

JOSÉ ARIDIANO LIMA DE DEUS

**DEMANDA, PARTIÇÃO DE NUTRIENTES E RECOMENDAÇÃO DE
ADUBAÇÃO PARA BANANEIRA COM BASE EM ANÁLISE DE SOLO,
DIAGNOSE FOLIAR E PRODUTIVIDADE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de Doctor Scientiae.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2016

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

T

D486d
2016 Deus, José Aridiano Lima de, 1986-
Demanda, participação de nutrientes e recomendação de
adubação para bananeira com base em análise de solo, diagnose
foliar e produtividade / José Aridiano Lima de Deus. – Viçosa,
MG, 2016.
xiv, 110f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Júlio César Lima Neves.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Banana - Adubos e fertilizantes. 2. Banana -
Produtividade. 3. Banana - Diagnose foliar. 4. *Musa ssp.*
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Solos.
Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas.
II. Título.

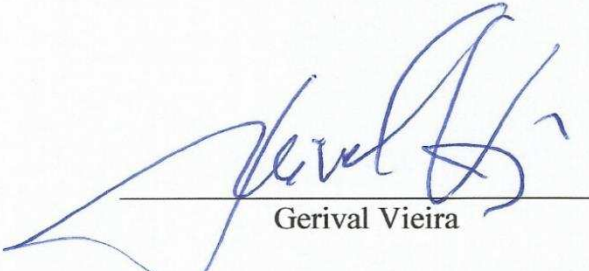
CDD 22 ed. 634.772

JOSÉ ARIDIANO LIMA DE DEUS

**DEMANDA, PARTIÇÃO DE NUTRIENTES E RECOMENDAÇÃO DE
ADUBAÇÃO PARA BANANEIRA COM BASE EM ANÁLISE DE SOLO,
DIAGNOSE FOLIAR E PRODUTIVIDADE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

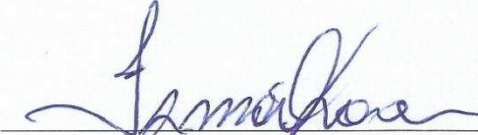
APROVADA: 01 de agosto de 2016.



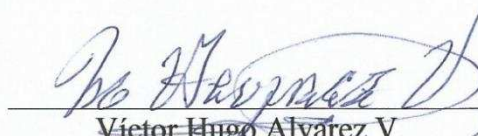
Gerival Vieira



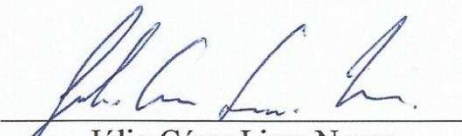
Renildes Lúcio Ferreira Fontes



Ismail Soares



Victor Hugo Álvarez V.
(Coorientador)



Júlio César Lima Neves
(Orientador)

À minha esposa Fabiana por todo amor, carinho e companheirismo.

À minha mãe Luzirene por todo amor, zelo e dedicação.

À minha irmã Adriana, e ao meu sobrinho Rafael por todo o carinho.

Aos meus avós paternos José Felipe e Rosa, e avós maternos Joaquim (in memoriam) e Luzia por todo apoio e incentivo.

OFEREÇO

Ao meu querido pai José Arimatéia de Deus (in memoriam) pelo exemplo, caráter, afeto, proteção... por tudo que sou.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida e todas as oportunidades nela contida.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Solos, pelo curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas.

Ao professor Júlio César Lima Neves, pela confiança, orientação, ensinamentos e amizade. Considero um privilégio a oportunidade de trabalhar com o senhor e tê-lo como orientador.

Aos professores Víctor Hugo Alvarez V. e Ismail Soares por todo conhecimento e ensinamentos repassados que foram fundamentais para a minha formação e enriquecimento do presente trabalho.

Aos professores Renildes Lúcio Ferreira Fontes e Gerival Vieira pelas valiosas sugestões e contribuições.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudo.

Ao Internacional Plant Nutrition Institute (IPNI) pelo reconhecimento deste trabalho por meio do prêmio IPNI Scholar Award 2015.

À Empresa Sítio Barreiras Fruticultura LTDA, nas pessoas do engenheiro agrônomo Fábio Regis de Albuquerque e Fabricio Martinazzo Regis de Albuquerque por viabilizar e disponibilizar área e recursos, além de toda contribuição que permitiu a realização deste trabalho.

A todos os professores das disciplinas que cursei no meu doutoramento e em toda a minha vida escolar e acadêmica. Meus sinceros agradecimentos.

A todos os amigos e colegas que fiz durante minha estadia em Viçosa, pelos os momentos agradáveis e de descontração.

Por fim, à toda minha família, que sempre me apoiou e incentivou durante o curso, além de todas as pessoas que direta ou indiretamente foram importantes e contribuíram para a realização deste trabalho

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

(José de Alencar)

BIOGRAFIA

JOSÉ ARIDIANO LIMA DE DEUS, filho de José Arimatéia de Deus (in memoriam) e Luzirene Maria de Lima de Deus, nasceu em Russas, Ceará, no dia 26 de maio de 1986.

Em 2004, concluiu o ensino médio e o curso de Técnico Agrícola com habilitação em Agricultura pela Escola Agrotécnica Federal de Iguatu, em Iguatu, Ceará.

Em agosto de 2005, ingressou no curso de Agronomia na Universidade Federal do Ceará, graduando-se em julho de 2010.

Em agosto de 2010, ingressou no curso de Mestrado em Agronomia área de concentração Solos e Nutrição de Plantas na Universidade Federal do Ceará, obtendo o título de mestre em junho de 2012.

Em novembro de 2012, iniciou o curso de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil, submetendo-se à defesa de tese no dia 01 de agosto de 2016.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
RESUMO	xi
ABSTRACT	xiii
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS	4
CAPÍTULO 1. SELEÇÃO E CLASSIFICAÇÃO MULTIVARIADA DE MODELOS MATEMÁTICOS PARA ESTIMAR A PARTIÇÃO DA MATÉRIA SECA EM BANANEIRA PRATA FERTIRRIGADA	6
RESUMO	6
1. INTRODUÇÃO	6
2. MATERIAL E MÉTODOS	8
2.1. Coleta de dados	8
2.2. Obtenção dos modelos de regressão	9
2.3. Análise estatística	9
2.4. Avaliadores de ajustes dos dados ao modelo	10
2.5. Análise de agrupamento	13
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
3.1. Ajuste dos modelos	13
3.2. Avaliadores de ajustes dos dados ao modelo	20
3.3. Análise de agrupamento	26
4. CONCLUSÕES	29
5. REFERÊNCIAS	29
CAPÍTULO 2. ACÚMULO, PARTIÇÃO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES E EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DE BANANEIRA PRATA FERTIRRIGADA	33
RESUMO	33
1. INTRODUÇÃO	33
2. MATERIAL E MÉTODOS	34
2.1. Descrição da área	34
2.2. Coleta e preparo das amostras	35
2.3. Conteúdo, partição e exportação de nutrientes da bananeira	36
2.4. Eficiência nutricional da bananeira	36
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
3.1. Partição e exportação de nutrientes	37
3.2. Eficiência nutricional	53
4. CONCLUSÕES	55
5. REFERÊNCIAS	56
CAPÍTULO 3. AJUSTE NA RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO POR MEIO DA ANÁLISE FOLIAR EM BANANEIRA PRATA FERTIRRIGADA	60
RESUMO	60
1. INTRODUÇÃO	60
2. MATERIAL E MÉTODOS	61
2.1. Banco de dados	62

2.2.	Recomendação da adubação a partir da análise foliar.....	63
2.3.	Nível crítico do nutriente no solo (ncNu _i).....	63
2.4.	Diagrama de Quadrantes do Relacionamento Planta-Solo (DQRps).....	64
2.5.	Simulação de doses recomendáveis para fósforo, potássio, cálcio e magnésio.....	66
2.6.	Simulação de doses recomendáveis para nitrogênio e enxofre.....	66
2.7.	Comparação com outros métodos de recomendação de adubação.....	67
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
3.1.	Nível crítico do nutriente no solo (ncNu _i).....	68
3.2.	Diagrama de Quadrantes do Relacionamento Planta-Solo (DQRps).....	69
3.3.	Simulação de doses recomendáveis para macronutrientes.....	72
3.4.	Comparação com outros métodos de recomendação de adubação.....	77
4.	CONCLUSÕES	81
5.	REFERÊNCIAS	81

CAPÍTULO 4. DIAGNOSE DO ESTADO NUTRICIONAL DA BANANEIRA PRATA FERTIRRIGADA NO ESTADO DO CEARÁ..... 86

RESUMO..... 86

1. INTRODUÇÃO..... 87

2. MATERIAL E MÉTODOS..... 88

2.1. Banco de dados..... 89

2.2. Diagnose do estado nutricional..... 90

2.3. Índices Balanceados de Kenworthy (IBKW)..... 90

2.4. Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS)..... 91

2.5. Potencial de Resposta à Adubação (PRA)..... 92

2.6. Análise dos dados..... 92

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 93

4. CONCLUSÕES..... 105

5. REFERÊNCIAS..... 105

CONCLUSÕES GERAIS..... 110

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1. SELEÇÃO E CLASSIFICAÇÃO MULTIVARIADA DE MODELOS MATEMÁTICOS PARA ESTIMAR A PARTIÇÃO DA MATÉRIA SECA EM BANANEIRA PRATA FERTIRRIGADA

- Figura 1.** Esquema das equações de regressão geradas a partir da produtividade para estimar massa de matéria seca dos diferentes órgãos da bananeira..... 9
- Figura 2.** Distribuição dos resíduos em função das variáveis independentes MSFamília, MSMãe e MSFilha. 15
- Figura 3.** Dendrograma para o agrupamento dos modelos de estimativa da mMS dos órgãos rizoma (A), pseudocaule (B), folha (C), engaço (D), fruto (E), rizoma filha (F), pseudocaule filha (G) e folha filha (H), obtidos com o algoritmo de Ward..... 28

CAPÍTULO 2. ACÚMULO, PARTIÇÃO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES E EFICIÊNCIA NUTRICIONAL EM BANANEIRA PRATA FERTIRRIGADA

- Figura 1.** Valores médios da partição do conteúdo de N, P, K, Ca, Mg e S nos diferentes órgãos de bananeira fertirrigada para diferentes classes de produtividade..... 41
- Figura 2.** Valores médios da partição do conteúdo de Zn, Fe, B, Mn e Cu nos diferentes órgãos de bananeira fertirrigada para diferentes classes de produtividade..... 45

CAPÍTULO 3. AJUSTE NA RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO POR MEIO DA ANÁLISE FOLIAR EM BANANEIRA PRATA FERTIRRIGADA

- Figura 1.** Histograma de distribuição e curva normal da produtividade semestral de frutos de bananeira Prata fertirrigada no período de 2010 a 2015..... 62
- Figura 2.** Exemplo da Linha de Fronteira Superior obtida da relação entre duas variáveis..... 64
- Figura 3.** Exemplo de aplicação do método Diagrama de Quadrantes do Relacionamento Planta-Solo (DQRps) obtida da relação entre duas variáveis..... 65
- Figura 4.** Linha de fronteira superior obtida para produtividade relativa em função dos teores de P, K, Ca, Mg e matéria orgânica no solo..... 69
- Figura 5.** Teores de nutrientes na folha diagnóstico da bananeira em função dos teores de matéria orgânica e macronutrientes no solo obtido pelo método diagrama de quadrantes do relacionamento planta-solo (DQRps)..... 70

CAPÍTULO 4. DIAGNOSE DO ESTADO NUTRICIONAL DA BANANEIRA PRATA FERTIRRIGADA NO ESTADO DO CEARÁ

- Figura 1.** Histograma de distribuição e curva normal da produtividade semestral de talhões fertirrigados de bananeira da variedade Prata de 2010 a 2015..... 89
- Figura 2.** Precipitação pluviométrica semestral ao longo do período de avaliação (A) e precipitação média mensal do período de 2010 a 2015 (B). Fonte: FUNCEME (2016) 90
- Figura 3.** Teores ótimos para macro e micronutriente na folha da bananeira Prata obtidos pelo IBKW e DRIS..... 100
- Figura 4.** Talhões de bananeira Prata fertirrigada que estão com a nutrição balanceada ($83 \leq \text{IBKW} < 100$ %) e equilibrada ($-0,66 \leq \text{DRIS} < 0$) para o primeiro e segundo semestre no período de 2010 a 2015. 105

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1. SELEÇÃO E CLASSIFICAÇÃO MULTIVARIADA DE MODELOS MATEMÁTICOS PARA ESTIMAR A PARTIÇÃO DA MATÉRIA SECA EM BANANEIRA PRATA FERTIRRIGADA

