

Segundo Singh, Shukla e Bhatnagar (2007), a cana-de-açúcar apresenta certa tolerância ao estresse hídrico, entretanto, algumas variedades respondem altamente à irrigação. O crescimento e desenvolvimento das plantas são afetados tanto pela falta quanto pelo excesso do suprimento de água (GAVA et al., 2011), interferindo na sua produtividade. Farias et al. (2008) afirmam que a irrigação pode diminuir ou anular os efeitos danosos causados pela deficiência hídrica.

A irrigação se apresenta como um dos investimentos possíveis de serem realizados na produção da cana-de-açúcar visando aumentar seu rendimento, podendo aumentar a produção sem a necessidade de expansão da área agrícola (DALRI et al., 2008; DALRI; CRUZ, 2002 e 2008; MATTIOLI et al., 1998), tornando-se indispensável para as condições climáticas de muitas áreas da região nordeste do Brasil, para a produção satisfatória da cultura.

Dentre os sistemas de irrigação passíveis de serem utilizados, destaca-se a irrigação localizada por gotejamento, caracterizado por sua alta eficiência no uso da água, menor consumo de energia devido à baixa pressão de serviço e à facilidade no uso da fertirrigação, proporcionado pelo sistema fixo, de alta eficiência e com aplicação da água diretamente na zona radicular da cultura, tornando essa irrigação bastante eficiente na redução das perdas por evaporação. Outra vantagem desse sistema de irrigação é sua utilização em áreas com limitação de recursos hídricos e próximas a áreas residenciais, onde esse sistema tem se mostrado boa alternativa, pela possibilidade de realizar a quimigação, além da menor propagação de odores quando utilizado com vinhaça (QUINTANA, 2010).

A fertirrigação é uma técnica bastante utilizada na cultura, devido ao aproveitamento do resíduo industrial, a vinhaça. A utilização da fertirrigação, via irrigação localizada, em substituição à adubação convencional, deve ser feita com sistema de irrigação que garanta alta performance na distribuição da água, (BERNARDO, SOARES e MANTOVANI, 2006; OLIVEIRA; VILLAS BOAS, 2008).

A fertirrigação também apresenta vantagens indiretas. Através dela, há menor necessidade de tratores e implementos agrícolas no campo, reduzindo assim a compactação do solo e danos às plantas (VALE et al., 1997). Além disso, os custos de aplicação de produtos químicos via sistema quando comparados com os custos de aplicação convencional estão entre 50 a 87% mais baratos (THREADGILL et al., 1990).

Além do fornecimento de água, a aplicação de nutrientes de forma balanceada, na quantidade exigida pela cultura, também é fator determinante no aumento da produção e na qualidade final da cana-de-açúcar. A correta adubação implica no fornecimento adequado de macro e de micronutrientes (QUINTANA, 2010).

Algumas particularidades são observadas na cultura da cana-de-açúcar no que diz respeito à absorção e uso dos nutrientes, e devem ser respeitadas de forma a obter maior produção e melhores índices tecnológicos. A quantidade de nutrientes disponibilizada, a época e a forma de disponibilização são fatores que auxiliam no aumento da produção e qualidade da cultura. Tendo em vista que a adubação e a nutrição da cana-de-açúcar fazem parte do gerenciamento da unidade produtora, pode-se dizer que sua eficiência no incremento da produtividade será tanto maior quanto melhor for o ajuste desses fatores (VITTI; MAZZA, 2002), podendo haver a diminuição da produção no campo quando a planta não dispor de água e nutrientes para realizar seu metabolismo de forma satisfatória (MUTTON; MUTTON, 2005).

2.3 Diagnóstico nutricional

A avaliação do estado nutricional de uma cultura pode ser realizada através de métodos de diagnose foliar, relacionando os teores dos nutrientes entre si. Entre esses métodos, o mais utilizado é o nível crítico, que considera os teores dos nutrientes individualmente. Porém, foram desenvolvidos métodos com o intuito de classificar os nutrientes quanto à ordem de limitação ao crescimento e desenvolvimento das culturas. É o caso do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS), do DRIS modificado (M-DRIS) e da diagnose da composição nutricional (CND).

O DRIS preconizado por Beaufils (1973) baseia-se no cálculo de índices para cada nutriente, sendo avaliados em função da razão dos teores de cada elemento com os demais, comparando-os dois a dois com outras relações de valores padrões

denominados normas. O estabelecimento das normas DRIS é realizado a partir das relações duais dos nutrientes de uma população de alta produtividade ou população de referência, e é constituída de uma média e um coeficiente de variação para cada relação dual.

No cálculo dos índices DRIS, quanto mais próximo de zero forem os índices, mais próximo ao equilíbrio nutricional se encontra a cultura. Quanto mais negativo for o índice, mais longe do nível ótimo estará o nutriente, quando este índice for positivo há a indicação de que o nutriente se encontra acima do nível ótimo (BEAUFILS, 1973; REIS Jr.; MONNERAT, 2002). O M-DRIS assemelha-se ao DRIS, mas incorpora os teores dos nutrientes nos seus cálculos.

Para o cálculo das normas DRIS, M-DRIS e CND, há necessidade de se organizar um banco de dados de teores foliares da cultura, considerando populações de alta e baixa produtividade, e estabelecer padrões para as diversas relações entre nutrientes. Segundo Beaufils (1973) e Walworth e Sumner (1987) não existem critérios específicos para dividir as duas populações. A população de referência deve conter pelo menos 10% do total de populações avaliadas (LETZSCH; SUMNER, 1984).

Segundo Payne, Rechcigl e Stephenson (1990), relações entre nutrientes que apresentam alta razão entre variâncias das populações de baixa e alta produtividade conferem maior confiabilidade na diagnose nutricional.

A comparação de normas DRIS estabelecidas para a cana-de-açúcar, cultivada em diferentes locais, por Beaufils e Sumner (1976), Elwali e Gascho (1983) e por Reis (1999) foi realizada por Reis Júnior e Monerat (2002). Eles concluíram que existem diferenças significativas nas diferentes normas estabelecidas, mas afirmam que na falta de normas DRIS locais, é possível a utilização das normas universais.

De acordo com Parent e Dafir (1992), o método da Diagnose da Composição Nutricional (CND) apresenta melhor fundamentação estatística que o DRIS, pois utiliza a transformação da razão log centralizada usada para analisar dados composicionais, como os teores de nutrientes (AITCHISON, 1982), para tentar corrigir e ajustar os procedimentos do DRIS, além disso possui a vantagem de trabalhar os nutrientes numa mesma unidade, possui melhor fundamentação estatística, baseando-se na obtenção de variáveis multinutrientes (Z_i), cada uma delas ponderada pela média geométrica da composição nutricional.

Medidas de acurácia estabelecem o grau de acerto do diagnóstico nutricional estipulado por qualquer método de interpretação, diante do autêntico estado

nutricional determinado pela resposta da planta à adubação (WADT et al., 2016). Essas medidas podem validar os critérios de interpretação dos índices nutricionais.

Entre os diversos métodos para a interpretação desses índices de balanço nutricional destaca-se o método do Potencial de Resposta da Planta à Adubação (PRA) (WADT, 2005), sendo o mais utilizado no Brasil. Esse método tem sido bastante utilizado na literatura para interpretação de índices DRIS, M-DRIS e CND de diversas culturas (WADT; DIAS, 2012; POLITI et al., 2013; SCUCUGLIA; CRESTE, 2014; PARTELLI et al., 2014; CALHEIROS, et al. 2018a; SALDANHA et al., 2017).

Referências

AITCHISON, J. The statistical analysis of compositional data. **Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)**, v. 44, p. 139-177, 1982.

BEAUFILS, E.R. **Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS)**. Pietermaritzburg, University of Natal, Pietermaritzburg, South Africa, 1973. 131p. (Soil Science Bulletin, 1).

BEAUFILS, E.R; SUMNER, M.E. Application of the DRIS approach for calibrating soil and plant factors in their effects on yield of sugarcane. **Proceedings of the South African Sugar Technologists**, South Africa, Assoc., v 50, p 118-124, 1976.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de Irrigação**. 8. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2006. 625p.

CALHEIROS, L.C.S.; FREIRE, F.J.; MOURA FILHO, G.; OLIVEIRA, E.C.A.; MOURA, A.B.; COSTA, J.V.T.; CRUIZ, F.J.R.; SANTOS, A.S.; RESENDE, J.S. Assessment of Nutrient Balance in Sugarcane Using DRIS and CND Methods. **Journal of Agricultural Science**, Toronto, v. 10, p. 164-179, 2018a.

CAVALHEIRO, A. J., COUTINHO, I. D., LEME, G. M., Da SILVA, A. A., Da SILVA, A. P. D. **Metabolômica de cana-de-açúcar e sua relação com a produção de biomassa vegetal para bioenergia**. Desenvolvimento, pesquisa e inovação, São Paulo, p. 15, 2012.

CONAB - Companhia Nacional do Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**, V. 4 - SAFRA 2017/18, N.4- Quarto levantamento, abr. de 2018.

DALRI, A.B.; CRUZ, R.L. Efeito da frequência de irrigação subsuperficial por gotejamento no desenvolvimento da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Irriga**, Botucatu, v.7, n.1, 2002. p.29-34.

DALRI, A.B.; CRUZ, R.L. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.3, 2008. p.516-524.

DALRI, A.B.; CRUZ, R.L.; GARCIA, J.B.; DUENHAS, L.H. Irrigação por gotejamento subsuperficial na produção e qualidade de cana-de-açúcar. **Irriga**, Botucatu, v.13, n.1, 2008. p.1-11.

ELWALI, A.M.O., GASCHO, G.J. Sugarcane response to P, K, and DRIS corrective treatments on Florida histosols. **Agronomy Journal**, Madison, v.75, p.79-83, 1983.

FARIAS, C. H. A.; FERNANDES, P. D.; AZEVEDO, H. M.; DANTAS NETO, J. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.4, p.356–362, 2008.

GAVA, G. J. DE C.; SILVA, M. DE A.; SILVA, R. C. DA; JERONIMO, E. M.; CRUZ, J. C. S.; KÖLLN, O. T. Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.3, p.250–255, 2011.

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**, Philadelphia, v. 15, p.997-1006, 1984.

MATTIOLI, C.S.; FRIZZONE, J.A.; PAES, V.P.S.; FOLEGATTI, M.V. **Aumento de produtividade da cultura da cana-de-açúcar sob irrigação complementar na região de Ribeirão Preto – SP**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1998, Poços de Caldas. Anais... Lavras: UFLA/SBEA, 1998. v.2, p.16-18.

MUTTON, M.J.R.; MUTTON, M.A. Identificação de perdas de açúcares no setor agrícola. Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil - **STAB**, v.23, n.4, p.42-46, 2005.

OLIVEIRA, M.V.A. de; VILLAS BOAS, R.L. Uniformidade de distribuição do potássio e do nitrogênio em sistema de irrigação por gotejamento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.1, p.95-103, 2008.

PAYNE, G.G.; REHCIGL, J.E.; STEPHENSON, R.L. Development of Diagnosis and Recommendation Integrated System norms for Bahiagrass. **Agronomy Journal**, Madison, v.82, p.930-934, 1990.

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

PARTELLI, F. L.; DIAS, J. F. M.; VIEIRA, H. D.; WADT, P. G. S.; JUNIOR, E. P. Avaliação nutricional de feijoeiro irrigado pelos métodos CND, DRIS e faixas de suficiência. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, p. 858-866, 2014.

POLITI, L. S.; FLORES, R. A.; SILVA, J. A. S. da; WADT, P. G. S.; PINTO, P. A. da C.; PRADO, R. de M. Estado nutricional de mangueiras determinado pelos métodos DRIS e CND. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, p. 11 -18, 2013.

QUINTANA, K. A. **Irrigação e fertirrigação por gotejamento para cana-de-açúcar na presença e ausência de boro**. 2010. 70 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, JABOTICABAL – SÃO PAULO 2010.

REIS JR., R.A. **Diagnose nutricional da cana-de-açúcar com o uso do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS)**. 1999. 141f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 1999.

REIS JUNIOR, R.A.; MONNERAT, P.H. Diagnose nutricional da cana-de açúcar em Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.367-372, 2002.

SALDANHA, E.C.M; SILVA JUNIOR M.L; LINS P.M.P; FARIAS S.C.C; WADT P.G.S. Nutritional diagnosis in hybrid coconut cultivated in northeastern Brazil through diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v.39, p.728-737, 2017.

SCUCUGLIA, C. L.; CRESTE, J. E. Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) of tomato in greenhouse. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.32, p. 200-204, 2014.

SIMÕES NETO, D.E; MELO, L.J.O. Lançamento de novas variedades RB de cana-de-açúcar. **Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 2005. 28p.**

SINGH, P.N.; SHUKLA, S.K.; BHATNAGAR, V.K. Optimizing soil moisture regime to increase water use efficiency of sugarcane (*Saccharum* spp. Hybrid complex) in subtropical India. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.90, p.95 - 100, 2007.

SOARES, L.H.B.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. **Mitigação das emissões de gases efeito estufa pelo etanol da cana-de-açúcar produzido no Brasil**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2009. 14p.

THREADGILL, E.D.; EISENHAEUER, D.E.; YOUNG, J.R.; BAR-YOUSEF, B. Chemigation. In: **Management of farm irrigation systems**. American Society of Agricultures Engineers, Michigan, 1990, 1040p.

VALE, F.R.; GUILHERME, L.R.G.; GUEDES, G.A.A.; FURTINI NETO, A.E. **Fertilidade do Solo: Dinâmica e Disponibilidade de Nutrientes**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997b. 171p.

VITTI, G.C.; MAZZA, J.A. **Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba. POTAFOS, 2002. 16p. (Encarte técnico/Informações Agronômicas, n.97).

WADT, P. G. S.; TRASPADINI, E. I. F.; MARTINS, R. A.; MELLO, F. B.; OLIVEIRA, I.J.; RODRIGUES, J. E. L. F.; BASTO, E. A.; ARAÚJO, S. M. B. Medidas de Acurácia na Qualificação dos Diagnósticos Nutricionais: Teoria e Prática. In: PRADO, R. M.; CECÍLIO FILHO, A. B. **Nutrição e adubação de hortaliças**. Jaboticabal: FCAV/CAPES, 2016, p.373-392.

WADT, P.G.S. Relationships between soil class and nutritional status of coffee plantations. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.227-234, 2005.

WADT, P. G. S.; DIAS, J. R. M. Normas DRIS regionais e inter-regionais na avaliação nutricional de café conilon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, p. 822-830, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012000600013>>.

WALWORTH, J.L.; SUMNER, M.E. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). In: STEWART, B.A. (Ed.). **Advances in Soil Science**. New York: Springer, v.6, p.149-188, 1987.

3 NORMAS DRIS PARA CANA-DE-AÇÚCAR FERTIRRIGADA

Normas DRIS Para Cana-De-Açúcar Fertirrigada

RESUMO

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma planta semi-perene pertencente à família *Poaceae*. Foi introduzida no Brasil no início do século XVI, onde encontrou condições naturais favoráveis, sendo hoje uma das principais culturas do agronegócio Brasileiro. A cana-de-açúcar é cultivada em todas as regiões do país. Na região Nordeste destacam-se os estados da Paraíba, Pernambuco e Alagoas, com aproximadamente 78% da área cultivada da Região. A produtividade média nesses estados é de apenas 48,85 Mg ha⁻¹, bastante inferior à da Região Sudeste. O déficit hídrico é um dos principais fatores responsáveis por essa diferença de produtividade. Assim, a irrigação tem se tornado um manejo agrícola indispensável em muitas áreas no Nordeste para incrementar a produtividade da região. A demanda nutricional em plantios irrigados é mais elevada do que em sequeiro, e as relações nutricionais podem se alterar, principalmente em sistemas de irrigação por gotejamento, em que se obtém elevadas produtividades. Poucos são os estudos de diagnóstico nutricional em cana-de-açúcar no Nordeste, e quando existem, foram realizados em sistema de sequeiro, havendo uma carência de informações sobre as relações nutricionais de cana-de-açúcar fertirrigada que possam nortear manejos de fertilidade mais adequados para esse sistema de cultivo. O Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) é um método de diagnose e envolve a comparação das razões de cada par de nutrientes com as razões médias de uma população de referência, chamada de normas. A utilização de normas específicas é essencial para a realização do diagnóstico nutricional, pois aumenta a acurácia do diagnóstico. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi estabelecer normas DRIS específicas para cana-de-açúcar fertirrigada através da seleção de relações nutricionais adequadas e referenciadas por uma população de alta produtividade. Para isso, foram realizadas coletas de amostras de folha +1, de 26 talhões cultivados com cana-de-açúcar no sistema de fertirrigação por gotejamento na Destilaria Japungu na Paraíba. Calculou-se os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn, B, Mo e Ni nas folhas que, juntamente com os dados de produtividade registrados nas áreas amostradas formaram um banco de dados utilizado para gerar as normas DRIS. Foi utilizado o critério de maior razão de variância entre as populações de baixa e alta produtividade para a escolha da norma. Nas relações escolhidas que apresentaram coeficiente de variação superior a 35% procedeu-se a transformação dos dados. As relações duais dos teores foliares de S, Cu, Fe, Mn, Mo e Ni apresentaram alta variabilidade. As transformações nos dados das relações nutricionais que apresentaram alto CV proporcionaram a obtenção de relações com distribuição normal. As normas DRIS para a cana-de-açúcar fertirrigada foram estabelecidas, podendo ser utilizadas como padrões de referência para diagnósticos nutricionais no Nordeste.

Palavras-chave: *Saccharum* spp. Gotejamento. Nutrição. Relação dual. Valores de referência. Diagnose nutricional.

DRIS standards for fertirrigated sugar cane

ABSTRACT

The sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) is a semi-perennial plant belonging to the family Poaceae. It was introduced in Brazil in the early 16th century, where it found favorable natural conditions, being today one of the main Brazilian agribusiness crops. Sugarcane is grown in all regions of the country. In the Northeast, the states of Paraíba, Pernambuco and Alagoas stand out, with approximately 78% of the area cultivated in the Region. The average productivity in these states is only 48.85 Mg ha⁻¹, much lower than the Southeast Region. The water deficit is one of the main factors responsible for this productivity difference. Thus, irrigation has become an indispensable agricultural management in many areas in the Northeast to increase productivity in the region. The nutritional demand in irrigated crops is higher than in the rainy season, and nutritional relations can change, especially in drip irrigation systems, where high yields are obtained. There are few nutritional diagnosis studies in sugarcane in the Northeast, and when they exist, they were carried out in a rainfed system, with a lack of information on the nutritional relations of fertirrigated sugarcane that can guide fertility management more suitable for this cropping system. The Integrated Diagnosis and Recommendation System (DRIS) is a diagnostic method and involves comparing the ratios of each nutrient pair to the mean ratios of a reference population, called standards. The use of specific standards is essential for the performance of the nutritional diagnosis, since it increases the accuracy of the diagnosis. Thus, the objective of this work was to establish specific DRIS standards for fertirrigated sugarcane through the selection of adequate nutritional relations and referenced by a high productivity population. For this, samples of leaf +1 samples were collected from 26 plots cultivated with sugarcane in the drip fertirrigation system at the Japungu Distillery in Paraíba. The contents of N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn, B, Mo and Ni were calculated on the leaves which together with the productivity data recorded in the sampled areas formed a database used to generate DRIS standards. We used the criterion of higher ratio of variance between low and high productivity populations for the choice of standard. In the chosen relationships that presented coefficient of variation superior to 35%, the data were transformed. The dual relations of leaf contents of S, Cu, Fe, Mn, Mo and Ni presented high variability. The transformations in the data of the nutritional relations that presented high CV provided the obtaining of relations with normal distribution. The DRIS standards for fertirrigated sugar cane were established, and can be used as reference standards for nutritional diagnoses in the Northeast.

Keywords: *Saccharum* spp. Drip. Nutrition. Dual relation. Reference values. Nutritional diagnosis.

3.1 Introdução

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma planta semi-perene pertencente à família *Poaceae*. Foi introduzida no Brasil no início do século XVI, onde encontrou condições naturais favoráveis (CAVALHEIRO et al., 2012), sendo hoje uma das principais culturas do agronegócio Brasileiro.

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar, seguido por Índia e China, e também é o maior produtor de açúcar e etanol proveniente da cultura. Mais de 50% do açúcar comercializado no mundo é produzido no Brasil (CONAB, 2018; CONAB, 2016).

Apesar de mais de 50% da produção nacional estar concentrada no estado de São Paulo, a cana-de-açúcar é cultivada em todas as regiões do país. Na região Nordeste destacam-se os estados de Alagoas, Pernambuco e Paraíba com 676,2 mil hectares de área plantada, representando 78% da área cultivada com cana-de-açúcar do Nordeste (CONAB, 2018). A produtividade média nesses estados é de apenas 48,85 Mg ha⁻¹ e bastante inferior à da Região Sudeste, que apresenta produtividade média de 76,62 Mg ha⁻¹ (CONAB, 2018).

A precipitação pluviométrica é um dos principais fatores responsáveis por essa diferença de produtividade entre as regiões Nordeste e Sudeste, tanto pelos seus baixos índices, como por sua irregularidade. A irrigação tem se tornado um manejo agrícola indispensável de muitas áreas no Nordeste para incrementar a produtividade nessa região, sem a necessidade de expansão da área agrícola (MATTIOLI et al., 1998; DALRI; CRUZ, 2002; DALRI; CRUZ, 2008; DALRI et al., 2008). Assim, a área agrícola irrigada de cana-de-açúcar no Nordeste tem crescido nos últimos anos, principalmente sob manejo fertirrigado (CONAB, 2018).

A demanda nutricional em plantios irrigados de cana-de-açúcar é mais elevada do que em sequeiro (OLIVEIRA et al., 2011) e as relações nutricionais podem se alterar, principalmente em sistemas de irrigação por gotejamento, em que se obtém elevadas produtividades. Poucos estudos realizaram diagnósticos nutricionais em cana-de-açúcar no Nordeste, e quando fizeram, esses diagnósticos foram realizados em sistema de sequeiro (CALHEIROS et al., 2018a e b). Portanto, há uma carência de informações sobre as relações nutricionais de cana-de-açúcar fertirrigada que possam nortear manejos de fertilidade mais adequados para esse sistema de cultivo.

Os teores dos nutrientes nas plantas variam em função de diversos fatores, tais como manejo e correção do solo, variedade utilizada, e variáveis climáticas, entre outros. A diagnose foliar é uma resposta da integração desses fatores e representa uma alternativa eficiente para avaliação do estado nutricional das culturas (REIS JUNIOR; MONERAT, 2002).

Diversos são os métodos de interpretação da diagnose foliar. As faixas de suficiência ou o nível crítico relatado na literatura são as mais utilizadas para essa interpretação. Entretanto, a utilização de métodos que possam determinar valores regionais de referência para diagnose nutricional pode proporcionar maior acurácia quanto aos métodos utilizados na diagnose do estado nutricional das plantas (CAMACHO et al., 2012). Dentre esses métodos, destaca-se o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS). O DRIS preconizado por Beaufils (1973) é um método de diagnóstico do estado nutricional de plantas, pelo qual os nutrientes são estudados por suas relações binárias (WALWORTH; SUMNER, 1988). Envolve a comparação das razões de cada par de nutrientes com as razões médias de uma população de referência, chamada de normas DRIS (DIAS et al., 2010).

O primeiro passo para implementar um sistema de diagnóstico nutricional é o estabelecimento de valores-padrões ou normas (WALWORTH; SUMNER, 1987; BAILEY, BEATTIE e KILPATRICK, 1997). Vários trabalhos têm discutido o universo de abrangência das normas, desde aquelas obtidas a partir de dados calibrados localmente, como também conclusões que sugerem normas DRIS regionais ou universais (CALHEIROS et al., 2018b). Silva et al. (2005) relataram que é preferível a utilização de normas específicas ao invés de normas universais, ao avaliarem a universalidade das normas DRIS. Essa opinião é convergente com a de Rocha et al. (2007) que destacaram a importância de obtenção de normas regionais e específicas para diferentes condições de cultivo.

Assim, é importante estabelecer normas DRIS para cana-de-açúcar fertirrigada pela especificidade desse cultivo e ter nesses padrões a referência para cálculo dos índices DRIS. De fato, isso poderá proporcionar diagnósticos nutricionais mais específicos, auxiliando o manejo de nutrientes nesse sistema de cultivo.

Para o cálculo das normas DRIS, há necessidade de se organizar um banco de dados de teores foliares da cultura, considerando populações de alta e baixa produtividade, e estabelecer padrões para as diversas relações entre nutrientes. Segundo Beaufils (1973) e Walworth e Sumner (1987) não existem critérios

específicos para dividir as duas populações. A população de referência deve conter pelo menos 10% do total de populações avaliadas (LETZSCH; SUMNER, 1984).

De acordo com Payne, Rechcigl e Stephnson (1990), relações entre nutrientes que apresentam alta razão entre variâncias das populações de baixa e alta produtividade conferem maior confiabilidade na diagnose nutricional. Vários autores estudaram esse mesmo critério de seleção de alta razão de variâncias para selecionar relações nutricionais (MOURÃO FILHO et al., 2002; REIS JUNIOR. et al., 2002; SANTANA et al., 2008; SALDANHA et al., 2017; CALHEIROS et al., 2018 a e b). Ramakrishna, Bailey e Kirchhof (2009), Rathfon e Burger (1991) também tiveram essa mesma atenção com a normalidade das relações de nutrientes na escolha da seleção da relação mais adequada e selecionaram as relações de nutrientes que apresentaram coeficiente de variação $\leq 35\%$, relação das variâncias $> 1,0$ e coeficiente de assimetria $< 1,0$.

Nossa hipótese é que para o estabelecimento das normas DRIS em cultivo fertirrigado de cana-de-açúcar a variabilidade dos dados é maior, principalmente de micronutrientes. Quando a demanda nutricional é mais elevada, os teores foliares são mais altos e não necessariamente se relacionam linearmente com a produtividade, tornando as relações nutrientes/produtividade mais variável e exigindo transformações estatísticas para normalização dos dados e obtenção de normas mais confiáveis e preditivas.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi estabelecer normas DRIS específicas para cana-de-açúcar fertirrigada através da seleção de relações nutricionais adequadas e referenciadas por uma população de alta produtividade.

3.2 Material e Métodos

Para determinação das normas DRIS para cana-de-açúcar fertirrigada foi realizada amostragem de folhas +1 em áreas comerciais de gotejamento subterrâneo combinado com fertirrigação na safra 2017/2018 da Destilaria Japungu localizada no município de Santa Rita no Estado da Paraíba (6°59'31.153" de Latitude Sul e 30°58'38.418" de Longitude Oeste). O clima da região é quente e úmido (Köppen-Geiger) com precipitação média anual de 1.600 mm; a maioria dos solos são de textura arenosa, classificados como Neossolos Quartzarênicos, Espodossolos, Argissolos Amarelos, Acinzentados e Vermelho-Amarelos.

O manejo nutricional da cana-de-açúcar nas áreas onde foram coletadas as amostras iniciou-se com calagem, conforme necessidade indicada nas análises de solo. Posteriormente se aplicou uma dose de 300 m³ ha⁻¹ de vinhaça. A adubação de fundação foi realizada aplicando-se 36 kg ha⁻¹ de N e 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de fosfato monoamônico (MAP). A adubação de cobertura foi realizada utilizando-se 80 kg ha⁻¹ de N e 100 kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de sulfato de amônio e cloreto de potássio, respectivamente.

A adubação das socarias foi realizada aplicando-se em cobertura após o corte do cultivo anterior uma tonelada ha⁻¹ de calcário nas folhas ímpares. Foram aplicados em todas as socarias 78 kg ha⁻¹ de N e 82 kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de sulfato de amônio e cloreto de potássio, respectivamente. Aplicou-se também via sistema de gotejamento 84 kg ha⁻¹ de N, 45 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 100 kg ha⁻¹ de K₂O e 5 kg ha⁻¹ de Mn, na forma de MAP purificado, cloreto de potássio e sulfato de manganês, respectivamente.

No sistema de irrigação por gotejamento são utilizados gotejadores tipo Dripnet PC AS 16150 1,0 L h⁻¹, 0,4 m entre emissores, sendo aplicada uma lâmina de 5,28 mm dia⁻¹.

A coleta das amostras de folhas de cana-de-açúcar ocorreu quando elas apresentavam entre 4 e 6 meses de idade, sendo realizada em áreas comerciais de cana-soca, perfazendo um total de 26 amostras, todas pertencentes à variedade RB92579. Cada amostra foi constituída de 30 folhas coletadas aleatoriamente em cada talhão de cana-de-açúcar, identificando-se o nome da fazenda, talhão e idade da socaria. Foram coletadas folhas da posição +1, pelo sistema de Kuijper, sendo utilizados para análise química os 20 cm medianos, descartando-se a nervura central das plantas, conforme descrito por Malavolta Vitti e Oliveira (1997) e Silva (2009).

As amostras de folhas foram submetidas à secagem em estufa a 65 °C com circulação de ar forçada por 72 h e passadas em moinho tipo Willey, com peneiras de 20 mesh. O N e o P nas folhas foram mineralizados em digestão sulfúrica, o N foi dosado utilizando-se o método micro Kjeldahl, segundo metodologia descrita por Malavolta Vitti e Oliveira (1997). O B foi mineralizado por digestão via seca pelo método da incineração.

Os demais nutrientes foram mineralizados em digestão nítrica de 0,500 g do material triturado em forno micro-ondas juntamente com 6 mL de HNO₃ e 2 mL H₂O₂, na temperatura de 180 °C por 10 min. de acordo com a metodologia USEPA 3050b

(1996). Os extratos foram filtrados, o volume aferido para balões volumétricos de 25 mL e armazenados a 4 °C para posterior dosagem.

Os extratos obtidos foram dosados pelos seguintes métodos: O P foi analisado por colorimetria pelo método do molibdato; o K por fotometria de chama; o Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn por espectrofotometria de absorção atômica; e o S por turbidimetria. Os extratos de Mo, Ni e B foram dosados em espectroscopia de emissão ótica com plasma acoplado (ICP-OES/Optima 7000 Perkin Elmer).

Dados de produtividade foram registrados nos locais amostrados, quando a cana-de-açúcar atingiu o ponto de colheita, que, juntamente com seus respectivos teores foliares de nutrientes, formaram um banco de dados que foi utilizado para gerar as normas DRIS para a cana-de-açúcar, conforme descrito por Jones (1981) e Reis Junior (1999).

Após a obtenção dos dados de produtividade das áreas em que foram determinados os teores foliares, montou-se um banco de dados que foi dividido em dois grupos: população de baixa produtividade ($<110 \text{ Mg ha}^{-1}$) e população de alta produtividade ou de referência ($\geq 110 \text{ Mg ha}^{-1}$). Essa produtividade limite entre as populações de alta e baixa produtividade foi escolhida porque representa cerca de 40% das amostras da população de alta produtividade. De acordo com Letzsch e Summer (1984) a população de referência deve conter pelo 10% das populações amostradas.

O banco de dados foi composto por 26 amostras, sendo 10 correspondentes as áreas de alta produtividade e 16 às áreas de baixa produtividade. Foram determinados os valores mínimos (Min), máximos (Max), mediana (Med), média (Md), desvio-padrão (s), coeficiente de variação (CV), variância (s^2), coeficiente de assimetria (Assim) e coeficiente de curtose (Curt) para os dados de produtividade agrícola e teores de nutrientes nos grupos de alta e baixa produtividade (BEIGUELMAN, 2002). Foi utilizado o teste t de Student para comparação das médias dos dados de produtividade e teores de nutrientes entre as populações de alta e baixa produtividade, considerando a homocedasticidade entre as variâncias, até 5% de probabilidade pelo teste F (BEIGUELMAN, 2002).

Foram calculadas todas as relações binárias entre os nutrientes de ambas as populações para obtenção da Md, s, CV e s^2 , além da razão entre variâncias dos dois grupos.

Para a escolha da ordem da razão dos nutrientes foi utilizado o critério descrito por Letzsch (1984) e Walworth et al. (1987) que consiste no cálculo da razão de variância das relações entre nutrientes entre o grupo de baixa produtividade e de referência, tanto na ordem direta como na inversa. Posteriormente, foi selecionada a ordem da relação que apresentou maior razão de variância entre o grupo de baixa e o de alta produtividade:

Se: $[s^2(A/B)_b/s^2(A/B)_r] > [s^2(B/A)_b/s^2(B/A)_r]$, então: relação na norma = A/B

Se: $[s^2(A/B)_b/s^2(A/B)_r] < [s^2(B/A)_b/s^2(B/A)_r]$, então: relação na norma = B/A

Em que:

$s^2(A/B)_b$ = Variância da razão entre as concentrações dos nutrientes A e B da população de baixa produtividade;

$s^2(A/B)_r$ = Variância da razão entre as concentrações dos nutrientes A e B da população de referência;

$s^2(B/A)_b$ = Variância da razão entre as concentrações dos nutrientes B e A da população de baixa produtividade;

$s^2(B/A)_r$ = Variância da razão entre as concentrações dos nutrientes B e A da população de referência.