Tabela 1. Produtividade e características químicas da camada de 0 - 20 cm dos solos com bananeira Prata fertirrigada.	8
Tabela 2. Teste de normalidade para os resíduos dos modelos de regressão avaliados com 16 amostras.	14
Tabela 3. Produtividade de frutos e partição da massa de matéria seca para os diferentes órgãos da bananeira. Missão Velha, CE. 2014.	17
Tabela 4. Equações de regressão para estimar a massa de matéria seca da Família, Mãe e Filha em função da produtividade de frutos de banana. Missão Velha, CE.	18
Tabela 5. Equações de regressão para estimar a massa de matéria seca dos diferentes órgãos da bananeira em função da massa de matéria seca Família, Mãe e Filha. Missão Velha, CE.	19
Tabela 6. Avaliadores estatísticos para a seleção de modelos que estimam massa de matéria seca dos diferentes órgãos da bananeira a partir da MSFamília, MSmãe e MSFilha em kg/ha. Missão Velha, CE.	22
Tabela 7. Critérios estatísticos obtidos a partir do AIC, BIC e χ^2 para seleção de modelos.	25

CAPÍTULO 2. ACÚMULO, PARTIÇÃO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES E EFICIÊNCIA NUTRICIONAL EM BANANEIRA PRATA FERTIRRIGADA

Tabela 1. Produtividade e características químicas da camada de 0 - 20 cm dos solos com bananeira Prata fertirrigada.	35
Tabela 2. Percentagem de acúmulo de nutrientes na planta-mãe e planta-filha de banana Prata para talhões com histórico de diferentes faixas de produtividade.	46
Tabela 3. Exportação de nutrientes pela bananeira Prata para talhões com histórico de diferentes classes de produtividade.	48
Tabela 4. Valores médios das quantidades de nutrientes exportados por tonelada de cacho de banana Prata para talhões com histórico de diferentes classes de produtividade.	49
Tabela 5. Ordem no acúmulo de nutrientes nos diferentes órgãos da planta-mãe, planta-filha e família para talhões com histórico de diferentes faixas de produtividade.	52
Tabela 6. Valores médios do coeficiente de utilização biológica (CUB) de macronutrientes nos diferentes órgãos da bananeira para talhões com histórico de diferentes faixas de produtividade.	54
Tabela 7. Valores médios do coeficiente de utilização biológica (CUB) de micronutrientes nos diferentes órgãos da bananeira para talhões com histórico de diferentes faixas de produtividade.	55

CAPÍTULO 3. AJUSTE NA RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO POR MEIO DA ANÁLISE FOLIAR EM BANANEIRA PRATA FERTIRRIGADA

Tabela 1. Taxa de recuperação dos extratores de nutrientes aplicados ao solo.	65
---	----

Tabela 2. Teores totais foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) de quatro talhões do segundo semestre do ano de 2015.	66
Tabela 3. Características químicas de solo da camada de 0 - 20 cm de profundidade referente ao segundo semestre de 2015 para os quatro talhões avaliados.....	68
Tabela 4. Critérios estabelecido pelo método Diagrama de Quadrantes do Relacionamento Planta-Solo (DQRps) para classificação dos talhões.	72
Tabela 5. Percentagem de talhões em cada quadrante conforme os critérios estabelecidos pelo método Diagrama de Quadrantes do Relacionamento Planta-Solo (DQRps).....	72
Tabela 6. Nível crítico dos teores de matéria orgânica e nutrientes no solo estimados a partir da análise foliar utilizando modelos obtidos pelo método Diagrama de Quadrantes do Relacionamento Planta-Solo (DQRps).	73
Tabela 7. Doses recomendáveis de macronutrientes com base nos teores da análise foliar ¹	73
Tabela 8. Classificação dos talhões avaliados por quadrantes para os diferentes nutrientes com base nos critérios estabelecidos pelo método Diagrama de Quadrantes do Relacionamento Planta-Solo (DQRps).	73
Tabela 9. Comparação de doses recomendáveis de fósforo, potássio, cálcio e magnésio por meio da análise foliar, Fertilcalc-banana e Tabela de recomendação.	78

CAPÍTULO 4. DIAGNOSE DO ESTADO NUTRICIONAL DA BANANEIRA PRATA FERTIRRIGADA NO ESTADO DO CEARÁ

Tabela 1. Dados climáticos obtidos do período de janeiro de 2010 a dezembro de 2015.	88
Tabela 2. Produtividade relativa e teores de macro e micronutrientes em folhas de bananeira Prata fertirrigada no estado do Ceará no período de 2010 a 2015 por semestre.	94
Tabela 3. Valores de referências (normas) de teores foliares de nutrientes e suas relações duais em bananeira Prata fertirrigada no período de 2010 a 2015 para obtenção dos métodos Kenworthy e DRIS.	96
Tabela 4. Médias dos índices balanceados de Kenworthy e índices DRIS semestrais para talhões de bananeira Prata fertirrigada no estado do Ceará do período de 2010 a 2015.	97
Tabela 5. Modelos de predição para teores de macro e micronutrientes na folha em função dos índices balanceados de Kenworthy e índices DRIS para bananeira Prata fertirrigada no estado do Ceará.	99
Tabela 6. Frequência de talhões de bananeira Prata fertirrigada para classes de Índice Balanceado de Kenworthy para o primeiro e segundo semestre no período de 2010 a 2015.	101
Tabela 7. Frequência de talhões de bananeira Prata fertirrigada para classes de Índice DRIS para o primeiro e segundo semestre no período de 2010 a 2015.	102
Tabela 8. Frequência de talhões de bananeira Prata fertirrigada para classes do Potencial de Resposta à Adubação para o primeiro e segundo semestre no período de 2010 a 2015.	104

RESUMO

DEUS, José Aridiano Lima de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2016. **Demanda, partição de nutrientes e recomendação de adubação para bananeira com base em análise de solo, diagnose foliar e produtividade.** Orientador: Júlio César Lima Neves. Coorientador: Víctor Hugo Alvarez V.

O Brasil está entre os principais países em produção e área colhida de banana no mundo, porém, apresenta baixa produtividade. Analisando a série histórica de produtividade de banana no Brasil, observa-se que a produtividade no ano de 1963 era de 14,7 t/ha e manteve praticamente inalterada até 2013 com 14,2 t/ha, demonstrando que a produção de banana no país está ocorrendo de forma ineficiente. Em parte, este problema está relacionado a fatores nutricionais relacionados à fertilidade natural dos solos, como também, ao manejo inadequado da adubação. Com base no exposto, objetivou-se aprimorar as recomendações de adubação para a cultura da banana utilizando informações de produtividade, análise química de solo e planta por meio da modelagem. Para atingir este objetivo, foram conduzidos quatro estudos: utilizando diferentes avaliadores estatísticos de qualidade de ajuste e análise de agrupamento na classificação e seleção de modelos para estimar a partição da massa de matéria seca em bananeira (Capítulo 1); estimando e avaliando a partição, conteúdo e exportação de nutrientes, além da eficiência nutricional em bananeira Prata fertirrigada (Capítulo 2); desenvolvendo um método de recomendação de adubação que integra informações da análise química de solo, análise foliar e produtividade (Capítulo 3) e obtendo normas específicas para a diagnose do estado nutricional de bananeira fertirrigada, além de avaliar a variação sazonal do estado nutricional quanto ao grau de balanço e equilíbrio (Capítulo 4). No primeiro estudo, coletou-se em campo dezesseis famílias de bananeira em ponto de colheita, sendo particionadas em planta-mãe (rizoma, pseudocaule, folha, engajo e fruto) e planta-filha (rizoma filha, pseudocaule filha e folha filha). Em seguida, foram gerados modelos de estimativa da massa de matéria seca para os diferentes órgãos da planta. Como resultado constatou-se que a análise gráfica dos resíduos, QMR, $S_{yx\%}$, DMA, R^2 , AICc e BIC, mostraram-se eficientes na seleção de modelos, e o uso conjunto desses avaliadores contribuíram para melhorar a estimativa na partição de matéria seca em bananeira. No segundo estudo, com os valores da massa de matéria seca dos diferentes órgãos da planta-mãe e planta-filha com os respectivos teores de nutrientes, estimou-se o conteúdo de macro e micronutrientes, partição, exportação e sequência de acúmulo, como também a

eficiência nutricional. Observou-se que a bananeira possui um padrão de partição de nutrientes para diferentes rendimentos, ou seja, existe uma “compartimentalização ideal” que promove maiores produtividades. Os nutrientes K e N foram os mais exportados e a planta-filha representa um dreno importante de nutrientes na família no período da colheita. No terceiro estudo, a partir de banco de dados foi realizado o levantamento da produtividade de frutos, análises químicas de solo e folha do primeiro e segundo semestre no período de 2010 a 2015. Relacionou-se a produtividade com teores de matéria orgânica e de macronutrientes (P, K, Ca e Mg) no solo para a obtenção do nível crítico ($ncNu_i$), como também os teores foliares com seus respectivos teores no solo, sendo empregado o método do Diagrama de Quadrantes do Relacionamento Planta-Solo (DPQps). Por meio deste estudo, concluiu-se que a análise foliar ajusta de forma satisfatória as doses recomendadas de nutrientes e traz vantagens se incorporada aos modelos de balanço nutricional. Além disso, o método DPQps relacionou de forma mais adequada os teores de N, P, K, Ca, Mg e S na folha diagnóstico da bananeira com os teores de matéria orgânica, P, K, Ca e Mg obtidos na análise química de solo. No quarto estudo, realizou-se a diagnose do estado nutricional a partir de banco de dados contendo 756 resultados de análise química de folha e produtividade no período de 2010 a 2015 com amostras semestrais. Utilizou-se para a diagnose os métodos IBKW, DRIS e PRA, sendo ainda gerados modelos para estimar os teores de nutriente na folha a partir do IBKW e DRIS. Como resultado, constatou-se que o balanço e equilíbrio nutricional variou entre os semestres e foram influenciados pelo regime pluviométrico da região. Os teores ótimos de nutriente na folha estimados pelo IBKW e DRIS apresentaram valores próximos entre si e Ca foi o nutriente mais limitante.

ABSTRACT

DEUS, José Aridiano Lima de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2016. **Demand modeling, nutrient partitioning and fertilizer recommendation for banana based on soil testing, leaf analysis and yield.** Adviser: Júlio César Lima Neves. Co-adviser: Víctor Hugo Alvarez V.

Brazil is among the leading countries in production and harvested area of banana in the world, however, it has a low yield. Analyzing historical series banana yield in Brazil, it is observed that productivity in 1963 was 14.7 t/ha and remained practically unchanged until 2013 at 14.2 t/ha, showing that banana production in the country is taking place inefficiently. In part, this problem is related to nutritional factors related to natural soil fertility and improper management of fertilizing. This study aimed to model fertilizer recommendations for banana using yield parameters and chemical analysis of plant and soil. To achieve this goal, four studies were conducted: using different statistical evaluators setting quality and cluster analysis in classification and selection of models to estimate the mass of the partition of dry matter in banana (Chapter 1); assessing and evaluating the partition, content and export of nutrients, the nutritional efficiency in banana fertigated "Prata" (Chapter 2); developing a method to fertilization recommendation that integrates information from leaf analysis, chemical analysis of soil and yield (Chapter 3) and to achieve specific standards for the diagnosis of the nutritional status of banana fertigated, and to evaluate the seasonal variation of the nutritional status in the degree of balance and equilibrium (Chapter 4). In the first study were collected sixteen families in the field at harvest time, being partitioned into mother-plant (rhizome, pseudostem, leaf, peduncle and fruit) and daughter-plant (daughter rhizome, daughter pseudostem and daughter leaf). Then, models of dry matter mass estimation were generated for the different organs of the plant. Of the parameters waste, QMR, $S_{yx}\%$, DMA, R^2 , AIC and BIC were efficient in the selection of models, and the joint use of these evaluators contributed to better estimate the mass of the partition of dry matter in banana. In the second study, the values of dry matter of the different organs of the mother-plant and daughter-plant with their nutrient content, estimated the macro and micronutrients, partition, export and accumulation sequence, as well as nutritional efficiency. Banana has a pattern of nutrient partitioning for different yields, with an "ideal compartmentalization" which promotes higher yields. The nutrients K and N were the most exported and daughter-plant represents a

major drain of nutrients in the family at harvest time. In the third study, was used a survey of fruit yield, chemical analysis of soil and leaf collected two times year from 2010 to 2015. The yield was correlated with organic matter and macronutrients (P, K, Ca and Mg) in the soil to obtain the critical level (ncN_{ui}) as well as the leaf content with their contents in the soil, and to use the method Diagram Quadrants Relationship plant-soil (DPQps). Foliar analysis satisfactorily adjusts recommended doses of nutrients and brings advantages if incorporated into the nutritional balance models. In addition, the method DPQps correlated adequately the levels of N, P, K, Ca, Mg and S in diagnosis of banana leaf with soil organic matter, P, K, Ca and Mg in the chemical analysis of soil. In the fourth study, from a database of 756 results of chemical analysis of leaf and productivity in the period of 2010 to 2015 with samples collected two times year. The methods IBKW, DRIS and PRA were used for diagnosis and from IBKW and DRIS were derived models to estimate the nutrient concentration in leaves. The nutrient balance and equilibrium varied between the semesters and were influenced by the region's rainfall regime. The optimum nutrient contents in the leaf estimated by IBKW and DRIS presented close values among them and Ca was the most limiting nutrient.

INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é o quarto maior produtor de banana do mundo com produção de 6,9 Mt no ano de 2013, sendo o segundo país em área colhida com 485 kha, o posicionado como um dos principais produtores mundiais de banana (FAOSTAT, 2016).

Os maiores produtores de banana no ano de 2013 foram: Índia, China, Filipinas, Brasil e Equador que juntos representaram mais de 57 % da produção mundial. Em relação à área colhida a Índia, Brasil, Tanzânia, Filipinas e China detém juntos mais de 50 % de área plantada com banana no mundo (FAOSTAT, 2016).

Esses números impressionam e demonstram a grande importância do país no cenário internacional. Porém, apesar da expressiva participação do Brasil e demais países em produção e área, os mesmos não apresentam as maiores produtividades. Segundo dados da FAOSTAT (2016) no ano de 2013 a Indonésia, Costa Rica, Egito, Guatemala e Republica Dominicana obtiveram 56,4; 50,8; 46,7; 45,8 e 41,1 t/ha, respectivamente, sendo os países (com área mínima colhida superior a 10 000 ha) com as maiores produtividades mundiais.

No caso específico do Brasil, a produtividade no ano de 2013 foi de 14,2 t/ha, inferior aos países com as maiores produtividades, além disso, ao observar a série histórica de produtividade de banana no Brasil e no mundo, constatasse um fato preocupante em relação ao Brasil, pois a produtividade mundial salta de 10,8 para 21,0 t/ha de 1963 a 2013 (FAOSTAT, 2016). No Brasil a produtividade passa de 14,7 para 14,2 t/ha nesse mesmo período, ou seja, a produtividade atual do país é semelhante a obtida a 50 anos atrás.

A produtividade agrícola é resultado da ação de vários fatores bióticos e abióticos, sendo limitada pela topografia, clima, solo, planta, práticas de manejo e outros fatores.

Em regiões semiáridas, como no Nordeste do Brasil a restrição hídrica e a baixa disponibilidade dos nutrientes são os principais fatores relacionados a limitação de crescimento e, ou, produtividade de culturas agrícolas (Barros et al., 2005), além da acidez, toxicidade por Al, salinidade e degradação do solo representarem importantes limitadores ao crescimento das plantas (Barros et al., 2004).

Nesse contexto, o manejo nutricional adequado é imprescindível para obter ganhos de produtividade além da sustentabilidade da atividade agrícola, já que a

adubação e práticas ligadas a aplicação representam parte importante no custo total de produção das culturas.

De maneira geral, as recomendações de adubação para a maioria das culturas são realizadas com base nos resultados de análise química de solo utilizando tabelas de recomendação, e, eventualmente, de forma complementar, realiza-se a diagnose do estado nutricional da cultura, ou cultivo antecessor (Kurihara et al., 2013). Entretanto, apesar dos avanços obtidos em relação as recomendações de adubação as culturas e o entendimento atual que se tem da dinâmica do nutriente no sistema solo-planta-atmosfera, é perceptível que as atuais formas de recomendação de adubação não diferem das décadas passadas, sendo um entrave para a elevação da produtividade.

De forma a atenuar essa problemática, no Brasil estão sendo desenvolvidos modelos de balanço nutricional para diversas culturas agrícolas: eucalipto (Barros et al., 1995); banana (Oliveira et al., 2005); soja (Santos et al., 2008); abacaxi (Silva et al., 2009); coco (Rosa et al., 2011); plantas ornamentais (Alvarez V. et al., 2014); melão (Deus et al., 2015); cenoura (Dezordi et al., 2015). Estes modelos estimam a dose do nutriente com base no requerimento da planta para determinada produtividade e o suprimento do nutriente pelo solo, água de irrigação, resíduos da cultura, dentre outras fontes.

Além dos modelos de balanço de nutrientes, é importante utilizar ferramentas que possibilitem avaliação do estado nutricional, como por exemplo, o Nutri-UFV que utiliza a partir da análise química de tecido vegetal (geralmente folha) os métodos Índices Balanceados de Kenworthy - IBK (Kenworthy, 1961) e Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação - DRIS (Beaufils, 1973) para avaliar o grau de balanço e equilíbrio dos nutrientes na planta, respectivamente, além do Potencial de Resposta à Adubação - PRA (Wadt, 1996). Essas ferramentas auxiliam os modelos de balanço nutricional na tomada de decisão quanto ao programa de fertilização, priorizando o(s) nutriente(s) que deve(m) ser aplicados e estabelecendo uma relação entre a diagnose e recomendação (Pontes, 2011).

Entretanto, qualquer que seja o método utilizado para realizar o diagnóstico nutricional, nenhum destes fornecem diretamente informações que permitam recomendar quantidades de nutrientes que devem ser aplicadas para tornar a nutrição da cultura mais equilibrada (Wadt, 2011). Atualmente o uso dos métodos para realizar a diagnose nutricional é apenas de caráter qualitativo, pois permite identificar o(s) nutriente(s) que estão deficientes, adequados ou em excesso, mas não permite

quantificar a dose que deve ser aplicada, por exemplo, para sanar problema de deficiência nutricional.

Em levantamento realizado com 1 099 amostras de bananeiras Prata-Anã em sua maioria, na região norte de Minas Gerais, Silva e Rodrigues (2001) observaram que 36 e 95 % das amostras apresentaram algum tipo de deficiência para macro e micronutrientes, respectivamente. Os autores, ainda chamam atenção para necessidade de melhorar o manejo nutricional dos bananais na região, que apresentaram maiores problemas com K e S para macronutrientes e Zn para micronutriente. Ainda em Minas Gerais, Silva e Carvalho (2005) avaliaram 56 áreas de bananeiras Prata Anã (ABB) e verificaram várias áreas com problemas de desequilíbrios nutricionais, como por exemplo, deficientes em Cu e Mn, e áreas com excesso de Ca, Mg e S.

Em São Paulo, avaliou-se o acúmulo e exportação de nutrientes em 293 registros de bananais das cultivares Grande Naine e Nanicão pertencente ao subgrupo Cavendish, constatando que a recomendação de adubação para bananeira no Estado, estava subestimando a necessidade de K na implantação da cultura, enquanto as doses de N recomendada eram muito superiores à exportação deste nutriente pelos cachos (Teixeira et al., 2008).

No Ceará, Hoffmann et al. (2010) avaliaram a produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes em plantas de seis cultivares de bananeira: Grande Naine (AAA), Pacovan (AAB), Pacovan- Apodi (AAAB), Prata-Anã (AAB), Terrinha (AAB) e Gross Michel (AAA). Estes autores observaram ampla variação quanto ao acúmulo da massa de matéria seca e a exigência nutricional de cada cultivar, destacando a necessidade de desenvolver programas de recomendação de adubação que considere as especificidades de cada cultivar, como também a importância de seus resíduos culturais na ciclagem de nutrientes.

Dessa forma, é possível atribuir grande parte da baixa produtividade dos bananais brasileiros à questões nutricionais, devido a problemas intrínsecos do solo em relação à fertilidade, como também, às práticas de manejo inadequadas da fertilização que não atende as exigências de nutrientes em quantidades e proporções adequadas.

REFERÊNCIAS

- Alvarez V., V. H., Santos, A. F., Santos, G. L. A. A., Matta, P. M., 2014. Fertilização de plantas ornamentais pelo método requerimento-suprimento: proposição de técnica experimental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38(2), 532-543. doi:10.1590/S0100-06832014000200018
- Barros, I., Williams, J. R., Gaiser, T., 2004. Modeling soil nutrient limitations to crop production in semiarid NE of Brazil with a modified EPIC version. *Ecological Modelling*, 178(3-4), 441–456. doi:10.1016/j.ecolmodel.2004.04.015
- Barros, I., Williams, J. R., Gaiser, T., 2005. Modeling soil nutrient limitations to crop production in semiarid NE of Brazil with a modified EPIC version. *Ecological Modelling*, 181(4), 567–580. doi:10.1016/j.ecolmodel.2004.03.018
- Barros, N. F., Novais, R. F., Teixeira, J. L., Fernandes Filho, E. I., 1995. NUTRICALC 2.0 - Sistema para cálculo del balance nutricional y recomendación de fertilizantes para el cultivo de eucalipto. *Bosque*, 6(1), 129–131. 1995. doi:10.4206/bosque.1995.v16n1-16
- Beaufils, E. R., 1973. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). *Soil Science. Bulletin N° 1*, University of Natal, Pietermaritzburg, South Africa.
- Deus, J. A. L., Soares, I., Neves, J. C. L., Medeiros, J. F., Miranda, F. R., 2015. Fertilizer recommendation system for melon based on nutritional balance. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39(2), 498-511. doi:10.1590/01000683rbc20140172
- Dezordi, L. R., Aquino, L. A., Novais, R. F., Aquino, P. M., Santos, L. P. D., 2015. Nutrient recommendation model for carrot crop – Ferticalc carrot. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39(6), 1714-1722. doi: 10.1590/01000683rbc20150065
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of The United Nations), 2016. Statistics Division. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>>. Acesso em: 05 mai. 2016.
- Hoffmann, R. B., Oliveira, F. H. T., Souza, A. P., Gheyi, H. R., Souza Júnior, R. F., 2010. Acúmulo de matéria seca e de macronutrientes em cultivares de bananeira irrigada. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 32(1), 268–275. doi:10.1590/S0100-29452010005000026
- Kenworthy, A. L., 1961. Interpreting the balance of nutrient-elements in leaves of fruit trees. In: Reuther, W. (Ed.), *Plant analysis and fertilizers problems*. American Institute of Biological Science, Washington, pp. 28-43.
- Kurihara, C. H., Alvarez V., V. H., Neves, J. C. L., Novais, R. F., 2013. Acúmulo de matéria seca e nutrientes em soja, como variável do potencial produtivo. *Revista Ceres*, 60(5), 690-698. doi:10.1590/S0034-737X2013000500013
- Oliveira, F. H. T., Novais, R. F., Alvarez V., V. H., Cantarutti, R. B., 2005. Desenvolvimento de um sistema para recomendação de adubação para a cultura da

bananeira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29(1), 131-143. doi:10.1590/S0100-06832005000100015

Pontes, M. S., 2011. Parametrização do modelo 3-PG para teca (*Tectona grandis* L.f.) e dos sistemas FERTI-UFV e NUTRI-UFV para subsidiar o seu manejo nutricional. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais. (Dissertação de Mestrado)

Rosa, G. N. G. P., Novais, R. F., Alvarez V., V. H., Barros, N. F., Villani, E. M. A., 2011. Lime and fertilizer recommendation system for coconut trees. *Revista Ceres*, 58(1), 90-99. doi:10.1590/S0034-737X2011000100014

Santos, F. C., Neves, J. C. L., Novais, R. F., Alvarez V., V. H., Sedyama, C. S., 2008. Modelagem da recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(4), 1661-1674. doi:10.1590/S0100-06832008000400031

Silva, A. P., Alvarez V., V. H., Souza, A. P., Neves, J. C. L., Novais, R. F., Dantas, J. P., 2009. Sistema de recomendação de fertilizantes e corretivos para a cultura do abacaxi - Fertcalc-abacaxi. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33(5), 1269-1280. doi:10.1590/S0100-06832009000500020

Silva, E. D. B., Rodrigues, M. G. V., 2001. Levantamento nutricional dos bananais da região norte de Minas Gerais pela análise foliar. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 23(3), 695-698. doi:10.1590/S0100-29452001000300050

Silva, J. T. A., Carvalho, J. G., 2005. Avaliação nutricional de bananeira “Prata Anã” (AAB), sob irrigação no semi-árido do norte de Minas Gerais, pelo método DRIS. *Ciência e Agrotecnologia*, 29(4), 731-739. doi: 10.1590/S1413-70542005000400004

Teixeira, L. A., Raij, B. V., Bettioli Neto, J. E., 2008. Estimativa das necessidades nutricionais de bananeiras do subgrupo cavendish cultivadas no estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 30(2), 540-545. doi:10.1590/S0100-29452008000200047

Wadt, P. G. S., 1996. Os métodos da chance matemática e do Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação (DRIS) na avaliação nutricional de plantios de eucalipto. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais (Tese de Doutorado)

Wadt, P. G. S., 2011. Diagnóstico foliar e recomendação de adubação para lavouras comerciais. Documento Técnico. Embrapa Acre, Rio Branco, Acre.

CAPÍTULO 1

SELEÇÃO E CLASSIFICAÇÃO MULTIVARIADA DE MODELOS MATEMÁTICOS PARA ESTIMAR A PARTIÇÃO DA MATÉRIA SECA EM BANANEIRA PRATA FERTIRRIGADA

RESUMO

A seleção de modelos para estimar a partição da matéria seca é uma ferramenta importante para qualquer cultura, pois possibilita a otimização de insumos e melhoria no manejo para ganhos de produtividade. O objetivo foi utilizar diferentes avaliadores estatísticos de qualidade de ajuste e análise de agrupamento na classificação e seleção de modelos para estimar a partição da matéria seca em bananeira. Em campo, coletou-se dezesseis famílias de bananeira no ponto de colheita, sendo particionada em planta-mãe (rizoma, pseudocaule, folha, engaço e fruto) e planta-filha (rizoma filha, pseudocaule filha e folha filha). Foram gerados modelos de estimativa da massa de matéria seca para os diferentes órgãos da planta. Foram utilizados análise gráfica dos resíduos, quadrado médio do resíduo (QMR), erro padrão da estimativa ($S_{yx\%}$), desvio médio absoluto dos resíduos (DMA), coeficiente de determinação (R^2), critério de informação Akaike (AICc) e critério de informação Bayesiano (BIC), além da análise de agrupamento para comparação e seleção do modelo mais adequado. A massa de matéria seca (mMS) dos órgãos que compõem a planta-mãe e planta-filha são melhor estimados quando em função da mMS_Mãe e a mMS_Filha, respectivamente, exceto para engaço e fruto. A análise gráfica dos resíduos, QMR, $S_{yx\%}$, DMA, R^2 , AICc e BIC são ferramentas eficientes na seleção e classificação dos modelos para estimar a partição da mMS em bananeira. A análise de agrupamento corrobora com os modelos selecionados pelos avaliadores, porém, diferente destes, selecionam apenas um como “melhor modelo” para cada órgão da planta.