As normas foram obtidas a partir das relações na população de alta produtividade. Para as relações que foram selecionadas, e, mesmo assim, apresentaram CV > 35%, se procedeu a transformação dos dados.

3.3 Resultados e Discussão

A maioria dos valores referentes aos CV para a população de alta produtividade ficaram abaixo de 35%, com exceção do S e dos micronutrientes Cu, Fe, Mn, Mo e Ni (Tabela 1). Quanto menor o CV, menor a amplitude dos valores dos teores dos nutrientes, obtendo-se normas DRIS mais confiáveis e exatas para melhores estimativas no cálculo dos índices DRIS. Em trabalho para obtenção de normas DRIS em cana-de-açúcar em sistema de sequeiro, Calheiros et al. (2018b) também encontraram CV > 35% para os nutrientes S e Mn. Vários trabalhos também relatam

altos CV para micronutrientes em diversas culturas (SANTANA et al., 2008; FARNEZI, SILVA e GUIMARÃES, 2009; DIAS et al., 2010; SALDANHA et al., 2017).

Para a produtividade verificou-se que o CV foi menor no grupo de alta produtividade, em comparação ao grupo de baixa produtividade, com valores de 4,18 e 9,34%, respectivamente (Tabela 1). Isso indicou menor amplitude dos dados na população de alta produtividade. Adicionalmente, as produtividades das populações diferiram estatisticamente ($p < 0,05$), referenciando a escolha de 110 Mg ha⁻¹ para distinguir esses dois grupos de populações (Tabela 1).

Os teores médios dos nutrientes Fe, B e Ni apresentaram diferença estatística entre as populações de alta e baixa produtividade (Tabela 1), sugerindo que esses nutrientes variaram com a produtividade e pode indicar desequilíbrio nutricional porque os teores desses nutrientes na população de baixa produtividade foram bem mais elevados, principalmente Fe e Ni.

Para compor as normas DRIS, 78 relações duais entre os nutrientes foram selecionadas, considerando os valores médios da razão das variâncias entre as populações de baixa e de alta produtividade das 156 relações possíveis (Tabela 2). Depois de selecionadas as relações para compor as Normas DRIS, indicou-se quais relações precisam ter seus dados transformados para reduzir o CV e torná-lo inferior a 35%.

Os CV das relações selecionadas para compor as normas DRIS pelos critérios empregados foram variáveis. Observou-se que quase todas as relações diretas e inversas originadas dos nutrientes S, Cu, Fe, Mn, Mo e Ni apresentaram CV > 35%, com exceção das relações K/Fe (32,01), B/Mn e Zn/Fe (31,93), o que corrobora com os altos CV dos teores médios dos nutrientes (Tabela 1). A presença de relações com altos CV ocorreu também para outros nutrientes que não haviam apresentado tal comportamento em seus teores individuais, provavelmente pelo agrupamento de CV. Calheiros et al. (2018b) também encontraram resultados semelhantes ao estabelecer normas DRIS para cana-de-açúcar em sistema de sequeiro no estado de Alagoas. Os autores encontraram CV que variaram de 16,2% (P/K) a 78,3% (Mn/Ca). Portanto, os valores dos CV das relações entre os nutrientes das normas geradas nesse estudo podem ser considerados adequados.

Tabela 1 – Médias (Md), medianas (Med), valores mínimos (Min), máximos (Max), desvio-padrão (s), coeficiente de variação (CV), variância (s²), coeficiente de assimetria (Assim) e coeficiente de curtose (Curt) da produtividade agrícola (TCH) e teores foliares de dos grupos de alta e baixa produtividade de cana-de-açúcar fertirrigada na safra 2017/2018 na Destilaria Japungu na Paraíba

Variável	Md	Med	Min	Max	S	CV	s ²	Assim	Curt	Prob ⁽¹⁾
População de Alta Produtividade (PAP) (≥110 Mg ha ⁻¹)										
TCH (Mg ha ⁻¹)	115,70	114,00	110,00	123,00	4,832	4,18	23,3444	0,474	1,422	(p<0,05)
N (g kg ⁻¹)	18,08	15,06	12,61	28,85	6,224	34,42	38,7441	0,708	1,568	Ns
P (g kg ⁻¹)	0,45	0,43	0,28	0,61	0,123	27,15	0,0150	0,036	1,300	Ns
K (g kg ⁻¹)	12,73	12,71	12,49	13,04	0,185	6,76	0,0341	0,153	1,599	Ns
Ca (g kg ⁻¹)	1,06	1,08	0,69	1,41	0,221	20,76	0,0487	0,161	1,853	Ns
Mg (g kg ⁻¹)	0,69	0,69	0,53	0,90	0,140	20,34	0,0197	0,135	1,187	Ns
S (g kg ⁻¹)	0,42	0,36	0,16	0,84	0,200	47,50	0,0406	0,743	2,372	Ns
Cu (mg kg ⁻¹)	7,17	4,58	3,45	15,25	4,547	63,42	20,6784	0,772	1,738	Ns
Fe (mg kg ⁻¹)	42,58	35,73	26,95	79,05	17,098	40,15	292,3357	1,009	2,512	(p<0,001)
Zn (mg kg ⁻¹)	14,11	13,58	11,60	18,60	2,320	16,44	5,3803	0,503	1,800	Ns
Mn (mg kg ⁻¹)	11,03	10,31	4,25	24,75	5,457	49,50	29,7840	1,317	4,312	Ns
B (mg kg ⁻¹)	4,59	4,56	3,40	7,48	1,217	26,51	1,4815	1,097	3,411	(p<0,01)
Mo (mg kg ⁻¹)	0,14	0,10	0,05	0,30	0,088	65,44	0,0078	0,626	1,797	Ns
Ni (mg kg ⁻¹)	0,78	0,53	0,40	1,75	0,495	63,47	0,2451	0,908	2,062	(p<0,001)
População de Baixa Produtividade (PBP) (<110 Mg ha ⁻¹)										
TCH (Mg ha ⁻¹)	99,88	102,50	77,00	108,00	9,344	9,36	87,3167	1,031	2,935	
N (g kg ⁻¹)	17,57	15,69	13,31	28,57	4,824	27,45	23,2662	1,102	2,777	
P (g kg ⁻¹)	0,53	0,48	0,30	1,12	0,234	44,36	0,0546	1,284	3,690	
K (g kg ⁻¹)	12,63	12,60	12,38	13,04	0,200	7,61	0,0399	0,754	2,803	
Ca (g kg ⁻¹)	1,20	1,23	0,75	1,82	0,274	22,80	0,0748	0,251	2,641	
Mg (g kg ⁻¹)	0,67	0,65	0,50	0,86	0,109	16,25	0,0118	0,272	1,758	
S (g kg ⁻¹)	0,41	0,33	0,11	1,16	0,254	62,64	0,0646	1,590	5,178	
Cu (mg kg ⁻¹)	6,71	4,85	3,80	14,95	3,872	57,73	14,9886	1,103	2,350	
Fe (mg kg ⁻¹)	52,13	39,98	28,40	234,10	49,411	94,79	2441,4757	3,087	11,513	
Zn (mg kg ⁻¹)	14,00	13,70	10,00	18,35	2,707	19,34	7,3280	0,289	1,750	
Mn (mg kg ⁻¹)	11,26	8,25	4,63	36,00	9,204	81,73	84,7126	1,763	4,753	
B (mg kg ⁻¹)	6,92	6,00	3,12	12,32	2,974	42,99	8,8445	0,295	1,455	
Mo (mg kg ⁻¹)	0,23	0,25	0,05	0,40	0,121	53,07	0,0147	0,230	1,844	
Ni (mg kg ⁻¹)	2,38	0,78	0,35	19,65	4,807	202,13	23,1073	2,880	10,443	

⁽¹⁾Probabilidade da significância pelo teste t de Student entre as médias (Md) dos teores de nutrientes e da produtividade agrícola dos grupos de alta e baixa produtividade.

Tabela 2 - Média (Md), coeficiente de variação (CV), variância da população de alta produtividade (s^2a) e baixa produtividade (s^2b), razão entre variâncias (s^2b/s^2a), seleção e identificação da necessidade de transformação (T.) das relações entre os teores de nutrientes dos grupos de alta e baixa produtividade de cana-de-açúcar fertirrigada na safra 2017/2018 na Destilaria Japungu na Paraíba

Relação	População de Alta Produtividade (PAP)			População de Baixa Produtividade (PBP)			s^2b/s^2a	Seleção	T.
	Md	CV	s^2a	Md	CV	s^2b			
N/P	45,79	59,21	735,08	39,17	49,4	374,44	0,51		
P/N	0,03	48,56	1,95 ⁽³⁾	0,03	54,41	3,11 ⁽³⁾	1,59	X	X
N/K	1,42	34,85	5,36	6,76	30,23	4,17	0,78	X	
K/N	0,77	28,66	2,24 ⁽²⁾	0,16	24,73	1,54 ⁽²⁾	0,69		
N/Ca	18,17	49,24	80,03	15,35	36,07	30,66	0,38		
Ca/N	0,07	38,88	6,45 ⁽³⁾	0,07	29,18	4,40 ⁽³⁾	0,68	X	X
N/Mg	28,25	49,01	191,65	27,36	37,29	104,12	0,54	X	X
Mg/N	0,04	42,19	3,32 ⁽³⁾	0,04	32,51	1,77 ⁽³⁾	0,53		
N/S	57,06	85,21	2363,9	57,47	56,32	1047,49	0,44		
S/N	0,03	56,95	2,32 ⁽³⁾	0,03	76,41	3,65 ⁽³⁾	1,57	X	X
N/Cu	3,23	50,26	2,63	3,29	48,57	2,55	0,97	X	X
Cu/N	0,42	66,97	7,84 ⁽¹⁾	0,41	66,91	7,59 ⁽¹⁾	0,97		
N/Fe	0,47	39,62	3,42 ⁽¹⁾	0,44	39,5	3,03 ⁽¹⁾	0,89		
Fe/N	2,55	49,57	1,6	3,31	116,17	14,79	9,24	X	X
N/Zn	1,29	29,35	0,14	1,28	28,25	0,13	0,92	X	
Zn/N	0,84	31,78	7,19 ⁽¹⁾	0,83	25,64	4,57 ⁽¹⁾	0,64		
N/Mn	2,09	74,04	2,4	2,09	41,03	0,74	0,31		
Mn/N	0,68	55,62	0,14	0,64	71,86	0,21	1,47	X	X
N/B	3,98	28,57	1,29	3,01	48,96	2,17	1,68		
B/N	0,27	22,54	3,60 ⁽²⁾	0,41	45,5	35,05 ⁽²⁾	9,75	X	
N/Mo	196,75	81,83	25922,35	211,59	209,41	196316,5	7,57	X	X
Mo/N	0,01	52,23	0,16 ⁽³⁾	0,01	63,47	0,83 ⁽³⁾	5,19		
N/Ni	30,71	64,38	390,99	23,72	62,92	222,75	0,57		
Ni/N	0,05	59,18	0,74 ⁽²⁾	0,12	164,01	36,71 ⁽²⁾	49,94	X	X
P/K	0,04	29,57	2,43 ⁽²⁾	0,2	41,43	6,81 ⁽²⁾	2,81	X	
K/P	30,26	29,46	3,66	5,67	32,09	3,31	0,9		
P/Ca	0,44	36,06	2,54 ⁽¹⁾	0,45	44,32	4,00 ⁽¹⁾	1,57	X	X
Ca/P	2,5	31,35	0,62	2,57	37,09	0,91	1,47		
P/Mg	0,66	19,73	1,68 ⁽¹⁾	0,79	39,8	9,85 ⁽¹⁾	5,87	X	
Mg/P	1,58	21,89	0,12	1,43	32,02	0,21	1,75		
P/S	1,27	48,57	0,38	1,73	71,06	1,52	3,96	X	X
S/P	1,01	60,18	0,37	0,91	82,6	0,56	1,53		
P/Cu	0,09	59,68	2,61 ⁽²⁾	0,1	63,39	4,02 ⁽²⁾	1,54	X	X
Cu/P	16,87	62,23	110,2	15,05	72,23	118,16	1,07		

Continua...

Tabela 2 - Continuação...

Relação	População de Alta Produtividade (PAP)			População de Baixa Produtividade (PBP)			s ² b/s ² a	Seleção	T.
	Md	CV	s ² a	Md	CV	s ² b			
P/Fe	0,01	45,38	0,29 ⁽³⁾	0,01	70,6	0,96 ⁽³⁾	3,28		
Fe/P	100,03	42,81	1833,9	121,75	120,59	21553,52	11,75	X	X
P/Zn	0,03	33,55	1,22 ⁽³⁾	0,04	48,11	3,51 ⁽³⁾	2,87	X	
Zn/P	33,67	34,03	131,24	30,43	36,78	125,24	0,95		
P/Mn	0,05	38,46	3,37 ⁽³⁾	0,07	74,92	25,09 ⁽³⁾	7,44	X	X
Mn/P	26,23	66,96	308,51	24,08	82,51	394,92	1,28		
P/B	0,11	40,59	1,86 ⁽²⁾	0,09	56,71	2,55 ⁽²⁾	1,37		
B/P	11,3	50,76	32,88	14,89	55,05	67,23	2,05	X	X
P/Mo	5,02	63,67	10,22	5,33	184,78	97,08	9,5	X	X
Mo/P	0,35	91,53	10,28 ⁽¹⁾	0,5	68,43	11,59 ⁽¹⁾	1,13		
P/Ni	0,76	50,48	14,71 ⁽¹⁾	0,88	94,8	69,80 ⁽¹⁾	4,74		
Ni/P	1,89	79,5	2,26	6,83	235,07	257,89	113,94	X	X
K/Ca	12,51	23,57	0,4	2,32	28,59	0,44	1,1		
Ca/K	0,08	22,22	7,54 ⁽²⁾	0,46	27,84	16,64 ⁽²⁾	2,21	X	
K/Mg	19,15	20,86	0,73	4,01	15,78	0,4	0,55		
Mg/K	0,05	20,34	2,65 ⁽²⁾	0,26	16,89	1,86 ⁽²⁾	0,7	X	
K/S	36,64	48,59	14,57	8,61	56,4	23,6	1,62	X	X
S/K	0,03	51,2	6,45 ⁽²⁾	0,15	62,58	9,39 ⁽²⁾	1,46		
K/Cu	2,37	48,31	6,07 ⁽¹⁾	0,49	38,37	3,47 ⁽¹⁾	0,57		
Cu/K	0,56	63,6	2,81	2,57	57,59	2,19	0,78	X	X
K/Fe	0,33	32,01	5,28 ⁽³⁾	0,07	33,23	4,72 ⁽³⁾	0,89		
Fe/K	3,34	39,32	37,73	19,77	91,73	328,7	8,71	X	X
K/Zn	0,92	18,96	1,42 ⁽²⁾	0,19	20,64	1,61 ⁽²⁾	1,13	X	
Zn/K	5,2	20,04	1,09	5,36	20,18	1,17	1,07		
K/Mn	1,41	53,22	2,64 ⁽¹⁾	0,33	44,64	2,16 ⁽¹⁾	0,82		
Mn/K	0,87	55,41	5,24	4,38	86,42	14,34	2,74	X	X
K/B	2,92	21,05	1,71 ⁽¹⁾	0,45	41,03	3,40 ⁽¹⁾	1,98		
B/K	0,36	23,58	0,16	2,62	41,39	1,18	7,52	X	
K/Mo	138,38	59,36	304,04	28,72	197,83	3228,42	10,62	X	X
Mo/K	0,01	63,77	9,80 ⁽³⁾	0,09	53,17	21,24 ⁽³⁾	2,17		
K/Ni	21,4	43,93	4,01	3,88	70,28	7,42	1,85		
Ni/K	0,06	60,29	2,90 ⁽¹⁾	0,95	212,96	406,36 ⁽¹⁾	139,93	X	X
Ca/Mg	1,6	28,25	0,2	1,84	28,88	0,28	1,39	X	
Mg/Ca	0,68	30,11	4,16 ⁽¹⁾	0,59	27,99	2,69 ⁽¹⁾	0,65		
Ca/S	3,09	53,87	2,78	3,93	59,17	5,39	1,94		
S/Ca	0,42	52,85	0,05	0,37	89,68	0,11	2,2	X	X
Ca/Cu	0,2	47,72	8,71 ⁽²⁾	0,22	40,82	8,16 ⁽²⁾	0,94		
Cu/Ca	6,96	64,69	20,25	6,03	75,47	20,75	1,02	X	X
Ca/Fe	0,03	40,93	1,32 ⁽³⁾	0,03	38,28	1,36 ⁽³⁾	1,03		
Fe/Ca	41,66	42,07	307,23	51,17	137,49	4948,68	16,11	X	X
Ca/Zn	0,08	25,52	3,84 ⁽³⁾	0,09	26,06	5,30 ⁽³⁾	1,38		

Continua...