Palavras chaves: Musa spp.; critério de informação; análise de agrupamento.

1. INTRODUÇÃO

A modelagem é uma ferramenta de extrema importância em diversas áreas do conhecimento, e vem possibilitando grandes avanços na agricultura. Os modelos são comumente utilizados na tentativa de explicar ou descrever um fenômeno, porém não é possível construir um modelo que explique ou descreva perfeitamente um dado

fenômeno, ou seja, todos modelos trazem consigo erros e perdas de informação. Como na prática, não se tem o conhecimento completo entorno de um fenômeno, quando se constrói um modelo busca-se na verdade obter uma boa aproximação da realidade.

A seleção de modelo consiste em escolher um modelo estocástico que consiga equilibrar qualidade de ajuste e complexidade, sem que haja violação do princípio da parcimônia, dentre do conjunto de modelos plausíveis (Mazerolle, 2006).

Não é raro mais de um modelo descrever um mesmo fenômeno, haja vista que não há uma única metodologia a ser seguida, além do fato, que cada pesquisador tem a liberdade de modelar o fenômeno seguindo aquele que julgar mais adequada (Emiliano et al., 2014). Em situações, onde mais de um modelo se adapta ao que se pretende modelar, o problema passa a ser qual modelo é o mais adequado e como escolher, o que nem sempre é tarefa fácil (Floriano et al., 2006).

Existem diversas formas de se avaliar um modelo, sendo comuns em teste de hipótese, coeficientes de determinação (R^2) e quadrado médio do resíduo (QMR) referente a estatística clássica, porém, vem sendo bastante utilizado para este fim, métodos de teoria da informação como critério de informação Akaike (AIC) e critério de informação Bayesiano (BIC).

Para fins práticos na agricultura, a escolha adequada de modelos, por exemplo, possibilita a otimização e a eficiência no uso de insumos, bem como o seu manejo para ganhos de produtividade. É comum o uso de modelos para estimar produtividade em função de diversos fatores de produção, porém o uso da produtividade pode ser utilizado em modelos preditivos no intuito de estimar direta ou indiretamente estes fatores.

Este tipo de abordagem é importante no cenário mundial em que são cada vez mais escasso água, insumos e áreas para agricultura, porém, com crescente cobrança da sociedade para atender a demanda por alimentos, fibras e energia nas próximas décadas.

Com base no exposto, o objetivo deste trabalho foi utilizar diferentes avaliadores estatísticos de qualidade de ajuste e análise de agrupamento na classificação e seleção de modelos para estimar a partição da matéria seca das plantas de bananeira.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no primeiro semestre de 2014 na empresa Sítio Barreiras Fruticultura LTDA, localizada no município de Missão Velha - Ceará, coordenadas geográficas de 7° 35' 90" S e 39° 21' 17" W, com altitude aproximada de 442 m. O clima da região é do tipo Aw – clima tropical com estação seca no inverno e chuvas concentradas no verão (Köppen-Geiger). A empresa dispõe de 66 talhões de bananeira Prata fertirrigada, com área média de 3,26 ha. As características químicas do solo são apresentadas na tabela 1.

Inicialmente foi realizado o levantamento de produtividade anual de frutos na empresa entre os anos de 2010 a 2013, sendo estabelecidas quatro classes de produtividade ($< 30,0$; $30,0 \leq 37,5$; $37,5 \leq 45,0$ e $\geq 45,0$ t/ha). Em seguida, foram selecionados quatro dos 66 talhões que atendessem as classes de produtividade no período avaliado.

Tabela 1. Produtividade e características químicas da camada de 0 - 20 cm dos solos com bananeira Prata fertirrigada.

Prod. t/ha	pH	P mg/dm ³	K mg/dm ³	Ca ²⁺ cmol/dm ³	Mg ²⁺ cmol/dm ³	Al ³⁺ cmol/dm ³	H + Al cmol/dm ³	SB cmol/dm ³	t	T
< 30	7,04	62,0	188,0	3,71	0,98	0,00	1,40	5,17	5,17	6,57
30 ≤ 37,5	6,79	132,1	138,0	3,26	0,85	0,00	1,60	4,46	4,46	6,06
37,5 ≤ 45	7,08	46,9	112,0	3,81	0,78	0,00	1,60	4,88	4,88	6,48
> 45	7,07	140,8	158,0	4,69	1,02	0,00	1,90	6,12	6,12	8,02

Prod. t/ha	P-Rem mg/L	S mg/dm ³	V %	m dag/kg	MO dag/kg	B mg/dm ³	Cu mg/dm ³	Mn mg/dm ³	Fe mg/dm ³	Zn mg/dm ³
< 30	53,4	9,8	78,7	0,0	1,41	0,36	0,90	257,6	14,4	27,11
30 ≤ 37,5	49,8	6,8	73,6	0,0	1,66	0,42	0,60	66,1	35,7	19,65
37,5 ≤ 45	54,7	9,4	75,3	0,0	1,28	0,38	0,42	111,2	11,3	14,23
> 45	47,9	3,6	76,3	0,0	1,54	0,51	1,32	264,7	8,6	27,22

Prod. = produtividade de frutos; pH em água relação 1:2,5; P, K, Cu, Mn, Fe e Zn, extrator Mehlich-1; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺, extrator KCl 1mol/L; H + Al, extrator acetato de cálcio 0,5 mol/L a pH 7,0; SB = soma de bases trocáveis; t = capacidade de troca catiônica efetiva; T = Capacidade de troca catiônica a pH 7,0; ; P-rem = fósforo remanescente; S, extrator fosfato monocálcico em ácido acético; V = Índice de saturação por bases; m = Índice de saturação por Alumínio; MO = Matéria Orgânica obtida por carbono orgânico x 1,724 (Walkley-Black) e B, extrator água quente.

2.1. Coleta de dados

Em cada talhão foram coletadas quatro “Famílias¹” de bananeira escolhidas ao acaso no ponto de colheita do cacho da planta-mãe, totalizando dezesseis famílias

¹ A bananeira propaga vegetativamente, por meio de perfilhos ou rebentos (planta-filha) que dará início a um novo ciclo, emitido a partir do rizoma da planta adulta (planta-mãe) e a esse conjunto de plantas interligadas é denominado de “família” ou touceira (Flori et al., 2008).

ou unidades amostrais. Cada família foi particionada em planta-mãe (rizoma, pseudocaule, folha, engajo e fruto) e planta-filha (rizoma filha, pseudocaule filha e folha filha) para determinação da massa de matéria seca (mMS), além de estimar a produtividade de frutos da planta-mãe de cada família.

2.2. Obtenção dos modelos de regressão

Utilizou-se o aplicativo computacional CurveExpert Basic 1.4 (Hyams, 2010), para gerar todas as equações de regressão (modelos) apresentado no presente trabalho. Inicialmente foram gerados modelos preditivos para estimar a mMS da família, planta-mãe e planta-filha em função da produtividade conforme a figura 1. Em seguida, a mMS da família, planta-mãe e planta-filha, estimada em função da produtividade foi utilizada para estimar a mMS dos órgãos da planta-mãe e da planta-filha. Após a obtenção de todas as equações de regressão, aplicou métodos estatísticos de avaliação quantitativa e qualitativa para a escolha do melhor modelo.

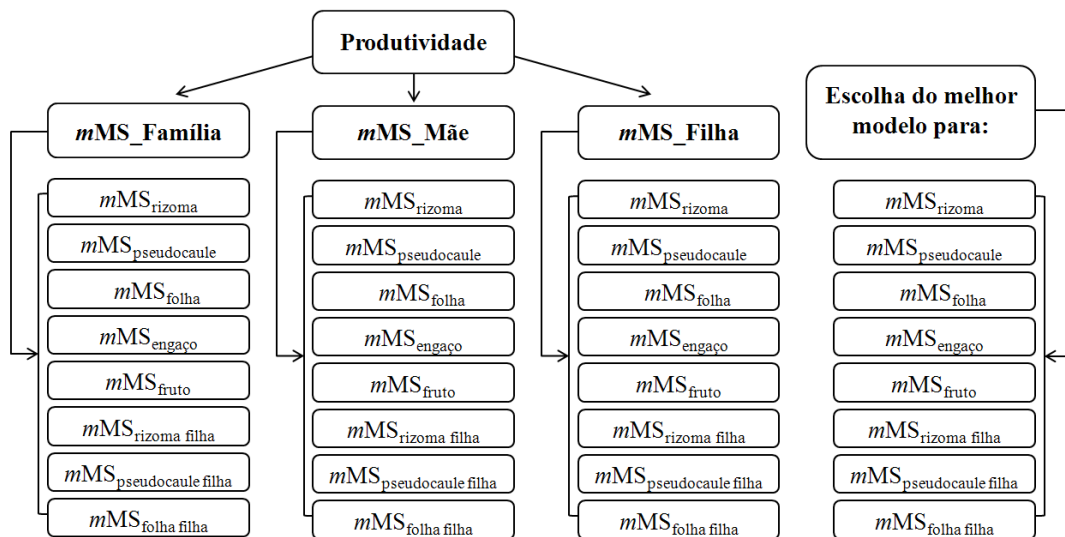


Figura 1. Esquema das equações de regressão geradas a partir da produtividade para estimar massa de matéria seca dos diferentes órgãos da bananeira.

2.3. Análise estatística

Foi realizado o teste de normalidade para os resíduos das equações obtidas pelo CurveExpert através dos métodos Shapiro-Wilk (S-W) e Anderson-Darling (A-D) a 5 % de probabilidade.

Na seleção e classificação do melhor modelo ajustado para cada órgão, foram utilizadas as estatísticas: Análise gráfica dos resíduos, Quadrado médio do resíduo (QMR); Erro padrão da estimativa em percentagem ($S_{yx}\%$); Desvio médio absoluto

(DMA); Coeficiente de determinação (R^2), Critério de informação Akaike (AIC) e Critério de informação Bayesiano (BIC).

2.4. Avaliadores de ajustes dos dados ao modelo

A análise gráfica de resíduos foi utilizada para verificar se há alguma violação quanto aos pressupostos de normalidade, independência e a homocedasticidade dos resíduos, seguindo metodologia utilizada por Rezende et al. (2006), Sarmiento et al. (2006), Farias et al. (2011) e Ribeiro et al. (2014).

O quadrado médio do resíduo (QMR) foi utilizado como avaliador dos modelos, sendo este critério um indicativo da variação da variável dependente não explicada pela regressão, dessa forma, quanto menor o valor de QMR, melhor é o ajuste do modelo, conforma Floriano et al. (2006), Puiatti et al. (2013) e Teixeira et al. (2013)

$$QMR = \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que, y_i = valor observado da massa de matéria seca; \hat{y}_i = valor estimado da massa de matéria seca para o dado modelo; n = número de observações; p = número de parâmetros do modelo.

O erro padrão da estimativa em percentagem ($S_{yx\%}$) foi utilizado para seleção de modelos não lineares, seguindo metodologia descrita por Floriano et al. (2006), Rezende et al. (2006), Machado et. al. (2008) e Silveira (2009) sendo obtido conforme equação 2. Este critério possui interpretação análoga ao coeficiente de variação, quanto menor o valor de ($S_{yx\%}$) melhor o modelo, pois indica que há uma menor dispersão da variável dependente entorno da curva de regressão.

$$S_{yx(\%)} = \frac{\sqrt{QMR}}{\bar{y}} \times 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que, QMR= quadrado médio do resíduo para o dado modelo; \bar{y} = média aritmética da variável dependente y .

O desvio médio absoluto dos resíduos (DMA) foi utilizado para avaliar a qualidade do ajuste de dados ao modelo. Semelhante ao QMR, quanto menor o valor

de DMA, melhor é o ajuste do modelo, seguindo metodologia descrita Sarmento et al. (2006), Farias et al. (2011) e Puiatti et al. (2013).

$$DMA = \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{n} \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que, y_i = valor observado da massa de matéria seca; \hat{y}_i = valor estimado da massa de matéria seca para o dado modelo; n = número de observações.

O coeficiente de determinação (R^2) é bastante utilizado como critério de escolha e seleção de modelos, sendo uma medida descritiva da proporção da variabilidade na variável dependente que é explicada pela variabilidade total do modelo, portanto, quanto maior o valor de R^2 , melhor será o modelo, foi utilizando seguindo metodologia descrita por Sarmento et al. (2006), Farias et al. (2011), Gatto et al. (2011) e Puiatti et al. (2013).

$$R^2 = \frac{SQReg}{SQT} \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que, $SQReg$ = soma de quadrados da regressão; SQT = soma de quadrados totais.