Tabela 2 - Continuação...

Relação	População de Alta Produtividade (PAP)			População de Baixa Produtividade (PBP)			s ² b/s ² a	Seleção	T.
	Md	CV	s ² a	Md	CV	s ² b			
Zn/Ca	13,77	24,78	11,64	12,33	35,63	19,31	1,66	X	
Ca/Mn	0,12	59,47	4,97 ⁽²⁾	0,15	50,59	5,43 ⁽²⁾	1,09		
Mn/Ca	10,72	45,28	23,55	9,11	62,23	32,14	1,36	X	X
Ca/B	0,25	36,19	7,99 ⁽²⁾	0,21	51,7	11,89 ⁽²⁾	1,49		
B/Ca	4,55	36,04	2,69	6,16	52,1	10,3	3,83	X	X
Ca/Mo	11,76	65,53	59,37	6,3	103,4	42,46	0,72		
Mo/Ca	0,14	77,3	1,12 ⁽¹⁾	0,21	63,82	1,76 ⁽¹⁾	1,57	X	X
Ca/Ni	1,78	51,47	0,84	1,71	78,67	1,81	2,16		
Ni/Ca	0,75	59,7	19,88 ⁽¹⁾	2,22	186,64	1718,00 ⁽¹⁾	86,4	X	X
Mg/S	1,93	42,86	0,68	2,26	69,55	2,48	3,62	X	X
S/Mg	0,63	54,6	0,12	0,63	69,83	0,2	1,64		
Mg/Cu	0,13	48,61	3,71 ⁽²⁾	0,13	44,29	3,17 ⁽²⁾	0,86		
Cu/Mg	10,4	60,65	39,78	10,77	69,51	56,03	1,41	X	X
Mg/Fe	0,02	40,4	0,55 ⁽³⁾	0,02	38,66	0,43 ⁽³⁾	0,77		
Fe/Mg	65,12	51,42	1121,22	82,34	106,96	7756,91	6,92	X	X
Mg/Zn	0,05	32,09	2,66 ⁽³⁾	0,05	26,31	1,71 ⁽³⁾	0,64		
Zn/Mg	21,51	30,24	42,33	21,56	27,65	35,53	0,84	X	
Mg/Mn	0,08	46,75	1,23 ⁽²⁾	0,09	52,85	2,06 ⁽²⁾	1,67		
Mn/Mg	16,79	61,68	107,28	18,18	97,45	313,73	2,92	X	X
Mg/B	0,16	35,27	3,24 ⁽²⁾	0,12	49,92	3,47 ⁽²⁾	1,07		
B/Mg	7,08	43,09	9,32	10,79	49,35	28,37	3,04	X	X
Mg/Mo	7,69	65,31	25,22	3,36	69,76	5,5	0,22		
Mo/Mg	0,21	80,58	2,99 ⁽¹⁾	0,34	55,79	3,69 ⁽¹⁾	1,23	X	X
Mg/Ni	1,19	49,77	0,35	1	74,4	0,56	1,6		
Ni/Mg	1,24	80,74	1	3,78	207,67	61,69	61,95	X	X
S/Cu	0,09	75,2	4,23 ⁽²⁾	0,07	56,06	1,47 ⁽²⁾	0,35	X	X
Cu/S	23,85	107,62	658,95	19,88	59	137,59	0,21		
S/Fe	0,01	62,9	0,54 ⁽³⁾	0,01	51,34	0,22 ⁽³⁾	0,41		
Fe/S	129,66	71,25	8534,6	148,75	75,64	12658,12	1,48	X	X
S/Zn	0,03	57,01	3,32 ⁽³⁾	0,03	54,99	2,50 ⁽³⁾	0,75	X	X
Zn/S	42,12	58,45	605,97	44,12	47,56	440,24	0,73		
S/Mn	0,04	41,58	3,02 ⁽³⁾	0,05	58,44	7,49 ⁽³⁾	2,48		
Mn/S	28,57	46,63	177,49	35,42	97,85	1201,27	6,77	X	X
S/B	0,1	60,06	3,67 ⁽²⁾	0,07	74,43	2,71 ⁽²⁾	0,74		
B/S	13,62	59,49	65,6	22,38	64,32	207,14	3,16	X	X
S/Mo	4,9	96,19	22,2	1,82	86,63	2,5	0,11		
Mo/S	0,39	81,16	0,1	0,73	66,5	0,24	2,33	X	X
S/Ni	0,74	64,87	0,23	0,55	82,79	0,2	0,9		
Ni/S	2,34	84,07	3,88	6,35	187,6	141,93	36,59	X	X
Cu/Fe	0,18	56,45	9,80 ⁽²⁾	0,15	53,4	6,62 ⁽²⁾	0,68	X	X
Fe/Cu	7,57	60,19	20,79	8,09	42,24	11,67	0,56		

Continua...

Tabela 2 - Continuação...

Relação	População de Alta Produtividade (PAP)			População de Baixa Produtividade (PBP)			s ² b/s ² a	Seleção	T.
	Md	CV	s ² a	Md	CV	s ² b			
Cu/Zn	0,53	68,92	0,13	0,47	47,39	0,05	0,38		
Zn/Cu	2,64	48,56	1,65	2,52	39,86	1,01	0,61	X	X
Cu/Mn	0,79	72,48	0,32	0,8	69,11	0,3	0,94	X	X
Mn/Cu	2,1	73,24	2,37	1,92	74,63	2,04	0,86		
Cu/B	1,66	66,12	1,21	1,15	75,39	0,75	0,62		
B/Cu	0,88	60,67	0,28	1,27	58,75	0,56	1,97	X	X
Cu/Mo	95,07	114,87	11924,7	38,22	146,5	3134,56	0,26		
Mo/Cu	0,03	84,25	5,41 ⁽³⁾	0,04	63,39	6,61 ⁽³⁾	1,22	X	X
Cu/Ni	12,58	79,59	100,26	9,95	100,67	100,25	1		
Ni/Cu	0,16	91,71	0,02	0,44	218,17	0,91	44,31	X	X
Fe/Zn	3,05	39,43	1,45	3,67	77,49	8,08	5,57	X	X
Zn/Fe	0,37	31,93	1,37 ⁽¹⁾	0,34	33,57	1,32 ⁽¹⁾	0,96		
Fe/Mn	4,42	42,7	3,57	5,97	80,15	22,89	6,42	X	X
Mn/Fe	0,28	61,44	0,03	0,27	82,98	0,05	1,62		
Fe/B	9,5	35,42	11,33	8,91	91,96	67,12	5,92	X	X
B/Fe	0,12	40,65	2,34 ⁽²⁾	0,17	55,87	9,53 ⁽²⁾	4,08		
Fe/Mo	478,75	82,01	154149,2	244,3	86,71	44877,05	0,29		
Mo/Fe	0	74,4	0,71 ⁽⁴⁾	0,01	67,92	1,48 ⁽⁴⁾	2,09	X	X
Fe/Ni	65,45	39,32	662,26	56,91	53,69	933,63	1,41		
Ni/Fe	0,02	69,44	1,76 ⁽³⁾	0,06	248,34	208,80 ⁽³⁾	118,5	X	X
Zn/Mn	1,57	55,06	0,74	1,73	46,5	0,65	0,87		
Mn/Zn	0,81	56,31	0,21	0,81	77,43	0,4	1,91	X	X
Zn/B	3,21	25,32	0,66	2,39	42,21	1,02	1,54		
B/Zn	0,33	24,42	6,46 ⁽²⁾	0,51	48,25	60,19 ⁽²⁾	9,32	X	
Zn/Mo	147,75	59,84	7816,65	72,55	92,51	4505,19	0,58		
Mo/Zn	0,01	57,94	2,91 ⁽⁴⁾	0,02	51,57	7,23 ⁽⁴⁾	2,48	X	X
Zn/Ni	23,56	47,11	123,15	20,42	72,86	221,34	1,8		
Ni/Zn	0,06	57,52	1,01 ⁽²⁾	0,18	222,47	164,12 ⁽²⁾	162,33	X	X
Mn/B	2,62	60,92	2,55	1,94	93,95	3,34	1,31		
B/Mn	0,37	31,93	1,37 ⁽¹⁾	0,86	61,53	28,03 ⁽¹⁾	20,39	X	
Mn/Mo	137,89	103,81	20487,92	77,76	222,3	29881,49	1,46	X	X
Mo/Mn	0,02	115,06	3,99 ⁽³⁾	0,03	68	4,63 ⁽³⁾	1,16		
Mn/Ni	18,77	62,85	139,13	15,04	91,27	188,48	1,35		
Ni/Mn	0,1	119,16	1,32 ⁽¹⁾	0,26	192,04	24,74 ⁽¹⁾	18,74	X	X
B/Mo	46,9	60,18	796,54	40,77	110,88	2043,51	2,57		
Mo/B	0,03	48,24	1,86 ⁽³⁾	0,04	76,15	9,45 ⁽³⁾	5,07	X	X
B/Ni	7,2	40,17	8,35	10,87	95,96	108,87	13,04		
Ni/B	0,16	43,41	0,50 ⁽¹⁾	0,47	237,79	124,96 ⁽¹⁾	251,87	X	X
Mo/Ni	0,21	78,85	2,72 ⁽¹⁾	0,37	103,6	14,58 ⁽¹⁾	5,35		
Ni/Mo	7,58	76,35	33,46	10,68	179,83	369,03	11,03	X	X

⁽¹⁾valor multiplicado por 100; ⁽²⁾ valor multiplicado por 1000; valor multiplicado por 10000; ⁽⁴⁾ valor multiplicado por 100000.

As relações duais entre os nutrientes selecionadas, que não apresentaram $CV \leq 35\%$ foram transformadas, proporcionando a normalização dos dados. A transformação é sugerida por alguns autores (BEVERLY, 1986; CALHEIROS et al., 2018b) como forma de correção dos desvios de simetria e CV dos valores dos quocientes e possibilita a utilização de todas as relações duais entre os nutrientes. Dessa forma, os valores das relações duais que foram submetidos à transformação, juntamente com aqueles em que não foi necessária a transformação, formaram as normas DRIS para cana-de-açúcar fertirrigada (Tabela 3).

Após as transformações dos dados, todas as relações passaram a apresentar $CV < 35\%$, com exceção da relação Fe/S que o CV foi de 35,34% (Tabela 3). Adicionalmente, as relações Ni/P, Mn/Mg, Ni/Mg, Ni/Fe e Ni/Mn apresentaram após a transformação $Assim > 1$ (Tabela 3).

A simetria é uma medida da forma de distribuição dos dados quanto à distribuição da curva normal (FREITAS et al., 2008). Esse coeficiente quantifica o desvio de uma distribuição em relação a uma distribuição simétrica e o sinal resultante do seu cálculo fornece o tipo de assimetria da distribuição. Na assimetria positiva a cauda mais longa está à direita, enquanto na negativa apresenta-se à esquerda. Saldanha et al. (2017) também obtiveram valores de $Assim > 1$ nas relações B/K (1,15), Zn/K (1,48), B/Ca (1,28), Cu/Ca (1,30), B/S (1,02) e Zn/Fe (1,28), utilizando o critério de maior razão entre as variâncias das populações de baixa e alta produtividade para selecionar as normas DRIS.

É possível que uma transformação Box & Cox (BOX; COX, 1964) torne essas relações simétricas, porém esse efeito só ocorreu para Ni e foi potencializado na relação Ni/Mn (Tabela 3). O CV dos teores de Ni foi muito elevado (Tabela 1) e influenciou suas relações com outros nutrientes. Essa variação do teor de Ni deve estar relacionada com seu baixo limite de detecção.

Tabela 3 - Média (Md), desvio-padrão (S), coeficiente de variação (CV), coeficiente de assimetria (Assim), coeficiente de curtose (Curt) e transformação (T.) das relações entre os nutrientes selecionadas como normas DRIS para cana-de-açúcar fertirrigada na safra 2017/2018 na Destilaria Japungu na Paraíba

Relação	Md	S	CV	Assim	Curt	T. ⁽¹⁾	Relação	Md	S	CV	Assim	Curt	T. ⁽¹⁾
P/N	0,16	0,04	26,33	0,169	1,305	1	B/Ca	2,10	0,38	18,04	0,240	1,810	1
N/K	1,42	2,32	34,85	0,718	1,708	-	Mo/Ca	1,07	0,05	4,56	0,893	2,346	2
Ca/N	1,03	0,01	1,19	0,069	1,770	2	Ni/Ca	0,83	0,25	29,47	0,526	1,647	1
N/Mg	5,18	1,27	24,43	0,401	1,279	1	Mg/S	1,36	0,30	22,20	0,010	2,164	1
S/N	0,16	0,05	31,11	0,094	1,661	1	Cu/Mg	3,11	0,90	28,95	0,733	2,249	1
N/Cu	1,74	0,47	26,76	0,086	2,052	1	Fe/Mg	7,87	1,88	23,86	0,934	3,066	1
Fe/N	1,56	0,37	23,50	0,780	2,254	1	Zn/Mg	21,51	6,51	30,24	0,012	1,205	-
N/Zn	1,29	0,38	29,35	0,211	1,694	-	Mn/Mg	3,96	1,10	27,70	1,151	3,766	1
Mn/N	1,69	0,09	5,37	0,791	2,258	2	B/Mg	2,61	0,53	20,41	0,790	2,622	1
B/N	0,27	0,06	22,54	0,569	1,881	-	Mo/Mg	1,10	0,08	6,93	0,829	2,051	2
N/Mo	2,19	0,30	13,53	0,663	1,862	3	Ni/Mg	1,47	0,30	20,55	1,101	2,484	2
Ni/N	0,21	0,06	30,42	0,258	1,724	1	S/Cu	1,04	0,03	2,97	0,481	1,491	2
P/K	0,04	0,05	29,57	0,336	1,595	-	Fe/S	10,84	3,83	35,34	0,526	1,727	2
P/Ca	0,66	0,11	17,44	0,604	2,158	1	S/Zn	1,02	0,01	0,88	0,617	1,900	2
P/Mg	0,66	0,13	19,73	0,225	1,569	-	Mn/S	5,22	1,20	22,96	0,456	1,854	1
P/S	1,50	0,20	13,47	0,314	2,103	2	B/S	3,55	1,06	29,95	0,383	1,780	1
P/Cu	0,28	0,09	31,69	0,120	1,237	1	Mo/S	1,17	0,13	11,04	0,801	2,425	2
Fe/P	1,96	0,19	9,86	0,128	1,582	3	Ni/S	1,77	0,50	28,27	0,714	1,892	2
P/Zn	0,03	0,01	33,55	0,248	1,355	-	Cu/Fe	0,40	0,11	28,09	0,419	2,068	1
P/Mn	0,21	0,05	21,59	0,666	2,451	1	Zn/Cu	1,57	0,43	27,66	0,424	1,319	1
B/P	3,28	0,79	24,03	0,787	2,322	1	Cu/Mn	1,32	0,21	15,61	0,484	1,508	2
P/Mo	2,37	0,67	28,26	0,016	1,668	2	B/Cu	0,90	0,28	31,59	0,197	1,762	1
Ni/P	1,66	0,39	23,51	1,199	3,112	2	Mo/Cu	1,01	0,01	1,13	0,809	2,682	2
Ca/K	0,08	0,09	22,22	0,037	1,554	-	Ni/Cu	1,07	0,06	6,02	0,984	2,425	2
Mg/K	0,05	0,05	20,34	0,051	1,323	-	Fe/Zn	1,72	0,32	18,85	0,729	2,005	1
K/S	5,90	0,66	24,00	0,400	2,478	1	Fe/Mn	2,05	0,47	23,06	0,293	1,895	1
Cu/K	0,72	0,48	30,94	0,650	1,659	1	Fe/B	9,50	3,37	34,42	0,456	2,213	-
Fe/K	1,80	0,73	18,84	0,705	1,969	1	Mo/Fe	1,00	0,00	0,13	0,942	2,826	2
K/Zn	0,92	0,04	18,96	0,111	1,979	-	Ni/Fe	0,13	0,04	29,17	1,675	5,014	1
Mn/K	0,91	0,51	26,04	0,782	3,394	1	Mn/Zn	0,87	0,23	26,34	0,819	3,409	1
B/K	0,36	0,40	23,58	0,993	3,397	-	B/Zn	0,33	0,08	24,42	0,274	1,854	-
K/Mo	11,25	1,63	31,46	0,121	1,283	1	Mo/Zn	0,09	0,03	29,72	0,264	1,620	1
Ni/K	0,24	0,15	28,90	0,735	1,758	1	Ni/Zn	0,23	0,06	28,61	0,480	1,358	1
Ca/Mg	1,60	0,45	28,25	0,059	1,147		B/Mn	0,37	0,12	31,93	0,173	1,587	
S/Ca	0,63	0,17	27,32	0,188	1,209	1	Mn/Mo	1,96	0,43	22,11	0,081	2,232	3
Cu/Ca	2,53	0,80	31,68	0,622	1,540	1	Ni/Mn	1,05	0,05	4,98	1,966	5,605	2
Fe/Ca	6,33	1,34	21,17	0,260	1,426	1	Mo/B	0,16	0,04	26,45	0,234	1,257	1
Zn/Ca	13,77	3,41	24,78	0,479	2,710		Ni/B	0,39	0,08	21,30	0,471	1,861	1
Mn/Ca	3,19	0,77	24,05	0,145	2,032	1	Ni/Mo	2,81	0,89	31,56	0,843	2,986	2