O critério de informação Akaike (AIC) é um avaliador que utiliza critérios de seleção mais complexo como verossimilhança, sendo de caráter mais qualitativo, proposto por Akaike (1974), e utilizado por Floriano et al. (2006), Puiatti et al. (2013) e Teixeira et al. (2013), conforme equação 5. Porém, Motulsky e Christopoulos (2003), sugere quando trata-se de poucas observações (n) dar-se preferência a equação 6 sugerida por Hurvich e Tsai (1989). Segundo Burnham e Anderson (2002) para uma relação (número de observações/parâmetros dos modelo < 40) optar pelo o uso da equação 6.

$$AIC = n \cdot \ln\left(\frac{SQRes}{n}\right) + 2 \cdot p \quad (\text{Eq. 5})$$

$$AICc = AIC + \left(\frac{2 \cdot p(p + 1)}{n - p - 1}\right) \quad (\text{Eq. 6})$$

Em que, n = número de observações; $SQRes$ = soma de quadrados do resíduo; p = número de parâmetros do modelo; $AICc$ = critério de informação Akaike corrigido.

Com base no $AICc$, para facilitar a interpretação e quantificação do suporte empírico de cada modelo, foi calculado a Taxa de Evidência (Burnham et al., 2011)

conforme Eq. 9, sendo necessário calcular a diferença entre o AICc de dois modelos (Δ AICc) e a probabilidade (prob).

$$\Delta \text{ AICc} = \text{ AICci} - \text{ AICcm} \quad (\text{Eq. 7})$$

$$\text{ prob} = e^{(-0,5 \cdot \Delta \text{ AICc})} \quad (\text{Eq. 8})$$

$$\text{ Taxa de Evidência} = \text{ probi} / \text{ probm} \quad (\text{Eq. 9})$$

Em que, AICci = valor do AICc do modelo que se quer avaliar; AICcm = menor valor do AICc, sendo este considerado como o “melhor” modelo para o conjunto avaliado; prob = probabilidade do modelo ser o melhor para representar uma dada população (o modelo considerado “melhor” dentre o conjunto avaliado possui prob = 1,0000); Taxa de Evidência = representa a forte evidencia, ou a superioridade do “melhor” modelo em comparação com o modelo avaliado.

O critério de informação Bayesiano (BIC) proposto por Schwarz (1978) é semelhante ao AIC quanto à verossimilhança, porém apresenta diferentes penalidades quanto ao número de parâmetros estimados (Cavalcante-Neto et al., 2011). Trabalhos de Floriano et al. (2006), Silva et al. (2011) e Puiatti et al. (2013) mostram a utilização de BIC como avaliador de modelos. Tanto para o BIC como para o AIC, quanto menores forem seus valores, melhor é a qualidade do ajuste dos dados ao modelo de regressão. Em seguida, os modelos foram confrontados a partir da relação dos valores de BIC (Δ BIC) e avaliados, segundo escala proposta por Kass e Raftery (1995).

$$\text{ BIC} = n \cdot \ln\left(\frac{\text{ SQRes}}{n}\right) + p \cdot \ln(n) \quad (\text{Eq. 10})$$

$$\Delta \text{ BIC} = \text{ BICi} - \text{ BICm} \quad (\text{Eq. 11})$$

Em que, n = número de observações; SQRes = soma de quadrados do resíduo; p = número de parâmetros do modelo; BICi = modelo a ser testado; BICm = modelo com o menor valor de BIC.

Em adição, foi realizado um teste de aderência para testar a adequabilidade dos modelos aos dados observados por meio do qui-quadrado (χ^2), além de calcular a probabilidade (valor-p) pelo teste unilateral à direita da distribuição χ^2 utilizando a função “CHISQ.DIST.RT(χ^2 ; v)” do programa computacional Excel.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i - f(x_i)}{\sigma_i}\right)^2 \quad (\text{Eq. 12})$$

Em que, n = número de observações; y_i = variável dependente; x_i = variável independente; $f(x_i)$ = modelo ajustado; σ_i = desvio padrão das amostras (y_i).

2.5. Análise de agrupamento

Além da seleção de modelos por meio dos avaliadores QMR, $S_{yx\%}$, DMA, R^2 , AIC e BIC, os dados gerados por cada avaliador foram utilizados para formação de dados multivariados para realização da análise de agrupamento por meio do método de variância mínima de Ward (algoritmo de Ward), enquanto a medida de dissimilaridade foi obtida por meio da distância euclidiana, utilizando software estatístico PAST versão 3.06 (Hammer et al., 2001).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Ajuste dos modelos

Para avaliação dos modelos de regressão, há algumas premissas a serem consideradas, uma delas é que os resíduos do modelo seguem uma distribuição normal (Jacobi et al., 2002). Segundo os testes de Shapiro-Wilk (S-W) e Anderson-Darling (A-D), a hipótese de que os resíduos são normalmente distribuídos nos modelos de regressão utilizados para estimar a massa de matéria seca nos diferentes órgãos da bananeira foi aceita (Tabela 2).

A distribuição gráfica de resíduos confirmou a normalidade obtida pelos testes de Shapiro-Wilk e Anderson-Darling (Fig. 2), sendo observada nenhuma violação quanto aos pressupostos de normalidade, independência e a homocedasticidade dos resíduos, ou seja, os resíduos são distribuídos aleatoriamente indicando uma variância constante. Dessa forma, pode-se inferir sobre a validade ou adequabilidade dos modelos para estimar a massa de matéria seca para os diferentes órgãos da bananeira.

Os valores de produtividade de frutos variaram de 30 535 a 57 878 kg/ha (Tabela 3). É comum na literatura a utilização da produtividade como variável dependente em função de vários fatores de produção. Porém, é possível a utilização da produtividade em modelos preditivos no intuito de explicar estes fatores, principalmente em sistemas de cultivo altamente tecnificados como a soja (Kurihara et al., 2013).

Tabela 2. Teste de normalidade para os resíduos dos modelos de regressão avaliados com 16 amostras.

		S-W	p(normal)	A-D	p(normal)
Rizoma	Família	0,9554	0,5793	0,4158	0,2933
	Mãe	0,9486	0,4681	0,4511	0,2387
	Filha	0,9670	0,7886	0,2581	0,6694
Pseudocaule	Família	0,9613	0,6854	0,2880	0,5715
	Mãe	0,9013	0,0843	0,4541	0,2344
	Filha	0,9674	0,7956	0,1739	0,9101
Folha	Família	0,9370	0,3138	0,3539	0,4175
	Mãe	0,9756	0,9187	0,1788	0,9014
	Filha	0,9390	0,3372	0,3396	0,4522
Engaço	Família	0,9225	0,1851	0,4731	0,2094
	Mãe	0,9512	0,5093	0,2500	0,6982
	Filha	0,9104	0,1183	0,5086	0,1690
Fruto	Família	0,9548	0,5687	0,2436	0,7210
	Mãe	0,9536	0,5490	0,2977	0,5453
	Filha	0,9557	0,5850	0,3235	0,4943
Rizoma filha	Família	0,9149	0,1396	0,4284	0,2726
	Mãe	0,9509	0,5045	0,4001	0,3212
	Filha	0,9630	0,7155	0,2747	0,6124
Pseudocaule filha	Família	0,9950	1,0000	0,1053	0,9930
	Mãe	0,9816	0,9750	0,1863	0,8891
	Filha	0,9674	0,7946	0,2185	0,8052
Folha filha	Família	0,9587	0,6382	0,2749	0,6119
	Mãe	0,9304	0,2478	0,4232	0,2810
	Filha	0,9848	0,9902	0,1685	0,9199

A normalidade na distribuição dos resíduos foi verificada pela obtenção do valor de $p > 0,05$ nos testes Shapiro-Wilk (S-W) e Anderson-Darling (A-D).

O uso da variável produtividade para estimar a massa de matéria seca dos diferentes órgãos da planta vem se fortalecendo com a utilização de modelos de balanço nutricional, como para banana (Oliveira et al., 2005), soja (Santos et al., 2008), abacaxi (Silva et al., 2009), coco (Rosa et al., 2011) e melão (Deus et al., 2015) denominados de sistema FERTICALC.

Os modelos de balanço nutricional implicam no desenvolvimento de modelos que permitam, dentre outros fatores, estimar a massa de matéria seca e acúmulo de nutrientes nos diferentes órgãos da planta, no intuito de predizer as quantidades de nutrientes necessárias à obtenção do potencial produtivo desejado (Kurihara et al., 2013).

A importância dos modelos de balanço nutricional é clara no cenário que exige maiores produtividades devido a crescente demanda mundial por produção de

alimentos, fibras e energia, porém, com decréscimo de áreas disponíveis para a agricultura, com escassez de água e de insumos agrícolas, entre outros.

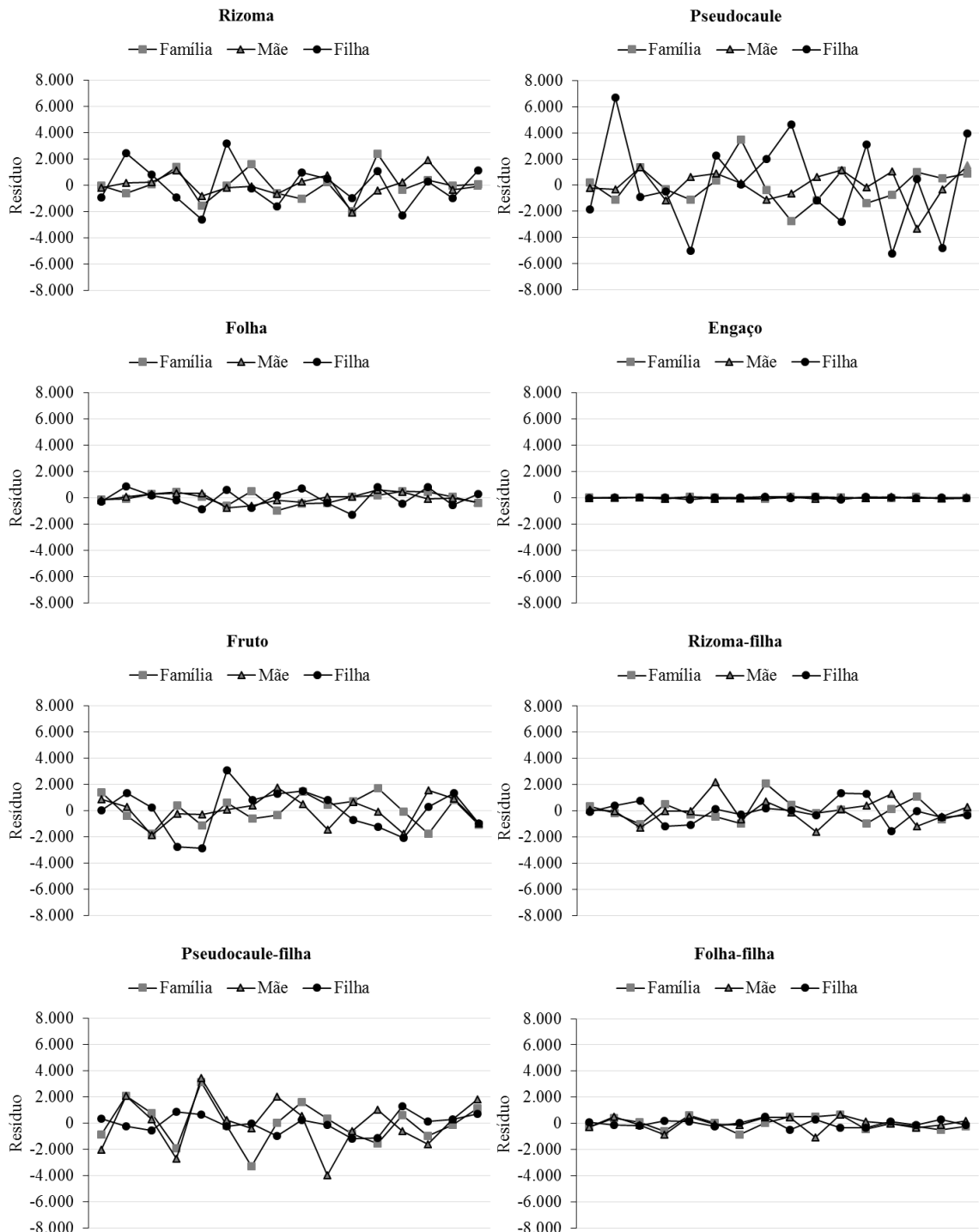


Figura 2. Distribuição dos resíduos em função das variáveis independentes MSFamília, MSMãe e MSFilha.

A partir da produtividade foram estimados a massa de matéria seca para a família, planta-mãe e planta-filha por meio do CurveExpert (Tabela 4). O melhor modelo ajustado para estimar a MSFamília e MSMãe foi o modelo hiperbólico,

enquanto para MSFilha foi gaussiano. A capacidade preditiva do modelo foi melhor para MSFamília (0,72), seguida pela MSMãe (0,71) considerando o R^2 , entretanto a MSMãe apresentou o menor erro padrão (S) entre estes dois modelos de regressão.