⁽¹⁾1 - \sqrt{x} ; 2 - $\sqrt{x+1}$; 3 - $\text{Log}(x)$

Tabela 4 - Teste de normalidade Kolmogorov – Smirnov para as relações entre nutrientes selecionadas como Normas DRIS para cana-de-açúcar fertirrigada na safra 2017/2018 na Destilaria Japungu na Paraíba

Relação	P-valor	Relação	P-valor	Relação	P-valor	Relação	P-valor
P/N	0,1025	B/P	0,1469	Mo/Ca	0,2171	B/Cu	0,1541
N/K	0,2844	P/Mo	0,0828	Ni/Ca	0,1975	Mo/Cu	0,2133
Ca/N	0,1654	Ni/P	0,2775	Mg/S	0,0568	Ni/Cu	0,2140
N/Mg	0,3477	Ca/K	0,1660	Cu/Mg	0,1369	Fe/Zn	0,1684
S/N	0,1242	Mg/K	0,1924	Fe/Mg	0,2034	Fe/Mn	0,0607
N/Cu	0,1271	K/S	0,0665	Zn/Mg	0,1942	Fe/B	0,2216
Fe/N	0,1575	Cu/K	0,2394	Mn/Mg	0,2883	Mo/Fe	0,2141
N/Zn	0,1626	Fe/K	0,2559	B/Mg	0,1339	Ni/Fe	0,3292
Mn/N	0,1555	K/Zn	0,1367	Mo/Mg	0,2282	Mn/Zn	0,1169
B/N	0,1464	Mn/K	0,1141	Ni/Mg	0,3213	B/Zn	0,1849
N/Mo	0,2523	B/K	0,2170	S/Cu	0,3207	Mo/Zn	0,1735
Ni/N	0,1129	K/Mo	0,1179	Fe/S	0,1831	Ni/Zn	0,2386
P/K	0,1948	Ni/K	0,2655	S/Zn	0,2668	B/Mn	0,1216
P/Ca	0,1624	Ca/Mg	0,1922	Mn/S	0,2281	Mn/Mo	0,0904
P/Mg	0,1524	S/Ca	0,1754	B/S	0,1536	Ni/Mn	0,3334
P/S	0,0961	Cu/Ca	0,3200	Mo/S	0,143	Mo/B	0,1985
P/Cu	0,2786	Fe/Ca	0,1529	Ni/S	0,3188	Ni/B	0,1097
Fe/P	0,0954	Zn/Ca	0,2013	Cu/Fe	0,2206	Ni/Mo	0,1203
P/Zn	0,1914	Mn/Ca	0,1393	Zn/Cu	0,1078		
P/Mn	0,0590	B/Ca	0,1334	Cu/Mn	0,0968		

Para avaliar se a assimetria dessas relações tinha influenciado a distribuição normal dos dados, realizou-se o teste de Kolmogorov – Smirnov (KOLMOGOROV, 1993) e observou-se que todas as relações escolhidas para compor as normas DRIS apresentaram distribuição normal (Tabela 4). A importância de selecionar normas baseadas em uma distribuição normal é muito recomendada por vários autores (MOURÃO FILHO et al., 2002; REIS JUNIOR et al., 2002; SANTANA et al., 2008; FARNEZI et al., 2009; DIAS et al., 2010; SALDANHA et al., 2017; CALHEIROS et al., 2018b), caso contrário, a média calculada para uma relação entre nutrientes (normas DRIS) pode diferir do verdadeiro valor obtido em um cultivo de produtividade desejada (WALWORTH; SUMNER, 1987).

No entanto, Serra et al. (2010) determinando faixas normais de nutrientes no algodoeiro por diferentes métodos, incluindo o DRIS, testaram dois conjuntos de normas, com e sem transformação dos dados das relações entre os nutrientes, e concluíram que ambos os critérios utilizados para a seleção das normas foram eficientes em diagnosticar o estado nutricional da cultura, indicando que a

concordância entre os métodos na avaliação do estado nutricional do algodoeiro esteve entre 92,59 e 100%.

Embora alguns autores como Beaufils (1973), Sumner (1977) e Beverly et al. (1986) recomendem a criação de uma única norma para a aplicação do DRIS, outros têm contestado essa recomendação (WALWORTH; SUMNER 1987; LEANDRO, 1998; REIS JUNIOR; MONNERAT, 2002). Trabalhando com grãos, Walworth e Sumner (1987) e Leandro (1998) encontraram respostas diferenciadas para diferentes condições de solo. Segundo esses autores, normas regionais produzem maior exatidão no diagnóstico de deficiências ou desbalanços, do que aquelas produzidas em outras regiões. Reis Junior e Monnerat (2002), comparando normas DRIS para cana-de-açúcar em três diferentes países, concluíram que as normas utilizadas como universais geraram diagnósticos nutricionais diferentes.

A especificidade da norma e sua identificação com a regionalização do cultivo, e a preocupação com a distribuição normal dos dados devem ser recomendados quando se desejar estabelecer padrões de referência para diagnósticos nutricionais.

3.3 Conclusões

Os teores foliares dos nutrientes Fe, B e Ni diferiram entre as populações de alta e baixa produtividade, sugerindo desequilíbrio nutricional;

As relações duais dos teores foliares de S, Cu, Fe, Mn, Mo e Ni apresentaram alta variabilidade;

As transformações nos dados das relações nutricionais que apresentaram alto CV proporcionaram a obtenção de relações com distribuição normal;

As normas DRIS para a cana-de-açúcar fertirrigada foram estabelecidas e podem ser utilizadas como padrões de referência para diagnósticos nutricionais no Nordeste.

Referências

BAILEY, J.S.; BEATTIE, J.A.M.; KILPATRICK, D.J. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for diagnosing the nutrient status of grassland swards: I Model establishment. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.197, p.127-135, 1997.

BEAUFILS, E.R. **Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS)**. Pietermaritzburg, University of Natal, Pietermaritzburg, South Africa, 1973. 131p. (Soil Science Bulletin, 1)

BEIGUELMAN, B. **Curso prático de bioestatística**, Ribeirão Preto, SP: Fundação de Pesquisas Científicas de Ribeirão Preto, 2002.

BEVERLY, R.B.; SUMNER, M. E.; LETZSCH, W. S.; PLANK, C.O. Foliar diagnosis of soybean by DRIS. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 17, p. 237-256, 1986.

BOX, G. E. P.; COX, D. R. An analysis of transformation. **Journal of the Royal Statistical Society**. Series B (Methodological), London, v.26, n.2, p.211-252, 1964.<http://www.jstor.org/stable/2984418>

CALHEIROS, L.C.S.; FREIRE, F.J.; MOURA FILHO, G.; OLIVEIRA, E.C.A.; MOURA, A.B.; COSTA, J.V.T.; CRUIZ, F.J.R.; SANTOS, A.S.; RESENDE, J.S. Assessment of Nutrient Balance in Sugarcane Using DRIS and CND Methods. **Journal of Agricultural Science**, Toronto, v. 10, p. 164-179, 2018a.

CALHEIROS, L.C.S.; FREIRE, F.J.; MOURA FILHO, G.; OLIVEIRA, E.C.A.; MOURA, A.B.; COSTA, J.V.T.; CRUIZ, F.J.R.; SANTOS, A.S. Different criteria for determining DRIS standards influencing the nutritional diagnosis and potential fertilization response. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 12, p. 995-1007, 2018b.

CAMACHO, M.A.; SILVEIRA, M.V.S.; CAMARGO, R.A.; NATALE, W. Faixas normais de nutrientes pelos métodos ChM, DRIS e CND e nível crítico pelo método de distribuição normal reduzida para laranja-pera. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p.193-200, 2012.

CAVALHEIRO, A. J., COUTINHO, I. D., LEME, G. M., Da SILVA, A. A., Da SILVA, A. P. D. **Metabolômica de cana-de-açúcar e sua relação com a produção de biomassa vegetal para bioenergia**. Desenvolvimento, pesquisa e inovação, São Paulo, p. 15, 2012.

CONAB - Companhia Nacional do Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, V.3 - SAFRA 2016/17 - N.2** - Segundo levantamento, Brasília, ago. 2016.

CONAB - Companhia Nacional do Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, V. 4 - SAFRA 2017/18, N.4**- Quarto levantamento, Brasília, abr. de 2018.

DALRI, A.B.; CRUZ, R.L. Efeito da frequência de irrigação subsuperficial por gotejamento no desenvolvimento da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Irriga**, Botucatu, v.7, n.1, 2002. p.29-34.

DALRI, A.B.; CRUZ, R.L. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.3, 2008. p.516-524.

DALRI, A.B.; CRUZ, R.L.; GARCIA, J.B.; DUENHAS, L.H. Irrigação por gotejamento subsuperficial na produção e qualidade de cana-de-açúcar. **Irriga**, Botucatu, v.13, n.1, 2008. p.1-11.

DIAS, J. R. M.; WADT, P. G. S.; LEMOS, C. O.; DELARMELINDA, E. A.; SOLINO, J. S.; TAVELLA, L. B. Relações nutricionais log-tranformadas para avaliação nutricional de cupuaçueiros comerciais. **Revista Acta Amazônica**, Manaus, v.40, p.37-42, 2010.

FARNEZI, M.M.M.; SILVA, E.B.; GUIMARÃES, P.T.G. Diagnose nutricional de cafeeiros da região do Alto Jequitinhonha (MG): normas dris e faixas críticas de nutrientes. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p.969-978, 2009.

FREITAS, R. de F.; BARIONI JÚNIOR, W.; FERREIRA, R. de P.; CRUZ, C.D.; MOREIRA, A.; VILELA, D. Técnicas de análises exploratórias em dados de cultivares de alfafa. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Piracicaba, v. 37, n. 9, p. 1531-1536, 2008.

JONES, C.A. Proposed modifications of the Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) for interpreting plant analysis. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.12, p.785-794, 1981.

KOLMOGOROV, A. Sulla determinazione empirica di una legge di distribuizione. **Giornale dell' Istituto Italiano degli attuari**, Roma, v. 4, p.83-89, 1993.

LEANDRO, W.M. **Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) para a cultura da soja (*Glycine max* L. Merrill) na região de Rio Verde-GO**. 1998. 157f.

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**, New York, v.15 p.997-1006, 1984.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MATTIOLI, C.S.; FRIZZONE, J.A.; PAES, V.P.S.; FOLEGATTI, M.V. **Aumento de produtividade da cultura da cana-de-açúcar sob irrigação complementar na região de Ribeirão Preto – SP**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1998, Poços de Caldas. Anais... Lavras: UFLA/SBEA, 1998. v.2, p.16-18.

MOURÃO FILHO, F. A. A.; AZEVEDO, J. C.; NICK, J. A.. Funções e ordem da razão dos nutrientes no estabelecimento de normas DRIS em laranja Valência. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n.2, 185-192, 2002.
<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2002000200010>

OLIVEIRA E.C.A; FREIRE F.J; OLIVEIRA A.C.; SIMÕES NETO DE, ROCHA A, CARVALHO LA. Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.446 p.617–625, 2011.

PAYNE, G.G.; RECHCIGL, J.E.; STEPHENSON, R.L. Development of Diagnosis and Recommendation Integrated System norms for Bahiagrass. **Agronomy Journal**, Madison, v.82, p.930-934, 1990.

RAMAKRISHNA, A.; BAILEY, J.S.; KIRCHHOF, G. A preliminary diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) model for diagnosing the nutrient status of sweet potato (*Ipomoea batatas*). **Plant and Soil**, New York, v.316, p.107-116, 2009.

RATHFON, R.A.; BURGER, J.A. Diagnosis and recommendation integrated system modifications for Frase Fir Christmas Trees. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.55, p.1026-1031, 1991.

REIS JR., R.A. **Diagnose nutricional da cana-de-açúcar com o uso do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS)**. 1999. 141f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 1999.

REIS JUNIOR, R.A.; MONNERAT, P.H. Diagnose nutricional da cana-de açúcar em Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p.367-372, 2002.

ROCHA, A.C.; LEANDRO, W.M.; ROCHA, A.O.; SANTANA, J.G.; ANDRADE, J.W.S. Normas DRIS para a cultura do milho semeado em espaçamento reduzido na região de Hidrolândia, GO, Brasil. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.23, p.50-60, 2007.

SALDANHA, E.C.M; SILVA JUNIOR M.L; LINS P.M.P; FARIAS S.C.C; WADT P.G.S. Nutritional diagnosis in hybrid coconut cultivated in northastern Brazil through diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v.39, p.728-737, 2017.

SANTANA, J.G.; LEANDRO, W.M.; NAVES, R.V.; CUNHA, P.P. Normas DRIS para interpretação de análises de folhas e solo, em laranja pêra, na região central de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiás, v.38, p.109-117, 2008.

SERRA, A.P.; MARCHETTI, M.E.; VITORINI, A.C.T.; NOVELINO, J.O.; CAMACHO, M.A. DETERMINAÇÃO DE FAIXAS NORMAIS DE NUTRIENTES NO ALGODOEIRO PELOS MÉTODOS CHM, CND E DRIS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p.105-113, 2010.

SILVA, F.C. **Manual de análises químicas em solos, plantas e fertilizantes**. Editor técnico: Fábio Cesar da Silva, 2ª ed.rev.ampl. -Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.

SILVA, G.G.C.; NEVES, J.C. L.; ALVARES V., 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.

SUMNER, M.E. Use of the DRIS system in foliar diagnosis of crops at high yield levels. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.8, p.251-268, 1977.

USEPA - United States Environmental Protection Agency. Method 3050b: **acid digestion of sediments, sludges, and soils**. Revision 2. Washington: USEPA, 1996. 12p.

WALWORTH, J. L.; SUMNER, M. E. Foliar diagnosis: a review. **Advances in Plant Nutrition**, New York, v. 539, p. 193-240, 1988.

WALWORTH, J.L.; SUMNER, M.E. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). In: STEWART, B.A. (Ed.). **Advances in Soil Science**. New York: Springer, v.6, p.149-188, 1987.

4 DIAGNOSE NUTRICIONAL DA CANA-DE-AÇÚCAR FERTIRRIGADA PELOS MÉTODOS DRIS, M-DRIS E CND

Diagnose nutricional da cana-de-açúcar fertirrigada pelos métodos DRIS, M-DRIS e CND

RESUMO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, e produziu na safra 2017/2018 37,87 milhões de toneladas de açúcar e de 27,76 bilhões de litros de etanol. Algumas medidas são adotadas com o intuito de melhorar a produtividade da cultura, entre elas está a implantação de sistemas de irrigação. A agricultura irrigada é consumidora de grandes quantidades de água em todo o mundo, visando a melhor utilização deste recurso tem-se adotado o sistema de irrigação por gotejamento, que tem maior eficiência no uso da água além de aumentar a eficiência nutricional pelo uso da fertirrigação. No sistema de cultivo fertirrigado a demanda nutricional é maior e o diagnóstico nutricional é fundamental para o fornecimento de uma nutrição equilibrada. Esse diagnóstico pode ser realizado por diferentes métodos, sendo a faixa de suficiência ou o nível crítico os mais utilizados. Porém existem métodos mais eficientes, que podem se utilizar de valores regionais ou de referência proporcionando maior acurácia na diagnose do estado nutricional das plantas, como os métodos DRIS, M-DRIS e CND. Embora já existam estudos que realizaram diferentes métodos de diagnóstico para a cana-de-açúcar, estes foram realizados em sistema de sequeiro, onde as produtividades e demanda nutricional são menores. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi realizar a diagnose nutricional da cana-de-açúcar fertirrigada pelos métodos DRIS, M-DRIS e CND para detectar deficiência ou excesso de nutrientes e contribuir para melhoria da nutrição da cultura. Foram realizadas coletas de amostras de folha +1, de 26 talhões cultivados com cana-de-açúcar no sistema de fertirrigação por gotejamento na Destilaria Japungu na Paraíba e calculados os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn, B, Mo e Ni nas folhas. Foi realizado o diagnóstico nutricional da cultura pelos métodos DRIS, M-DRIS e CND e realizada a interpretação pelo método do potencial de resposta a adubação (PRA). Avaliou-se a concordância do diagnóstico pelos diferentes métodos estudados. O diagnóstico realizado pelo DRIS e M-DRIS indicaram o Mo como o principal nutriente limitante, e o Fe como nutriente potencialmente em excesso. O diagnóstico nutricional pelo método CND discordou dos métodos DRIS e do M-DRIS e indicou desequilíbrio de micronutrientes e deficiência de K. Os métodos propostos por este estudo podem ser adotados para o diagnóstico nutricional e a calibração de teores ótimos para a cultura da cana-de-açúcar fertirrigada, contribuindo efetivamente para o monitoramento de lavouras comerciais.

Palavras-chave: *Saccharum* spp. Diagnóstico. Nutrição. Gotejamento. Fertirrigação.

Nutritional diagnosis of sugar cane fertirrigated by DRIS, M-DRIS and CND methods

ABSTRACT

Brazil is the world's largest producer of sugarcane, producing in the 2017/2018 crop 37.87 million tons of sugar and 27.76 billion liters of ethanol. Some measures are adopted with the aim of improving the productivity of the crop, among them is the implantation of irrigation systems. Irrigated agriculture consumes large amounts of water around the world. In order to better use this resource, a drip irrigation system has been adopted, which has a greater efficiency in the use of water besides increasing the nutritional efficiency through the use of fertirrigation. In the fertigated cultivation system the nutritional demand is greater and the nutritional diagnosis is fundamental for the provision of a balanced nutrition. This diagnosis can be performed by different methods, with the sufficiency range or critical level being the most used. However, there are more efficient methods that can be used for regional or reference values, providing a better accuracy in the diagnosis of plant nutritional status, such as DRIS, M-DRIS and CND methods. Although there are already studies that performed different methods of diagnosis for sugarcane, these were carried out in a rainfed system, where productivity and nutritional demand are lower. Thus, the objective of this work was to perform the nutritional diagnosis of fermented sugarcane by DRIS, M-DRIS and CND methods to detect nutrient deficiency or excess and contribute to the improvement of crop nutrition. Samples of leaf + 1 samples were collected from 26 plots cultivated with sugarcane in the drip fertigation system at the Japungu Distillery in Paraíba and calculated the contents of N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn, B, Mo and Ni in the leaves. The nutritional diagnosis of the culture was performed using the DRIS, M-DRIS and CND methods and the interpretation of the potential of response to fertilization (PRA) was performed. The agreement of the diagnosis was evaluated by the different methods studied. The diagnosis performed by DRIS and M-DRIS indicated Mo as the main limiting nutrient, and Fe as a potentially excess nutrient. The nutritional diagnosis by the CND method disagreed with the DRIS and M-DRIS methods and indicated imbalance of micronutrients and K deficiency. The methods proposed by this study can be adopted for the nutritional diagnosis and the calibration of optimal contents for the sugarcane- fertirrigated sugarcane, effectively contributing to the monitoring of commercial crops.

Keywords: *Saccharum* spp. Diagnosis. Nutrition. Drip. Fertigation.

4.1 Introdução

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar. A produção na safra 2017/2018 foi de 37,87 milhões de toneladas de açúcar e de 27,76 bilhões de litros de etanol. A média da produtividade agrícola da cultura no país é de 72,54 Mg ha⁻¹ e concentrada no Centro-Sul, principalmente em São Paulo (CONAB, 2018).

Para que haja aumento na produtividade da cana-de-açúcar é necessária a adoção de melhorias no sistema de cultivo e o uso de tecnologias agrícolas, como a irrigação. Muitos estudos relataram aumento de produtividade devido a adoção de sistemas de irrigação no cultivo (SOARES et al., 2004; DALRI; CRUZ, 2008; CARR; KNOX, 2011; BARBOSA et al., 2012).

Entretanto, a agricultura irrigada é consumidora de grandes quantidades de água em todo o mundo. No Brasil, cerca de 69% de toda a água utilizada no país é consumida na irrigação (ANA, 2011). Assim, a utilização de métodos de irrigação mais eficientes no uso da água é imprescindível para a obtenção da sustentabilidade nos ambientes produtivos.

A irrigação por gotejamento é uma técnica que promove o uso mais eficiente da água de irrigação (LAMM et al., 1995), além de aumentar também a eficiência nutricional pelo uso de fertilizantes via fertirrigação, calibrando mais adequadamente a adubação das culturas. Essas calibrações normalmente são obtidas em ensaios de sequeiro e publicadas em manuais de adubação nos estados, que geram tabelas de recomendação. Nos sistemas de cultivo irrigados, as demandas nutricionais são mais elevadas e os diagnósticos nutricionais são imprescindíveis para o estabelecimento de uma nutrição mais equilibrada.

O planejamento, avaliação e calibração da adubação das culturas podem ser realizados por meio da diagnose nutricional de plantas. Diversos são os métodos de interpretação da diagnose foliar. As faixas de suficiência ou o nível crítico relatado na literatura são as mais utilizadas para essa interpretação (WALWORTH; SUMNER, 1987). Entretanto, a utilização de métodos que possam determinar valores regionais de referência para diagnose nutricional pode proporcionar maior acurácia quanto aos métodos utilizados na diagnose do estado nutricional das plantas (CAMACHO et al., 2012). Dentre esses métodos, destacam-se o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS), o DRIS modificado (M-DRIS) e a Diagnose da Composição Nutricional (CND).

O DRIS preconizado por Beaufils (1973) é um método de diagnóstico do estado nutricional de plantas, pelo qual os nutrientes são estudados por suas relações binárias (WALWORTH; SUMNER, 1988). Além do DRIS, destaca-se, também, o DRIS modificado (M-DRIS), que além de considerar as relações entre os nutrientes, incorpora os teores dos nutrientes nos seus cálculos (HALLMARK et al., 1987).

O CND assemelha-se ao DRIS, pois ordena a limitação dos nutrientes na planta (PARENT; DAFIR, 1992) e possui a vantagem de operacionalizar os nutrientes numa mesma unidade, além de possuir melhor fundamentação estatística, baseando-se na obtenção de variáveis multinutrientes (Z_i), cada uma delas ponderada pela média geométrica da composição nutricional.

A análise multivariada do CND fornece meios para definir uma subpopulação de alto rendimento (PARENT, CAMBOURIS e MUHAWENIMANA, 1994). Este método baseia-se no cálculo de um índice para cada nutriente, comparando-se as relações entre um nutriente e cada um dos demais nutrientes na amostra sob diagnose com as relações envolvendo esse mesmo nutriente em uma população de referência (CORRÊA et al., 2001; CANTARUTTI et al., 2007).

Em cana-de-açúcar já existe estudos que utilizaram diferentes métodos de diagnóstico nutricional e norteiam boas calibrações de adubação (REIS JUNIOR; MONERAT, 2002; CALHEIROS et al., 2018b). Entretanto, foram realizados em sistema de sequeiro, onde as produtividades são normalmente mais baixas e a demanda por nutrientes é também mais reduzida. Em sistemas fertirrigados por gotejamento, o controle da umidade do solo é elevado e a exigência nutricional é muita alta. Nesse sistema é imprescindível um balanço nutricional sem deficiência ou excesso para que a cana-de-açúcar possa maximizar sua expressão genética de produção de biomassa e açúcar.

Nossa hipótese é que os métodos de diagnóstico nutricional quando tratados em uma mesma base estatística, como o DRIS e o M-DRIS são concordantes na hierarquização das deficiências nutricionais. No entanto, quando se modifica a base estatística e as relações nutricionais são multivariadas, como no método CND, a acurácia de detectar deficiências e excessos é mais pronunciada e tende a apresentar diagnósticos discordantes dos métodos DRIS e M-DRIS.

Independentemente dessa maior ou menor sensibilidade do método de diagnóstico detectar deficiências ou excessos nutricionais, nossa hipótese é de que em sistemas fertirrigados, a maior responsabilidade pelos desequilíbrios nutricionais

é de micronutrientes, principalmente em solos muito arenosos e de baixa fertilidade natural, normalmente fertirrigados porque é uma estratégia de manejo muito utilizada para aumento de produtividade agrícola.

Assim, o objetivo desse estudo foi realizar diagnose nutricional da cana-de-açúcar fertirrigada pelos métodos DRIS, M-DRIS e CND para detectar deficiência ou excesso de nutrientes e contribuir para melhoria da nutrição da cultura.

4.2 Material e Métodos

Para determinação das normas DRIS, M-DRIS e CND para cana-de-açúcar fertirrigada foi realizada amostragem de folhas em áreas comerciais de gotejamento subterrâneo combinado com fertirrigação na Destilaria Japungu localizada no município de Santa Rita no estado da Paraíba ($6^{\circ}59'31.153''$ de Latitude Sul e $30^{\circ}58'38.418''$ de Longitude Oeste). O clima da região é quente e úmido (Köppen-Geiger) com precipitação média anual de 1.600 mm; a maioria dos solos são de textura arenosa, classificados como Argissolos Amarelos, Acinzentados e Vermelho-Amarelos.

O manejo nutricional da cana-de-açúcar nas áreas onde foram coletadas as amostras iniciou-se com calagem, conforme necessidade indicada nas análises de solo. Posteriormente se aplicou uma lâmina de $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de vinhaça. A adubação de fundação foi realizada aplicando-se 36 kg ha^{-1} de N e 180 kg ha^{-1} de P_2O_5 na forma de fosfato monoamônico (MAP). A adubação de cobertura foi realizada utilizando-se 80 kg ha^{-1} de N e 100 kg ha^{-1} de K_2O , na forma de sulfato de amônio e cloreto de potássio, respectivamente.

A adubação das socarias foi realizada aplicando-se em cobertura após o corte do cultivo anterior uma tonelada ha^{-1} de calcário nas folhas ímpares. Foram aplicados em todas as socarias 78 kg ha^{-1} de N e 82 kg ha^{-1} de K_2O , na forma de sulfato de amônio e cloreto de potássio, respectivamente. Aplicou-se também via sistema de gotejamento 84 kg ha^{-1} de N, 45 kg ha^{-1} de P_2O_5 , 100 kg ha^{-1} de K_2O e 5 kg ha^{-1} de Mn, na forma de MAP purificado, cloreto de potássio e sulfato de manganês, respectivamente.

No sistema de irrigação por gotejamento são utilizados gotejadores tipo Dripnet PC AS 16150 $1,0 \text{ L h}^{-1}$, 0,4 m entre emissores, sendo aplicada uma lâmina de $5,28 \text{ mm dia}^{-1}$.

A coleta das amostras de folhas de cana-de-açúcar ocorreu quando elas apresentavam entre 4 e 6 meses de idade, sendo realizada em áreas comerciais de cana-soca que variam de segunda à décima folha (apresentando uma média geral de 4ª folha), perfazendo um total de 26 amostras, todas pertencentes à variedade RB92579. Cada amostra foi constituída de 30 folhas coletadas aleatoriamente em cada talhão de cana-de-açúcar, identificando-se o nome da fazenda, talhão e idade da socaria. Foram coletadas folhas da posição +1, pelo sistema de Kuijper, sendo utilizados para análise química os 20 cm medianos, descartando-se a nervura central das plantas, conforme descrito por Malavolta Vitti e Oliveira (1997) e Silva (2009).

As amostras de folhas foram submetidas à secagem em estufa a 65 °C com circulação de ar forçada por 72 h e passadas em moinho tipo Willey, com peneiras de 20 mesh. O N e o P nas folhas foram mineralizados em digestão sulfúrica, o N foi dosado utilizando-se o método micro Kjeldahl, segundo metodologia descrita por Malavolta Vitti e Oliveira (1997). O B foi mineralizado por digestão via seca pelo método da incineração.

Os demais nutrientes foram mineralizados em digestão nítrica de 0,500 g do material triturado em forno micro-ondas juntamente com 6 mL de HNO₃ e 2 mL H₂O₂, na temperatura de 180 °C por 10 min. de acordo com a metodologia USEPA 3050b (1996). Os extratos foram filtrados, o volume aferido para balões volumétricos de 25 mL e armazenados a 4 °C para posterior dosagem.

Os extratos obtidos foram dosados pelos seguintes métodos: O P foi analisado por colorimetria pelo método do molibdato; o K por fotometria de chama; o Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn por espectrofotometria de absorção atômica; e o S por turbidimetria. Os extratos de Mo, Ni e B foram dosados em espectroscopia de emissão ótica com plasma acoplado (ICP-OES/Optima 7000 Perkin Elmer).

Dados de produtividade foram registrados nos locais amostrados, quando a cana-de-açúcar atingiu o ponto de colheita, que, juntamente com seus respectivos teores foliares de nutrientes, formaram um banco de dados que foi utilizado para gerar as normas DRIS, M-DRIS e CND para a cana-de-açúcar fertirrigada (Tabelas 1, 2 e 3), conforme descrito por Jones (1981) e Reis Junior (1999).

Após a obtenção dos dados de produtividade das áreas em que foram determinados os teores foliares, montou-se um banco de dados que foi dividido em dois grupos: população de baixa produtividade (<110 Mg ha⁻¹) e população de alta produtividade ou de referência (≥110 Mg ha⁻¹). Essa produtividade limite entre as

populações de alta e baixa produtividade foi escolhida porque representa cerca de 40% das amostras da população de alta produtividade. De acordo com Letzsch e Summer (1984) a população de referência deve conter pelo menos 10% das populações amostradas. O banco de dados foi composto por 26 amostras, sendo 10 correspondentes as áreas de alta produtividade e 16 às áreas de baixa produtividade.