Valores próximos de R^2 associados a uma discrepância considerável no S favorecendo a MSMãe, podem representar uma superioridade neste modelo em relação a MSFamília.

Dessa forma, percebe-se a importância de utilizar mais de um método estatístico quando se busca a comparação de modelos. Por exemplo, a MSFilha possui o menor S (parâmetro desejável) dentre os três modelos, porém com o valor de R^2 de apenas (0,45).

Tabela 3. Produtividade de frutos e partição da massa de matéria seca para os diferentes órgãos da bananeira. Missão Velha, CE. 2014.

Amostras	Produtividade	Rizoma	Pseudocaule	Folha	Engaço	Fruto	Mãe	Rizoma Filha	Pseudocaule Filha	Folha Filha	Filha	Família
----- kg/ha -----												
1	30 535	3 101	9 253	1 558	221	7 289	21 422	2 317	1 498	318	4 133	25 554
2	45 857	6 348	16 006	1 849	365	10 946	35 513	6 465	6 839	1 492	14 796	50 309
3	53 468	5 653	20 239	3 291	517	12 763	42 463	5 102	6 799	2 288	14 190	56 653
4	48 685	6 739	16 054	2 124	448	11 621	36 986	3 740	6 409	1 465	11 614	48 601
5	44 500	8 479	19 633	3 280	377	10 622	42 391	3 374	3 443	556	7 373	49 764
6	40 537	6 997	12 317	2 683	348	9 676	32 020	3 814	3 385	567	7 766	39 786
7	46 870	8 611	25 353	3 590	489	11 188	49 231	5 869	9 783	1 584	17 236	66 467
8	43 969	8 415	22 301	3 991	549	10 495	45 752	6 576	7 081	1 498	15 154	60 907
9	51 102	7 666	20 438	4 036	451	12 198	44 789	5 581	8 642	1 694	15 917	60 706
10	54 924	8 257	23 243	3 844	425	13 110	48 880	5 100	8 202	1 275	14 577	63 457
11	57 878	10 115	18 064	3 473	425	13 815	45 893	4 112	6 119	1 177	11 408	57 300
12	52 047	7 786	17 499	2 736	527	12 424	40 972	4 723	7 828	2 076	14 627	55 599
13	30 909	5 656	13 893	2 514	418	7 378	29 859	2 261	6 002	1 223	9 486	39 345
14	40 622	5 068	14 158	2 715	479	9 696	32 117	3 815	9 563	1 971	15 349	47 466
15	56 044	6 452	15 793	2 689	543	13 378	38 856	5 355	9 059	2 079	16 493	55 349
16	31 651	4 160	9 989	1 917	289	7 555	23 910	2 609	6 388	1 380	10 377	34 287
Mín.	30 535	3 101	9 253	1 558	221	7 289	21 422	2 261	1 498	318	4 133	25 554
Máx.	57 878	10 115	25 353	4 036	549	13 815	49 231	6 576	9 783	2 288	17 236	66 467
Méd.	45 600	6 844	17 140	2 893	429	10 885	38 191	4 426	6 690	1 415	12 531	50 722
D.P	8 882	1 829	4 614	785	92	2 120	8 479	1 389	2 315	568	3 799	11 272
C.V	18,86	26,72	26,92	27,14	21,52	19,48	22,20	31,37	34,61	40,16	30,31	22,22

Produtividade = Produtividade de frutos observada por ciclo considerando que a massa de matéria seca representa cerca de 23,87 % da massa fresca total de frutos e 1 275 Famílias/ha; Mãe = (rizoma + pseudocaule + folha + engaço + fruto); Filha = (rizoma filha + pseudocaule filha + folha filha); Família = (mãe + filha); Mín = valor mínimo; Máx = valor máximo; Méd = média; D.P = desvio padrão e C.V = coeficiente de variação.

Tabela 4. Equações de regressão para estimar a massa de matéria seca da Família, Mãe e Filha em função da produtividade de frutos de banana. Missão Velha, CE.

Equações de Regressão	S	R	R ²
$mMS_Família = 93\ 112,04 - 1\ 854\ 674\ 809,99 / x$	6174	0,84	0,72
$mMS_Mãe = 69\ 753,45 - 1\ 380\ 940\ 595,37 / x$	4763	0,83	0,71
$mMS_Filha = 14\ 447,20 / e^{((-52\ 411,25 - x)^2) / (2 \cdot 19\ 004,90^2)}$	3052	0,66	0,45

Os modelos acima são válidos para uma faixa de produtividade de frutos $\forall 30\ 535 \leq x \leq 57\ 878$ kg/ha; S = erro padrão da estimativa; R = coeficiente de correlação linear simples e R² = coeficiente de determinação.

Após a determinação da mMS_Família, mMS_Mãe e mMS_Filha a partir da produtividade de frutos, utilizou-se as mesmas, como variáveis independentes para estimar a massa de matéria seca dos diferentes órgãos da planta como: rizoma, pseudocaule, folha, engajo, fruto, rizoma filha, pseudocaule filha e folha filha.

Dentre os modelos disponíveis de equações no aplicativo computacional CurveExpert Basic 1.4, lineares, exponenciais, potenciais, “yield-density”, crescimento, sigmoidais e modelos diversos (Hyams, 2010), os modelos selecionados foram: logaritmo e hiperbólico (rizoma); geométrico e exponencial (pseudocaule); geométrico e logaritmo (folha); hiperbólico, quadrático e logaritmo (engajo); gaussiano e logaritmo (fruto); potencial, exponencial modificado e geométrico (rizoma filha); logaritmo, hiperbólico e geométrico modificado (pseudocaule filha) e logaritmo, quadrático e gaussiano (folha filha) conforme tabela 5.

O aplicativo CurveExpert ranqueia os modelos classificando-os do melhor ao pior ajuste com base no erro padrão da estimativa e coeficiente de correlação (Hyams, 2010), possibilitando a utilização de modelos mais adequados para conjunto de dados. Entretanto, a mensuração da qualidade do modelo vai além da avaliação isolada de medidas quantitativas como suficiência descritiva, complexidade ou simplicidade e generalização na seleção de modelos (Myung et al., 2009), como é o caso do CurveExpert.

Para avaliar satisfatoriamente a qualidade do modelo, é necessário o uso de critérios subjetivos e até mesmo não estatísticos como capacidade explicativa, interpretabilidade e plausibilidade do modelo perante outros que se queira avaliar (Myung et al., 2009).

Tabela 5. Equações de regressão para estimar a massa de matéria seca dos diferentes órgãos da bananeira em função da massa de matéria seca Família, Mãe e Filha. Missão Velha, CE.

Equações de Regressão	p	S	R	Tipo
$^1mMS_{rizoma} = -54\,496,10 + 5\,676,21 \ln(x)$	2	1 158,53	0,79	Logaritmo
$^2mMS_{rizoma} = -61\,608,03 + 6\,504,48 \ln(x)$	2	904,39	0,88	Logaritmo
$^3mMS_{rizoma} = 8\,559,83 - 18\,682\,279,00 / x$	2	1 664,59	0,48	Hiperbólica
$mMS_{pseudocaule} = 5\,258,96 x^{(0,0000020836 x)}$	2	1 612,04	0,95	Geométrico
$mMS_{pseudocaule} = 4\,654,72 e^{(0,000033198 x)}$	2	1 162,12	0,96	Exponencial
$mMS_{pseudocaule} = 9\,387,76 x^{(0,0000048953 x)}$	2	3 579,45	0,64	Geométrico
$mMS_{folha} = 1\,040,15 x^{(0,0000018189 x)}$	2	456,40	0,83	Geométrico
$mMS_{folha} = 983,08 x^{(0,0000026019 x)}$	2	393,32	0,88	Geométrico
$mMS_{folha} = -6\,747,52 + 1\,028,04 \ln(x)$	2	702,45	0,50	Logaritmo
$mMS_{engaco} = 685,15 - 12\,201\,793,04 / x$	2	54,67	0,82	Hiperbólico
$mMS_{engaco} = -508,08 + 0,045852 x - 0,00000053319 x^2$	3	60,38	0,79	Polinomial Quadrático
$mMS_{engaco} = -1\,388,19 + 193,83 \ln(x)$	2	56,69	0,81	Logaritmo
$mMS_{fruto} = 12\,333,85 / e^{((-63\,248,83 - x^2) / (2 \cdot 31\,057,84^2))}$	3	1 081,59	0,85	Gaussiano
$mMS_{fruto} = 12\,293,50 / e^{((-46\,211,91 - x^2) / (2 \cdot 21\,807,65^2))}$	3	1 123,88	0,86	Gaussiano
$mMS_{fruto} = -21\,194,80 + 3\,420,84 \ln(x)$	2	1 721,65	0,62	Logaritmo
$mMS_{rizoma\ filha} = 0,0127538 x^{1,176997}$	2	832,24	0,81	Potencial
$mMS_{rizoma\ filha} = 11\,316,03 e^{(-34\,922,87 / x)}$	2	993,09	0,73	Exponencial modificado
$mMS_{rizoma\ filha} = 1\,843,60 x^{(0,0000071962 x)}$	2	812,61	0,81	Geométrico
$mMS_{pseudocaule\ filha} = -64\,222,91 + 6\,562,05 \ln(x)$	2	1 658,06	0,72	Logaritmo
$mMS_{pseudocaule\ filha} = 11\,365,23 - 168\,634\,324,95 / x$	2	1 993,00	0,56	Hiperbólico
$mMS_{pseudocaule\ filha} = 20\,067,55 x^{(-1\,409,75 / x)}$	2	635,81	0,95	Geométrico modificado
$mMS_{folha\ filha} = -12\,606,32 + 1\,297,505 \ln(x)$	2	478,67	0,58	Logaritmo
$mMS_{folha\ filha} = -3\,126,93 + 0,2379 x - 0,0000029775 x^2$	3	526,73	0,51	Polinomial Quadrático
$mMS_{folha\ filha} = 1\,794,52 / e^{((-15\,295,40 - x^2) / (2 \cdot 5\,564,34^2))}$	3	288,02	0,88	Gaussiano

Os modelos acima são válidos para uma faixa de $^1mMS_{Família} \forall 25\,554 \leq x \leq 66\,467$ kg/ha; $^2mMS_{Mãe} \forall 21\,422 \leq x \leq 49\,231$ kg/ha e $^3mMS_{Filha} \forall 4\,133 \leq x \leq 17\,236$ kg/ha. p = número de parâmetros do modelo (incluso o intercepto); S = erro padrão da estimativa e R = coeficiente de correlação linear simples.

3.2. Avaliadores de ajustes dos dados ao modelo

A massa de matéria seca dos órgãos que compõe a planta-mãe e planta-filha, foram melhores estimados pela mMS_Mãe e mMS_Filha, respectivamente, por meio do QMR, com exceção para engajo e o fruto que foram melhor estimados pela mMS_Família (Tabela 6). O $S_{yx(\%)}$ foi semelhante ao QMR, exceto pelo fato do fruto ser melhor estimado pela mMS_Mãe. Essa divergência pode estar relacionada ao tipo de modelo, vista que ambos (mMS_Família e mMS_Mãe) partilham do mesmo modelo (Gaussiano) na estimativa da mMS_{fruto}.

Dentre os órgãos avaliados, os que apresentaram menor dispersão ao longo da curva de regressão foram o pseudocaulo (7,35; 8,75) e o fruto (10,82; 10,91) pela mMS_Mãe e mMS_Família, respectivamente. Por outro lado, folha filha (37,21; 33,82) e pseudocaulo filha (29,79; 24,78) apresentaram as maiores variações em função da mMS_Mãe e mMS_Família, respectivamente.

Para todos os modelos de estimativas dos órgãos da bananeira, os que compõem a planta-mãe possuem menor dispersão quando em função da mMS_Mãe, da mesma forma, os que compõem a planta filha apresentam menor dispersão em função mMS_Filha, a única exceção ocorre para o órgão engajo que apresenta menor variação quando estimado pela mMS_Família (Tabela 6).

A avaliação dos modelos por meio do DMA foi semelhante ao $S_{yx(\%)}$, exceto para engajo, que apresentou o menor valor de DMA (40,50) quando em função da mMS_Filha. Este resultado divergiu dos demais avaliadores, no caso específico do engajo, três tipos de modelos diferentes foram obtidos por meio do CurveExpert, hiperbólico (mMS_Família), polinomial quadrático (mMS_Mãe) e logaritmo (mMS_Filha), cuja divergência pode ser atribuída ao caráter logaritmo do modelo quando em função da mMS_Filha, já que este estreitará a amplitude vertical dos dados (variável dependente) em torno da curva de regressão, melhorando a estimativa dos coeficientes da equação através do método de mínimos quadrados. Sendo inclusive bastante utilizado para resolver problemas de assimetria de dados como volume de madeira da área florestal (Ribeiro et al., 2014; Silva e Santana, 2014), como os valores de $S_{yx(\%)}$ e QMR para estes modelos foram bem próximos, permitiu que a mMS_Filha tivesse o menor valor de DMA sugerindo por meio deste, o melhor modelo contrariando os demais avaliadores.

Em relação ao R^2 , os maiores valores obtidos para cada órgão foram: rizoma (0,77); pseudocaulo (0,94) e folha (0,77), sendo estas variáveis melhor estimadas pela

mMS_Mãe, seguida pelo engajo (0,67) e fruto (0,77) que teve sua variação melhor estimada pela mMS_Família.

No caso da mMS dos órgãos: rizoma filha, pseudocaule filha e folha filha foram melhores estimadas pela mMS_Filha com valores do R^2 de 0,68; 0,93 e 0,78 respectivamente. Com exceção da mMS do rizoma filha, que apresentou elevada discrepância ao estimar as mMS do pseudocaule filha e folha filha por parte da mMS_Mãe e mMS_Família em comparação com a mMS_Filha. Porém, é importante recordar, que a capacidade estimativa da variável mMS_Filha é apenas de 45 % (Tabela 4), ou seja, talvez seja mais prudente utilizar para os órgãos da planta filha o segundo maior R^2 , que seria obtido pela mMS_Família: 0,66; 0,52 e 0,34 para os órgãos rizoma, pseudocaule e folha filha, respectivamente.

Essa abordagem foge do conceito quantitativo de seleção do modelo, levando a um caráter subjetivo como já descrito por Myung et al. (2009), que destacam a avaliação conjunta de critérios como capacidade explicativa, interpretabilidade e plausibilidade do modelo, exigindo conhecimento, experiência e preferência do modelador. Porém, estes mesmos autores advertem que não se deve exagerar no peso atribuído a estes critérios como forma de avaliação.

Conforme o AIC_c , os modelos indicados como os melhores para cada órgão foram os mesmos obtidos pelos demais avaliadores, exceto o DMA para o engajo, além do $Syx\%$ e DMA para o fruto (Tabela 6). Uma especificidade do AIC é que neste não há hipótese a ser testada como ocorre com os testes F e t, por exemplo, na estatística clássica, o mesmo determinar qual o modelo é o mais provável de ser correto, além de quantificá-lo (Motulsky e Christopoulos, 2003; Burnham et al., 2011). A fundamentação teórica deste avaliador combina teoria da informação de Kullback-Leibler (Burnham e Anderson, 2001), propriedades assintóticas dos estimadores de máxima verossimilhança (Hurvich e Tsai, 1991) além do conceito de entropia (Burnham et al., 2011), conferindo-lhe um caráter qualitativo na seleção dos modelos.

Tabela 6. Avaliadores estatísticos para a seleção de modelos que estimam massa de matéria seca dos diferentes órgãos da bananeira a partir da MSFamília, MSMãe e MSFilha em kg/ha. Missão Velha, CE.

$\hat{Y} = f(x)$	Modelo	QMR	Syx%	DMA	R ²	AICc	BIC
Rizoma = f(Família)	$\hat{Y} = a + b \ln(x)$	1 342 183,88	16,93	774,53	0,63	228,54	229,17
Rizoma = f(Mãe)	$\hat{Y} = a + b \ln(x)$	817 915,13	13,21	597,40	0,77	220,62	221,24
Rizoma = f(Filha)	$\hat{Y} = a + b / x$	2 770 868,65	24,32	1 309,23	0,23	240,14	240,76
Pseudocaule = f(Família)	$\hat{Y} = a x^{(b/x)}$	2 598 680,92	8,75	1 118,72	0,89	239,11	239,74
Pseudocaule = f(Mãe)	$\hat{Y} = a e^{(b/x)}$	1 350 532,96	7,35	911,90	0,94	228,64	229,26
Pseudocaule = f(Filha)	$\hat{Y} = a x^{(b/x)}$	12 812 471,38	21,49	2 838,27	0,44	264,64	265,26
Folha = f(Família)	$\hat{Y} = a x^{(b/x)}$	208 297,93	15,67	354,98	0,68	198,73	199,36
Folha = f(Mãe)	$\hat{Y} = a x^{(b/x)}$	154 703,06	13,51	299,99	0,77	193,97	194,60
Folha = f(Filha)	$\hat{Y} = a + b \ln(x)$	493 434,30	24,28	580,57	0,25	212,53	213,15
Engaço = f(Família)	$\hat{Y} = a + b / x$	2 989,31	12,71	46,61	0,67	130,83	131,45
Engaço = f(Mãe)	$\hat{Y} = a + b x + c x^2$	3 645,76	14,04	46,97	0,63	135,90	136,22
Engaço = f(Filha)	$\hat{Y} = a + b \ln(x)$	3 214,23	13,18	40,50	0,65	131,99	132,61
Fruto = f(Família)	$\hat{Y} = a / e^{((b-x)^2 / (2 c^2))}$	1 169 828,93	10,91	922,78	0,77	228,24	228,55
Fruto = f(Mãe)	$\hat{Y} = a / e^{((b-x)^2 / (2 c^2))}$	1 263 107,60	10,82	853,47	0,76	229,46	229,78
Fruto = f(Filha)	$\hat{Y} = a + b \ln(x)$	2 964 073,24	15,82	1 331,56	0,38	241,22	241,84
RizomaF = f(Família)	$\hat{Y} = a x^b$	692 625,34	18,98	597,18	0,66	217,96	218,58
RizomaF = f(Mãe)	$\hat{Y} = a e^{(b/x)}$	986 227,40	22,29	653,64	0,52	223,61	224,23
RizomaF = f(Filha)	$\hat{Y} = a x^{(b/x)}$	660 335,38	18,87	593,98	0,68	217,19	217,82
PseudocauleF = f(Família)	$\hat{Y} = a + b \ln(x)$	2 749 156,95	24,78	1 216,55	0,52	240,02	240,64
PseudocauleF = f(Mãe)	$\hat{Y} = a + b / x$	3 972 038,83	29,79	1 476,90	0,31	245,90	246,53
PseudocauleF = f(Filha)	$\hat{Y} = a x^{(b/x)}$	404 252,51	11,09	563,19	0,93	209,34	209,97
FolhaF = f(Família)	$\hat{Y} = a + b \ln(x)$	229 120,32	33,82	373,84	0,34	200,26	200,88
FolhaF = f(Mãe)	$\hat{Y} = a + b x + c x^2$	277 441,10	37,21	374,68	0,26	205,21	205,53
FolhaF = f(Filha)	$\hat{Y} = a / e^{((b-x)^2 / (2 c^2))}$	82 956,15	20,59	221,36	0,78	185,89	186,21

QMR = Quadrado médio do resíduo; Syx% = Erro padrão da estimativa em porcentagem; DMA = Desvio médio absoluto; R² = Coeficiente de determinação; AICc = Critério de informação Akaike corrigido; BIC = Critério de informação Bayesiano.

A probabilidade e a taxa de evidenciação dão ideia do suporte empírico para um dado modelo (Burnham et al., 2011), por exemplo, para a mMS do órgão rizoma o menor valor de AICc foi obtido quando em função da mMS_Mãe. Portanto, este modelo representa a melhor distribuição dos dados em relação a sua população, sendo denominado de modelo “ideal” de probabilidade igual a 1,0. Dessa forma, o modelo da mMS_Mãe é 52,58 vezes melhor que a mMS_Família e 17 348,49 em relação a mMS_Filha (Tabela 7).

Antes da construção dos modelos, é preciso que saibamos que não existem modelos “verdadeiros”, existem, apenas, modelos aproximados da realidade que causam perda de informações (Emiliano et al., 2014), ou seja, ao considerar que o modelo mMS_Mãe é “ideal” ou “verdadeiro” para estimar o órgão rizoma, utilizando como critério o menor valor de AICc, sabemos que este modelo dentre os três é o que apresenta menor perda de informação. Box e Draper (1987) afirmam que todos os modelos têm erros, porém alguns são úteis e podem, portanto, ser utilizados. Dessa forma, é necessário fazer a seleção do “melhor” modelo, dentre aqueles que foram ajustados ou disponíveis, para descrever o fenômeno sob estudo (Emiliano et al., 2014).

Os modelos que apresentaram a menor perda de informações em relação ao “melhor” modelo foram: 1,47; 1,79 e 1,85 para mMS_Família (Rizoma Filha), mMS_Filha (Engaço) e mMS_Mãe (Fruto), respectivamente, ou seja, estes modelos podem vir a ser utilizados como substitutos do “melhor” modelo, caso por exemplo, critérios de plausibilidade favoreçam o uso dos mesmos. Enquanto as maiores perdas de informação foram obtidas: 86 873 255,37; 65 617 816,59 e 4 574 824,97 para mMS_Mãe (Pseudocaulis Filha), mMS_Filha (Pseudocaulis) e mMS_Família (Pseudocaulis Filha), respectivamente.

Os valores obtidos pelo avaliador BIC foram próximos aos obtidos por AICc, além de que, para cada conjunto de modelos, os menores valores obtidos para BIC foram também os menores valores de AIC (Tabela 6), demonstrando elevada similaridade entre estes avaliadores. Realmente, ambos os métodos são semelhantes pois fundamentam-se na verossimilhança, o diferencial é a penalização da verossimilhança ao número de parâmetros do modelo, ou seja, quanto maior o número de parâmetros, menos parcimonioso é o modelo, portanto, maior será sua penalidade (Emiliano et al., 2014).

Em alguns trabalhos são observados melhor desempenho do BIC em relação ao AIC, levando à falsa conclusão que o BIC é um avaliador mais rígido e até mesmo superior ao AIC. Isto está mais relacionado ao tipo e comportamento assintótico do modelo, tamanho da amostra (Acquah, 2012; Emiliano et al., 2014), e se o modelo é ou não aninhado, ou seja, se as variáveis independente de um modelo estão contidas ou não no conjunto de variáveis independente de um segundo modelo (Wang e Liu, 2006).

Segundo Dziak et al. (2012) optar pelo uso do BIC ou AIC depende da importância relativa em atribuir sensibilidade a uma dada especificidade. Entender as diferenças entre BIC e AIC pode facilitar ao comparar os seus resultados e usá-los de forma correta na tomada de decisões. Kuha (2004) sugere o uso conjunto do BIC e AIC, dado preferência a escolha de modelos favorecidos por ambos dos métodos.

Para facilitar a interpretação do BIC, Kass e Raftery (1995) estabeleceram uma relação entre os valores de BIC do modelo a ser testado com o modelo que apresenta o menor valor. Segundo esses autores, diferenças entre BIC de modelos na ordem: 0 a 2 (simples); 2 a 6 (positiva); 6 a 10 (forte) e acima de 10 (muito forte), representam provas contra o modelo que está sendo avaliado. Esta escala é útil como marcador preditivo na interpretação do fator de Bayes, possuindo um diferencial, que não depende da visualização de um dos modelos como “verdadeiro”, como ocorre com o AIC (Kass e Raftery, 1995).

Com base na escala acima, a mMS_Família (Rizoma Filha), mMS_Filha (Engaço) e mMS_Mãe (Fruto) encontram-se numa faixa simples, ou seja, sem divergências contra os modelos que apresentaram os menores valores de BIC em cada órgão (Tabela 7). Esses valores concordam com os modelos que apresentaram as menores taxas de evidência pelo AICc. No intervalo denominado de positivo, encontra-se mMS_Família e mMS_Mãe para a folha e engaço, respectivamente. No intervalo denominado de forte, encontra-se mMS_Mãe (Rizoma Filha) e mMS_Família (Rizoma), enquanto os demais modelos se enquadram como muito forte, ou seja, para estes últimos há provas contundentes da inferioridade na capacidade preditiva destes modelos em estimar massa de matéria seca ao confrontar o modelo de menor valor de BIC para cada órgão.

Em adição foi realizada uma avaliação pelo teste do qui-quadrado (χ^2) para testar a hipótese nula (modelo ajustado é adequado) e a hipótese alternativa (modelo ajustado não é adequado). A interpretação do χ^2 é semelhante para os demais

avaliadores, quanto menor o valor, melhor é o ajuste do modelo, sendo possível ranquear os modelos de forma semelhante ao AICc e ao BIC.

Os melhores modelos obtidos pelo χ^2 foram os mesmos obtidos pelo AICc e ao BIC, com exceção para o fruto estimado pela mMS_Mãe (Tabela 7), apesar da taxa de evidencia e o Δ BIC não mostrarem diferença deste com o modelo mMS_Família. É importante ressaltar que tanto a mMS_Mãe e mMS_Família, para estimar a mMS do órgão fruto, partilham do mesmo tipo de modelo, ou seja, gaussiano.