Tabela 1 - Média (Md), desvio-padrão (s), coeficiente de variação (CV), coeficiente de assimetria (Assim) e coeficiente de curtose (Curt) das relações entre os nutrientes selecionadas como normas DRIS para cana-de-açúcar fertirrigada na safra 2017/2018 na Destilaria Japungu na Paraíba

Relação	Md	s	CV (%)	Assim	Curt	Relação	Md	s	CV (%)	Assim	Curt
P/N	0,16	0,04	26,33	0,169	1,305	B/Ca	2,10	0,38	18,04	0,240	1,810
N/K	1,42	2,32	34,85	0,718	1,708	Mo/Ca	1,07	0,05	4,56	0,893	2,346
Ca/N	1,03	0,01	1,19	0,069	1,770	Ni/Ca	0,83	0,25	29,47	0,526	1,647
N/Mg	5,18	1,27	24,43	0,401	1,279	Mg/S	1,36	0,30	22,20	0,010	2,164
S/N	0,16	0,05	31,11	0,094	1,661	Cu/Mg	3,11	0,90	28,95	0,733	2,249
N/Cu	1,74	0,47	26,76	0,086	2,052	Fe/Mg	7,87	1,88	23,86	0,934	3,066
Fe/N	1,56	0,37	23,50	0,780	2,254	Zn/Mg	21,51	6,51	30,24	0,012	1,205
N/Zn	1,29	0,38	29,35	0,211	1,694	Mn/Mg	3,96	1,10	27,70	1,151	3,766
Mn/N	1,69	0,09	5,37	0,791	2,258	B/Mg	2,61	0,53	20,41	0,790	2,622
B/N	0,27	0,06	22,54	0,569	1,881	Mo/Mg	1,10	0,08	6,93	0,829	2,051
N/Mo	2,19	0,30	13,53	0,663	1,862	Ni/Mg	1,47	0,30	20,55	1,101	2,484
Ni/N	0,21	0,06	30,42	0,258	1,724	S/Cu	1,04	0,03	2,97	0,481	1,491
P/K	0,04	0,05	29,57	0,336	1,595	Fe/S	10,84	3,83	35,34	0,526	1,727
P/Ca	0,66	0,11	17,44	0,604	2,158	S/Zn	1,02	0,01	0,88	0,617	1,900
P/Mg	0,66	0,13	19,73	0,225	1,569	Mn/S	5,22	1,20	22,96	0,456	1,854
P/S	1,50	0,20	13,47	0,314	2,103	B/S	3,55	1,06	29,95	0,383	1,780
P/Cu	0,28	0,09	31,69	0,120	1,237	Mo/S	1,17	0,13	11,04	0,801	2,425
Fe/P	1,96	0,19	9,86	0,128	1,582	Ni/S	1,77	0,50	28,27	0,714	1,892
P/Zn	0,03	0,01	33,55	0,248	1,355	Cu/Fe	0,40	0,11	28,09	0,419	2,068
P/Mn	0,21	0,05	21,59	0,666	2,451	Zn/Cu	1,57	0,43	27,66	0,424	1,319
B/P	3,28	0,79	24,03	0,787	2,322	Cu/Mn	1,32	0,21	15,61	0,484	1,508
P/Mo	2,37	0,67	28,26	0,016	1,668	B/Cu	0,90	0,28	31,59	0,197	1,762
Ni/P	1,66	0,39	23,51	1,199	3,112	Mo/Cu	1,01	0,01	1,13	0,809	2,682
Ca/K	0,08	0,09	22,22	0,037	1,554	Ni/Cu	1,07	0,06	6,02	0,984	2,425
Mg/K	0,05	0,05	20,34	0,051	1,323	Fe/Zn	1,72	0,32	18,85	0,729	2,005
K/S	5,90	0,66	24,00	0,400	2,478	Fe/Mn	2,05	0,47	23,06	0,293	1,895
Cu/K	0,72	0,48	30,94	0,650	1,659	Fe/B	9,50	3,37	34,42	0,456	2,213
Fe/K	1,80	0,73	18,84	0,705	1,969	Mo/Fe	1,00	0,00	0,13	0,942	2,826
K/Zn	0,92	0,04	18,96	0,111	1,979	Ni/Fe	0,13	0,04	29,17	1,675	5,014
Mn/K	0,91	0,51	26,04	0,782	3,394	Mn/Zn	0,87	0,23	26,34	0,819	3,409
B/K	0,36	0,40	23,58	0,993	3,397	B/Zn	0,33	0,08	24,42	0,274	1,854
K/Mo	11,25	1,63	31,46	0,121	1,283	Mo/Zn	0,09	0,03	29,72	0,264	1,620
Ni/K	0,24	0,15	28,90	0,735	1,758	Ni/Zn	0,23	0,06	28,61	0,480	1,358
Ca/Mg	1,60	0,45	28,25	0,059	1,147	B/Mn	0,37	0,12	31,93	0,173	1,587
S/Ca	0,63	0,17	27,32	0,188	1,209	Mn/Mo	1,96	0,43	22,11	0,081	2,232
Cu/Ca	2,53	0,80	31,68	0,622	1,540	Ni/Mn	1,05	0,05	4,98	1,966	5,605
Fe/Ca	6,33	1,34	21,17	0,260	1,426	Mo/B	0,16	0,04	26,45	0,234	1,257
Zn/Ca	13,77	3,41	24,78	0,479	2,710	Ni/B	0,39	0,08	21,30	0,471	1,861
Mn/Ca	3,19	0,77	24,05	0,145	2,032	Ni/Mo	2,81	0,89	31,56	0,843	2,986

Tabela 2 - Média (Md), Média transformada (Mdt), desvio-padrão (S) e coeficiente de variação (CV) dos teores de nutrientes selecionados como normas M-DRIS para cana-de-açúcar fertirrigada na safra 2017/2018 na Destilaria Japungu na Paraíba

Variável	Md	Mdt ⁽¹⁾	s	CV (%)
N (g kg ⁻¹)	18,08	18,08	6,2240	34,42
P (g kg ⁻¹)	0,45	0,45	0,1230	27,15
K (g kg ⁻¹)	12,73	12,73	0,1850	6,76
Ca (g kg ⁻¹)	1,06	1,06	0,2210	20,76
Mg (g kg ⁻¹)	0,69	0,69	0,1400	20,34
S (g kg ⁻¹)	0,42	0,64	0,1500	23,56
Cu (mg kg ⁻¹)	7,17	2,57	0,7924	30,83
Fe (mg kg ⁻¹)	42,58	6,42	1,2180	18,97
Zn (mg kg ⁻¹)	14,11	14,11	2,3200	16,44
Mn (mg kg ⁻¹)	11,03	3,24	0,7615	23,5
B (mg kg ⁻¹)	4,59	4,59	1,2170	26,51
Mo (mg kg ⁻¹)	0,14	0,35	0,1173	33,49
Ni (mg kg ⁻¹)	0,78	0,85	0,2571	30,28

⁽¹⁾ Média com os dados transformados por \sqrt{x} , reduzindo o CV para <35%, como no caso de S, Cu, Fe, Mn, Mo e Ni. Para calcular os índices M-DRIS utilizou-se como normas ou padrões a média dos dados transformados (CALHEIROS et al., 2018a).

Tabela 3 – Média (Md), desvio-padrão (S), coeficiente de variação (CV) e assimetria (Asim) das variáveis multinutrientes e da média geométrica dos constituintes de massa seca (G) selecionados como normas CND para cana-de-açúcar fertirrigada na safra 2017/2018 na Destilaria Japungu na Paraíba

Variável	Md	S	CV (%)	Assim
G	0,1141	0,0083	7,3028	0,3455
VN	5,0202	0,3191	6,3568	0,6958
VP	1,3436	0,2972	22,1181	0,0919
VK	3,1756	0,0890	2,8011	0,3014
VCa	2,2129	0,2288	10,3413	0,1027
VMg	1,7833	0,2307	12,9342	0,1539
VS	1,2166	0,4938	40,5882	0,1213
VCu	-2,9250	0,5776	19,7470	0,5182
VFe	-1,0448	0,3021	28,9137	0,6545
VZn	-2,0999	0,1554	7,4013	0,1890
VMn	-2,4310	0,4645	19,1059	0,0259
VB	-3,2382	0,2049	6,3268	1,0424
VMo	-6,9339	0,6514	9,3939	0,0254
VNi	-5,1364	0,5020	9,7731	0,6668

O cálculo dos índices DRIS foi realizado utilizando-se o método descrito por Beaufils (1973). As funções DRIS foram calculadas pela fórmula proposta por Beaufils (1973), atualizada por Maia (1999), e é expressa pela relação (A/B) para a amostra, (a/b) para a população de referência, (s) para o desvio padrão da relação dos

nutrientes da população de referência e (k) é uma constante com valor igual a 10. Assim, foram calculadas as funções $f(A/B)$ de acordo com as equações descritas abaixo:

Para $A/B > a/b$

$$f\left(\frac{A}{B}\right) = \left(\frac{\left(\frac{A}{B}\right) - \left(\frac{a}{b}\right)}{s}\right)k$$

Para $A/B = a/b$

$$f\left(\frac{A}{B}\right) = 0$$

Para $A/B < a/b$

$$f\left(\frac{A}{B}\right) = \left(\frac{\left(\frac{A}{B}\right) - \left(\frac{a}{b}\right)}{s}\right)k \left(\frac{\frac{a}{b}}{\frac{A}{B}}\right)$$

Em que:

$f(A/B)$ = função da relação entre nutrientes;

A/B = relação entre os nutrientes da amostra;

a/b = relação entre os nutrientes da população de referência;

s = desvio-padrão da relação entre os nutrientes da população de referência;

k = constante de sensibilidade com valor igual a 10;

O cálculo das funções M-DRIS (HALLMARK et al., 1987) considera o teor dos nutrientes em seus cálculos, além de também utilizar as relações entre os nutrientes.

O cálculo foi realizado de acordo com as seguintes funções:

Para $A > a$

$$f\left(\frac{A}{B}\right) = \left(\frac{A - a}{s}\right)k$$

Para $A = a$

$$f(A) = 0$$

Para $A < a$

$$f\left(\frac{A}{B}\right) = \left(\frac{A - a}{s}\right) k \left(\frac{a}{A}\right)$$

Em que:

$f(A)$ = função do teor do nutriente;

A = teor do nutriente da amostra;

a = teor do nutriente da população de referência (norma);

s = desvio-padrão do teor do nutriente da população de referência (norma);

k = constante de sensibilidade com valor igual a 10.

Após o cálculo de cada função calculou-se os índices para cada nutriente. Para o método DRIS utilizou-se a seguinte expressão:

$$\text{Índice } A = \frac{\sum_{i=1}^n f(A/Bi) - \sum_{i=1}^m f(Bi/A)}{n + m}$$

Para o M-DRIS utilizou-se a seguinte equação:

$$\text{Índice } A = \frac{\sum_{i=1}^n f(A/Bi) - \sum_{i=1}^m f(Bi/A) + f(A)}{n + m + 1}$$

Em que:

Índice A = índice DRIS ou M-DRIS do nutriente A;

$\sum_{i=1}^n f(A/Bi)$ = somatório das funções das relações do nutriente A presente no numerador;

$\sum_{i=1}^m f(Bi/A)$ = somatório das funções das relações do nutriente A presente no denominador;

n = quantidade de funções em que o nutriente A está no numerador da relação;

m = quantidade de funções em que o nutriente A está no denominador da relação;

$f(A)$ = função do teor do nutriente.

O CND é um método multivariado e são consideradas as interações de todos os nutrientes entre si. O diagnóstico é feito por meio de índices calculados a partir de variáveis multinutrientes (V_i) que correspondem à variável multinutriente do nutriente A_i (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Zn, Mn, B, Mo e Ni), conforme as seguintes equações:

$$R = 1000 - \sum_{i=1}^d A_i$$

$$G = (N \times P \times K \dots \times R)^{\frac{1}{d+1}}$$

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

Em que:

$R = 1000$ – o somatório do teor de todos os nutrientes em estudo;

A_i = teor do nutriente em estudo (mg kg^{-1});

G = média geométrica das concentrações dos constituintes da massa da matéria seca;

d = número dos nutrientes envolvidos na diagnose;

V_i = variável multinutriente do nutriente A_i .

Os índices multinutrientes foram calculados com base na seguinte equação:

$$IA = \frac{V_i - V_a}{s}$$

Em que:

Índice A = índice CND do nutriente A;

V_i = variável multinutriente da amostra;

V_a = média das variáveis multinutrientes da população de referência;

s = desvio-padrão do teor do nutriente da população de referência;

Após os cálculos dos índices dos nutrientes foi calculado o índice de balanço nutricional médio (IBNm) que consiste no somatório dos valores em módulo dos índices DRIS, M-DRIS e CND obtidos para cada nutriente, dividido pelo número de nutrientes que compõem o IBSm, conforme equação descrita abaixo:

$$IBNm = \frac{1}{z} \sum_{i=1}^z |\text{índice } Ai|$$

A interpretação dos índices DRIS, M-DRIS e CND foi realizada pelo método do potencial de resposta à adubação (PRA), utilizando-se cinco classes de resposta, conforme Wadt (2005) (Tabela 4). Esse método baseia-se na comparação do módulo do índice de cada nutriente (DRIS, M-DRIS e CND) com o valor do IBNm.

Tabela 4 – Critérios para interpretação dos valores dos índices DRIS, M-DRIS e CND baseados no potencial de resposta à adubação (PRA)

Estado nutricional	Potencial de resposta à adubação	Critério
Deficiente e limitante	Positiva, com alta probabilidade (P)	1. índice N < 0 2. índice N > IBNm 3. índice N é o índice de menor valor
Provavelmente deficiente	Positiva ou nula, com baixa probabilidade (PZ)	1. índice N < 0 2. índice N > IBNm
Equilibrado	Nula (Z)	1. índice N ≤ IBNm
Provavelmente excessivo	Negativa, com baixa probabilidade (NP)	1. índice N > 0 2. índice N > IBNm
Excessivo	Negativa, com alta probabilidade (N)	1. índice N > 0 2. índice N > IBNm 3. índice N é o índice de maior valor

Índice N = índice DRIS do nutriente; IBNm = índice de balanço nutricional médio; P = resposta positiva com alta probabilidade; PZ = resposta positiva com baixa probabilidade; Z = resposta nula; NZ = resposta negativa com baixa probabilidade; N = resposta negativa com alta probabilidade, conforme Wadt (2005)

Posteriormente foi avaliada a concordância entre os diagnósticos obtidos pelos diferentes métodos estudados. Se para um determinado nutriente, o diagnóstico foi o mesmo, entre dois métodos diferentes, eles foram considerados concordantes. Calculou-se assim, a porcentagem de diagnósticos concordantes para todos os métodos avaliados.

Foi calculada a frequência com que cada nutriente foi identificado como tendo resposta à adubação nas classes P, PZ, Z, NZ e N, realizando-se a comparação entre as classes observadas pelos diferentes métodos.

Com o teor ótimo de cada nutriente obtido pela média da população de referência (nível crítico) e seu desvio padrão, calculou-se as faixas críticas e comparou-se com as faixas de suficiência relatadas na literatura por Raij et al. (1996) e Malavolta Vitti e Oliveira (1997).

4.3 Resultados e Discussão

Os diagnósticos nutricionais pelos diferentes métodos utilizados para obtenção dos índices DRIS, M-DRIS e CND foram comparados e houve concordância entre os métodos DRIS e M-DRIS. No entanto, os diagnósticos nutricionais de ambos os métodos discordaram 52% em média do diagnóstico gerado pelo CND (Tabela 5). Isto indicou que, em média, 48% dos diagnósticos nutricionais derivados de normas específicas para o CND foram diferentes.

Tabela 5 – Percentagem de concordância dos diagnósticos nutricionais (deficiente, provavelmente deficiente, equilibrado, provavelmente excessivo e excessivo) obtidos a partir de índices gerados pelos métodos DRIS, M-DRIS e CND para cana-de-açúcar fertirrigada na Destilaria Japungu na Paraíba

Nutriente	DRIS x M-DRIS	DRIS x CND	M-DRIS x CND
N	100,00	80,77	80,77
P	100,00	57,69	57,69
K	100,00	53,85	53,85
Ca	100,00	65,38	65,38
Mg	100,00	61,54	61,54
S	100,00	61,54	61,54
Cu	100,00	76,92	76,92
Fe	100,00	12,00	12,00
Zn	100,00	69,23	69,23
Mn	100,00	53,85	53,85
B	100,00	38,46	38,46
Mo	100,00	4,00	4,00
Ni	100,00	42,31	42,31
Média	100,00	52,12	52,12

Calheiros et al. (2018b) encontrou 95,6% de concordância entre os diagnósticos nutricionais gerados pelos métodos DRIS e M-DRIS; 87,6% entre o DRIS e o CND; e 88% entre o M-DRIS e o CND, quando avaliaram o estado nutricional da cana-de-açúcar em sistema de sequeiro, a partir do desenvolvimento de normas específicas para o estado de Alagoas.

Houve concordância superior a 50% entre os três métodos para os nutrientes N (80,77%), P (57,69%), K (53,85%), Ca (65,38%), Mg e S (61,54%), Cu (76,92%), Zn (69,23%) e Mn (53,85%). O método M-DRIS incorpora em seu cálculo o teor do nutriente (HALLMARK et al., 1987), porém para essas amostras isso não diferenciou os diagnósticos realizados por esse método e o DRIS preconizado por Beaufils (1973).

Tabela 6 - Potencial de resposta à adubação (PRA) de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, ferro, zinco, manganês, boro, molibdênio e níquel para cana-de-açúcar fertirrigada obtido do diagnóstico nutricional realizado pelos métodos DRIS, M-DRIS e CND

Nutriente	Método	Potencial de Resposta à Adubação (PRA) ⁽¹⁾				
		P	PZ	Z	NZ	N
N	DRIS	0	0	26	0	0
	M-DRIS	0	0	26	0	0
	CND	1	2	21	0	2
P	DRIS	0	0	26	0	0
	M-DRIS	0	0	26	0	0
	CND	0	5	15	3	3
K	DRIS	0	0	26	0	0
	M-DRIS	0	0	26	0	0
	CND	4	5	14	3	0
Ca	DRIS	0	0	26	0	0
	M-DRIS	0	0	26	0	0
	CND	2	2	17	4	1
Mg	DRIS	0	0	26	0	0
	M-DRIS	0	0	26	0	0
	CND	2	4	16	4	0
S	DRIS	0	0	26	0	0
	M-DRIS	0	0	26	0	0
	CND	2	3	16	4	1
Cu	DRIS	0	0	26	0	0
	M-DRIS	0	0	26	0	0
	CND	0	2	20	3	1
Fe	DRIS	0	0	0	25	1
	M-DRIS	0	0	0	25	1
	CND	1	4	15	3	3
Zn	DRIS	0	0	26	0	0
	M-DRIS	0	0	26	0	0
	CND	4	3	18	1	0
Mn	DRIS	0	0	26	0	0
	M-DRIS	0	0	26	0	0
	CND	5	4	14	0	3
B	DRIS	0	0	26	0	0
	M-DRIS	0	0	26	0	0
	CND	2	5	10	1	8
Mo	DRIS	25	1	0	0	0
	M-DRIS	25	1	0	0	0
	CND	1	5	11	6	3
Ni	DRIS	0	0	26	0	0
	M-DRIS	0	0	26	0	0
	CND	1	6	11	5	3

⁽¹⁾P = resposta positiva com alta probabilidade; PZ = resposta positiva com baixa probabilidade; Z = resposta nula; NZ = resposta negativa com baixa probabilidade; N = resposta negativa com alta probabilidade

Os diagnósticos nutricionais obtidos pelos métodos DRIS e M-DRIS foram bem diferentes daqueles oriundos do método CND. Para Fe 96,15% das amostras apresentaram PRA negativo ou nulo pelos métodos DRIS e M-DRIS. Houve PRA positivo para Mo em 95,15% das amostras pelos métodos DRIS e M-DRIS. (Tabela 6).

Wadt (1996) sugere que seja feita a recomendação de adubação para o nutriente que apresente PRA positivo, bem como práticas de manejo de fertilizantes que possibilitem a redução do suprimento, mesmo que em longo prazo, dos nutrientes que apresentam alta probabilidade de resposta negativa à adubação.

O uso dos métodos DRIS e M-DRIS não diagnosticaram desequilíbrios nutricionais na cana-de-açúcar fertirrigada, com exceção dos nutrientes Fe e Mo. Esses métodos mostraram que há um excesso de Fe e uma deficiência de Mo que precisam ser corrigidos.

A população avaliada apresentou alta variação nos teores foliares dos nutrientes Fe e Mo. Os teores de Fe variaram de 26,95 a 234,10 mg kg⁻¹ e os de Mo variaram de 0,05 a 0,40 mg kg⁻¹ (Tabela 1, Capítulo I). Essa alta variação teve influência direta no valor da relação desses nutrientes com os demais, tendo em vista que o DRIS e M-DRIS realiza a razão dos nutrientes em unidades diferentes (g kg⁻¹ para macronutrientes e mg kg⁻¹ para micronutrientes).

Valores elevados para algumas razões que envolveram os nutrientes Fe e Mo influenciaram o cálculo das funções diretas e inversas e o valor dos índices DRIS e M-DRIS de Fe e Mo. Dessa forma, o valor em módulo dos índices de Fe e Mo foram muito altos, elevando o valor do IBNm, influenciando a interpretação dos resultados baseados no método do PRA. Assim, apenas os índices desses dois nutrientes foram superiores ao IBNm, indicando resposta positiva a adubação com Mo e excesso de Fe. No entanto, o desequilíbrio desses dois nutrientes foi tão elevado, que influenciou o diagnóstico dos demais nutrientes, explicando porque foram obtidas tantas respostas nulas à adubação quando o diagnóstico nutricional foi realizado pelos métodos DRIS e M-DRIS (Tabela 6).

Há relatos na literatura mostrando que quando um nutriente em uma lavoura está muito desequilibrado, os métodos DRIS não são adequados para realizarem diagnósticos nutricionais, porque as relações duais que envolvem o nutriente em desequilíbrio são muito influenciadas, mascarando deficiências ou excesso de outros nutrientes (CANTARUTTI et al., 2007). No caso específico desse estudo, o método

CND também diagnosticou deficiência de Mo e excesso de Fe, porém em parte das amostras (Tabela 6). Para Mo, o método CND mostrou que 23% das amostras apresentaram PRA positivo ou provavelmente positivo, porém em 35% delas o PRA foi negativo ou provavelmente negativo (Tabela 6). Para Fe, o método CND mostrou que só houve excesso em 23% das amostras e que 19% foram diagnosticadas como deficientes em Fe.

O método CND mostrou que há deficiência de Zn, B e Ni em 27% das amostras e deficiência de Mn em 35% delas. O único micronutriente mais equilibrado nutricionalmente foi o Cu, em que 77% das amostras apresentaram PRA com resposta nula à adubação (Tabela 6).

Dentre os macronutrientes, o método CND mostrou que o K é o nutriente mais desequilibrado, apresentando teores foliares deficientes em 35% das amostras. Isso é muito importante pelo papel estratégico que o K tem no transporte de açúcares.

Assim, de uma maneira geral, os métodos DRIS, M-DRIS e CND mostraram que os desequilíbrios nutricionais foram maiores nos micronutrientes, exigindo uma atenção especial para excesso de Fe e deficiência de Mo, Mn, Zn, B e Ni.

Foi realizada uma estimativa do teor ótimo e de faixas de suficiência para os teores de nutrientes pelos métodos DRIS, M-DRIS e CND (Tabela 7). Os teores ótimos estabelecidos para os nutrientes N, Fe, Zn e Mo estiveram dentro das faixas de suficiência estabelecidas pela literatura, enquanto que os teores de P, Ca, Mg, S, Mn e B estiveram abaixo dessas faixas (RAIJ et al., 1996; MALAVOLTA, VITTI e OLIVEIRA, 1997; SILVA, 2001). Para K, o teor ótimo estabelecido encontra-se adequado para Raij et al. (1996), deficiente para Malavolta Vitti e Oliveira (1997) e acima do recomendado para Silva (2001). O teor de Cu mostrou-se adequado para Raij et al. (1996) e Malavolta Vitti e Oliveira (1997) e acima do recomendado para Silva (2001). Não foram encontrados valores de referência de Ni para a cultura da cana-de-açúcar, salientando a importância desse estudo no estabelecimento da faixa de suficiência de Ni para a cultura.

Tabela 7 – Teor foliar ótimo e faixas de suficiência de nutrientes pelos métodos DRIS, M-DRIS e CND para cana-de-açúcar para cana-de-açúcar fertirrigada na Destilaria Japungu na Paraíba

Variável	Teor ótimo	Faixas de suficiência		
		DRIS	M-DRIS	CND
g kg^{-1}				
N	18,08	13,90 - 18,70	13,90 - 18,70	18,10 - 18,70
P	0,45	0,40 - 1,10	0,40 - 1,10	0,20 - 1,10
K	12,73	12,60 - 13,40	12,60 - 13,40	12,50 - 13,40
Ca	1,06	0,90 - 1,70	0,90 - 1,70	1,00 - 1,70
Mg	0,69	0,60 - 1,40	0,60 - 1,40	0,50 - 1,40
S	0,42	0,30 - 1,10	0,50 - 1,30	0,50 - 1,30
mg kg^{-1}				
Cu	7,17	4,10 - 7,80	2,00 - 3,20	2,20 - 3,20
Fe	42,58	31,20 - 43,20	5,60 - 7,10	6,00 - 7,10
Zn	14,11	12,60 - 14,80	12,60 - 14,80	13,90 - 14,80
Mn	11,03	7,40 - 11,70	2,70 - 3,90	3,10 - 3,90
B	4,59	3,80 - 5,30	3,80 - 5,30	4,30 - 5,30
Mo	0,14	0,10 - 0,80	0,30 - 1,00	0,20 - 1,00
Ni	0,78	0,50 - 1,40	0,70 - 1,50	0,40 - 1,50

Deve-se salientar que os teores e as faixas de suficiência estimados neste estudo referem-se a um potencial produtivo elevado, uma vez que se consideraram talhões de alta produtividade que apresentaram produtividade superior a 110 Mg ha^{-1} . Kurihara (2004) e Silva (2001) sugerem uma maior adequação do uso desses valores de referência, quando obtidos regionalmente, do que os valores estabelecidos em condições ambientais e produtivas diferentes dos considerados neste estudo.

4.4 Conclusões

O diagnóstico nutricional pelo método CND interpretado pelo potencial de resposta à adubação (PRA) discordou dos métodos DRIS e do M-DRIS;

Os diagnósticos realizados com base em normas DRIS e M-DRIS por meio de padrões calibrados regionalmente indicaram o Mo como o principal nutriente limitante, e o Fe como nutriente potencialmente em excesso;

O diagnóstico nutricional pelo método CND indicou desequilíbrio de micronutrientes e deficiência de K, sugerindo que são necessários ajustes na adubação de micronutrientes e incremento da fertilização potássica;

A faixa de suficiência para Ni em folha de cana-de-açúcar fertirrigada deve variar entre 0,40 e 1,50 mg kg⁻¹;

A calibração regional dos padrões de diagnose da cana-de-açúcar por meio do DRIS, M-DRIS e CND é de grande importância para garantir o sucesso da avaliação do estado nutricional da cana-de-açúcar fertirrigada no estado da Paraíba.

Os métodos propostos por este estudo podem ser adotados para o diagnóstico nutricional e a calibração de teores ótimos para a cultura da cana-de-açúcar fertirrigada, contribuindo efetivamente para o monitoramento de lavouras comerciais

Referências

ANA - Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Informe 2011**. Brasília: ANA, 2011, 112p.

BARBOSA, E.A.A; ARRUDA, F.B.;PIRES, R.C.M.; SILVA, P.J.A. da; SAKAI, E. Cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça e adubos minerais via irrigação por gotejamento subsuperficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.9, p.952–958, 2012.

BEAUFILS, E.R. **Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS)**. Pietermaritzburg, University of Natal, Pietermaritzburg, South Africa, 1973. 131p. (Soil Science Bulletin, 1)

BEIGUELMAN, B. **Curso prático de bioestatística**, Ribeirão Preto, SP: Fundação de Pesquisas Científicas de Ribeirão Preto, 2002.

CALHEIROS, L.C.S.; FREIRE, F.J.; MOURA FILHO, G.; OLIVEIRA, E.C.A.; MOURA, A.B.; COSTA, J.V.T.; CRUIZ, F.J.R.; SANTOS, A.S.; RESENDE, J.S. Assessment of Nutrient Balance in Sugarcane Using DRIS and CND Methods. **Journal of Agricultural Science**, Toronto, v. 10, p. 164-179, 2018a.

CALHEIROS, L.C.S.; FREIRE, F.J.; MOURA FILHO, G.; OLIVEIRA, E.C.A.; MOURA, A.B.; COSTA, J.V.T.; CRUIZ, F.J.R.; SANTOS, A.S. Different criteria for determining DRIS standards influencing the nutritional diagnosis and potential fertilization response. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 12, p. 995-1007, 2018b.

CAMACHO, M.A.; SILVEIRA, M.V.S.; CAMARGO, R.A.; NATALE, W. Faixas normais de nutrientes pelos métodos ChM, DRIS e CND e nível crítico pelo método de distribuição normal reduzida para laranja-pera. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, p.193-200, 2012.

CANTARUTTI, R. B.; BARROS, M.F.; MARTINEZ, H.E.P.; NOVAIS, R.F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. 1a Edição. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 769-850.

CARR, M. K. V.; KNOX, J. W. The water relations and irrigation requirements of sugarcane (*Saccharum officinarum*): A review. **Experimental Agriculture, London**, v.47, p.1-25, 2011.

CONAB - Companhia Nacional do Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, V. 4 - SAFRA 2017/18, N.4-** Quarto levantamento, abr. de 2018.

CORRÊA, J.B.; REIS JÚNIOR, R. dos A.; CARVALHO, J.G.; GUIMÃRAES, P.T.G. Avaliação da fertilidade do solo e do estado nutricional de cafeeiros do Sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.25, n.6, p.1279-1286, 2001.

DALRI, A. B.; CRUZ, R. L. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, p.516-524, 2008.

HALLMARK, W.B.; WALWORTH, J.L.; SUMNER, M.E.; MOOY, C.J.; PESEK, J.; SHAO, K.P. Separating limiting and non-limiting nutrients. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.10, p.1381-1390, 1987.

JONES, C.A. Proposed modifications of the Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) for interpreting plant analysis. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.12, p.785-794, 1981.

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

LAMM, F. R.; MANGES, H. L.; STONE, L. R.; KHAN, A. H.; ROGERS, D. H. Water requirement of subsurface drip-irrigated corn in northwest Kansas. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.38, p.441- 448, 1995.

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

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

PARENT, L.E.; CAMBOURIS, A.N.; MUHAWENIMANA, A. Multivariate diagnosis of nutrient imbalance in potato crops. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, p.1432-1438, 1994.

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

RAIJ, B.van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C.

Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2.ed. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1996. 285p.

REIS JR., R.A. **Diagnose nutricional da cana-de-açúcar com o uso do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS)**. 1999. 141f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 1999.

REIS JUNIOR, R.A.; MONNERAT, P.H. Diagnose nutricional da cana-de-açúcar em Campos dos Goytacazes, RJ. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.26, p.367-372, 2002.

SILVA, F.C. **Manual de análises químicas em solos, plantas e fertilizantes**. Editor técnico: Fábio Cesar da Silva, 2ª ed.rev.ampl. -Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.

SILVA, G.G.C. **Diagnose nutricional do eucalipto pelo DRIS, M-DRIS e CND**. UFV: Viçosa, 2001. 132f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Viçosa.

SOARES, R. A. B.; OLIVEIRA, P. F. M.; CARDOSO, H. R.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. H.; ROSENFELD, V. Efeito da irrigação sobre o desenvolvimento e a produtividade de duas variedades de cana-de-açúcar colhida em início de safra. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.22, p.38-41, 2004.

USEPA - United States Environmental Protection Agency. Method 3050b: **acid digestion of sediments, sludges, and soils**. Revision 2. Washington: USEPA, 1996. 12p.

WADT, P. G. S. **Os métodos da chance matemática e do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) na avaliação nutricional de plantios de eucaliptos**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1996. 123p. (Tese de Doutorado)

WADT, P.G.S. Relationships between soil class and nutritional status of coffee plantations. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.227-234, 2005.

WALWORTH, J.L.; SUMNER, M.E. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). In: STEWART, B.A. (Ed.). **Advances in Soil Science**. New York: Springer, v.6, p.149-188, 1987.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O critério de escolha das relações nutricionais com maior razão de variância para o estabelecimento das normas DRIS, após a transformação dos dados para as relações que apresentaram coeficiente de variação alto, mostrou-se satisfatório para avaliar o estado nutricional da cana-de-açúcar, apresentando distribuição normal pelo teste Kolmogorov – Smirnov.

Em relação aos métodos de diagnose nutricional em estudo, dependendo do método utilizado para realizar a avaliação nutricional do canavial, pode haver interpretações diferentes, comprometendo as recomendações de fertilizantes.

O método DRIS não foi indicado para realização deste diagnóstico nutricional, devido ao desequilíbrio de alguns nutrientes, que interferem nas relações duais que envolvem o nutriente em desequilíbrio, influenciando e mascarando deficiências ou excesso de outros nutrientes.

O método CND mostrou-se mais exato para este estudo, indicando desequilíbrio de macro e micronutrientes.

A calibração regional dos padrões de diagnose da cana-de-açúcar por meio do DRIS, M-DRIS e CND é mais uma ferramenta que pode garantir o sucesso da avaliação do estado nutricional da cana-de-açúcar fertirrigada no estado da Paraíba.