Tabela 7. Critérios estatísticos obtidos a partir do AIC, BIC e χ^2 para seleção de modelos.

		n	p	Δ AICc	Prob.	Taxa de Evidência	Δ BIC	χ^2	Valor-p
Rizoma	Família	16	2	7,92	0,01902	52,58	7,92	5,62	0,98
	Mãe	16	2	0,00	1,00000	-	-	3,42	1,00
	Filha	16	2	19,52	$5,76 \times 10^{-5}$	17 348,49	19,52	21,96	0,08
Pseudocaul e	Família	16	2	10,47	0,00532	187,92	10,47	1,48	1,00
	Mãe	16	2	0,00	1,00000	-	-	1,04	1,00
	Filha	16	2	36,00	$1,52 \times 10^{-8}$	65 617 816,59	36,00	8,92	0,84
Folha	Família	16	2	4,76	0,09258	10,80	4,76	4,66	0,99
	Mãe	16	2	0,00	1,00000	-	-	3,47	1,00
	Filha	16	2	18,56	$9,34 \times 10^{-5}$	10 711,33	18,56	11,20	0,67
Engaço	Família	16	2	0,00	1,00000	-	-	4,89	0,99
	Mãe	16	3	5,07	0,07936	12,60	4,76	5,54	0,96
	Filha	16	2	1,16	0,55969	1,79	1,16	5,26	0,98
Fruto	Família	16	3	0,00	1,00000	-	-	4,08	0,99
	Mãe	16	3	1,23	0,54132	1,85	1,23	4,01	0,99
	Filha	16	2	12,98	0,00152	659,88	13,29	9,23	0,82
Rizoma Filha	Família	16	2	0,76	0,68254	1,47	0,76	5,13	0,98
	Mãe	16	2	6,42	0,04039	24,76	6,42	7,07	0,93
	Filha	16	2	0,00	1,00000	-	-	5,07	0,98
Pseudocaul e Filha	Família	16	2	30,67	$2,19 \times 10^{-7}$	4 574 824,97	30,67	7,18	0,93
	Mãe	16	2	36,56	$1,15 \times 10^{-8}$	86 873 255,37	36,56	10,37	0,73
	Filha	16	2	0,00	1,00000	-	-	1,44	1,00
Folha Filha	Família	16	2	14,36	$7,6 \times 10^{-4}$	1 315,38	14,67	9,93	0,77
	Mãe	16	3	19,32	$6,39 \times 10^{-5}$	15 652,28	19,32	11,16	0,60
	Filha	16	3	0,00	1,00000	-	-	3,42	1,00

n = número de dados amostrados; p = número de parâmetros do modelo (inclusive o intercepto); Δ AICc = diferença entre os AIC de dois modelos (sendo um dos modelos considerado o “melhor” para o conjunto avaliado); Prob. = probabilidade do modelo ser o melhor para representar uma dada população (o modelo considerado “melhor” dentre o conjunto avaliado possui prob. = 1,0000); Taxa de Evidência = representa a forte evidencia, ou a superioridade do “melhor” modelo em comparação com o modelo avaliado; Δ BIC = BICi (modelo avaliado) – BICm (modelo com o menor valor de BIC); χ^2 = qui-quadrado; valor-p = valor crítico de probabilidade referente a zona de aceitação ou rejeição da hipótese nula.

Apesar dos resultados satisfatórios obtidos pelo teste χ^2 , o mesmo apresenta um problema para este tipo de análise, adotando um nível de significância de 5 % de probabilidade, todos os modelos avaliados aceitam a hipótese nula, ou seja, todos os modelos apresentam ajuste adequado, e estatisticamente não há diferença em optar por

um modelo dentre os três utilizados para estimar a mMS para cada órgão. Porém isto não é verdade, como observado pelo Δ BIC e taxa de evidencia (AICc), que mostra expressivas perdas de informações entre os modelos avaliados.

É comum na literatura o uso de testes de hipótese (ex. χ^2) e métodos de teoria da informação (ex. AIC) numa mesma análise para verificar qual o “melhor” modelo e quanto “significativamente melhor” é este modelo (Burnham et al., 2011), porém, conforme estes autores, a fundamentação teórica destes testes e métodos são diferentes, assim como sua interpretação. Esses autores sugerem optar por um ou outro procedimento, nunca os dois numa mesma análise.

Com base nos avaliadores, análise gráfica dos resíduos, QMR, $S_{yx\%}$, DMA, R^2 , AICc e BIC, os melhores modelos para estimar a massa de matéria seca dos diferentes órgãos da bananeira foram: logaritmo [$mMS_{\text{rizoma}} = f(mMS_{\text{Mãe}})$]; exponencial [$mMS_{\text{pseudocaulo}} = f(mMS_{\text{Mãe}})$]; geométrico [$mMS_{\text{folha}} = f(mMS_{\text{Mãe}})$]; hiperbólica [$mMS_{\text{engaco}} = f(mMS_{\text{Família}})$]; gaussiano [$mMS_{\text{fruto}} = f(mMS_{\text{Família}})$]; geométrico [$mMS_{\text{rizoma_filha}} = f(mMS_{\text{Filha}})$]; geométrico modificado [$mMS_{\text{pseudocaulo_filha}} = f(mMS_{\text{Filha}})$] e gaussiano [$mMS_{\text{folha_filha}} = f(mMS_{\text{Filha}})$].

Além dos modelos acima listados, podem vir a ser utilizados os modelos logaritmo [$(mMS_{\text{engaco}} = f(mMS_{\text{Filha}}))$], gaussiano [$mMS_{\text{fruto}} = f(mMS_{\text{Mãe}})$] e potencial [$mMS_{\text{rizoma_filha}} = f(mMS_{\text{Família}})$] conforme os parâmetros taxa de evidência, Δ BIC e χ^2 . Os modelos geométrico [$mMS_{\text{folha}} = f(mMS_{\text{Família}})$] e quadrático [$mMS_{\text{engaco}} = f(mMS_{\text{Mãe}})$] com base no Δ BIC e χ^2 . Além do geométrico [$mMS_{\text{pseudocaulo}} = f(mMS_{\text{Família}})$] com o χ^2 (Tabela 7).

3.3. Análise de agrupamento

Os modelos que utilizam a $mMS_{\text{Família}}$ e $mMS_{\text{Mãe}}$ foram homogêneos para estimar a mMS dos órgãos: rizoma (Fig. 3A), pseudocaulo (Fig. 3B), folha (Fig. 3C), fruto (Fig. 3E), pseudocaulo filha (Fig. 3G) e folha filha (Fig. 3H), diferindo dos modelos que utilizam a mMS_{Filha} . Enquanto, para os órgãos engaco (Fig. 3D) e rizoma filha (Fig. 3F) os modelos semelhantes foram $mMS_{\text{Família}}$ e mMS_{Filha} , diferindo em ambos dos casos da $mMS_{\text{Mãe}}$.

Conforme a análise de agrupamento há elevada similaridade entre os modelos que utilizam: ($mMS_{\text{Família}}$ e $mMS_{\text{Mãe}}$); ($mMS_{\text{Família}}$ e mMS_{Filha}) e ($mMS_{\text{Família}}$ e $mMS_{\text{Mãe}}$) para estimar os órgãos fruto, rizoma filha e pseudocaulo, respectivamente. Esses resultados corroboram com os valores apresentados para taxa

de evidência e o Δ BIC (Tabela 7). Porém, no caso do órgão pseudocaule não houve concordância com a taxa de evidência e Δ BIC, mas houve por meio do χ^2 , ou seja, na avaliação e seleção de modelos, deve se optar por testes de hipótese (estatística clássica) ou por métodos de teoria da informação, nunca os dois conforme já sugerido por Burnham et al. (2011).

Para o grupo de modelos estabelecidos para cada órgão, essa similaridade ocorreu na maioria quando se tratava do mesmo tipo de modelo, por exemplo: logaritmo (mMS_{rizoma}), geométrico (mMS_{folha}) e modelo gaussiano (mMS_{fruto}). A exceção ocorreu para a mMS_{pseudocaule} em que o modelo exponencial (mMS_Mãe) pela análise de cluster foi similar ao geométrico (mMS_Família), o mesmo tipo de modelo da (mMS_Filha), porém, ambos diferiam entre si.

Os melhores modelos obtidos pela análise de agrupamento corroboram os modelos selecionados pelos avaliadores, análise gráfica dos resíduos, QMR, $S_{yx\%}$, DMA, R^2 , AICc e BIC, além dos critérios taxa de evidência, Δ BIC e χ^2 (Fig. 3). Porém, nesta análise para todos os órgãos, com base na distância euclidiana, foram obtidos dois grupos distintos. Para todos os órgãos, com exceção do pseudocaule filha (Fig. 3G) e folha filha (Fig. 3H), o melhor modelo obtido pelos avaliadores foi acompanhado do segundo melhor modelo para cada órgão. Isso implica, segundo esta abordagem, que se possa optar por qualquer dos dois modelos dentro do grupo para estimar a massa de matéria seca do órgão avaliado. Somente os órgãos pseudocaule filha e folha filha apresentaram um único modelo tido como o melhor que se destacasse perante os outros dois para cada órgão.

Nenhum modelo, em específico, prevaleceu na estimativa da mMS dos diferentes órgãos da planta, sendo bastante variado. Isso mostra que cada órgão tem comportamento de ganho na mMS diferente dos demais. Portanto, fazer uso de apenas um tipo de modelo para estimar a mMS de toda a planta, ou de seus órgãos, pode levar as estimativas de baixa precisão e com pouca aplicação prática.

Com base em critérios quantitativos e qualitativos, os melhores modelos para estimar a mMS dos diferentes órgãos foram: logaritmo (mMS_Mãe); exponencial (mMS_Mãe); geométrico (mMS_Mãe); hiperbólico (mMS_Família); gaussiano (mMS_Família); potencial (mMS_Família), geométrico modificado (mMS_Filha) e gaussiano (mMS_Filha) para rizoma, pseudocaule, folha, engaço, fruto, rizoma filha, pseudocaule filha e folha filha, respectivamente.

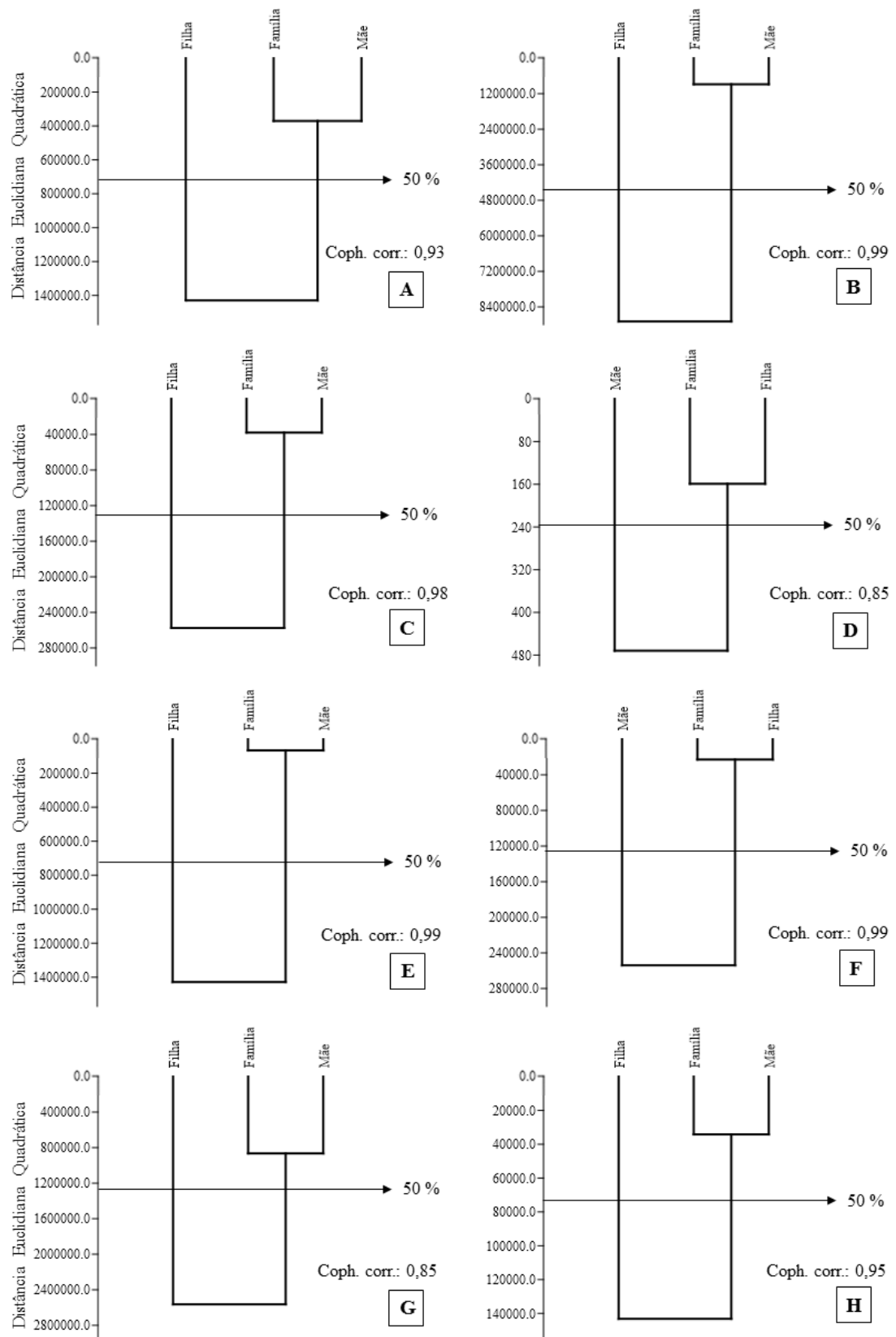


Figura 3. Dendrograma para o agrupamento dos modelos de estimativa da mMS dos órgãos rizoma (A), pseudocaule (B), folha (C), engão (D), fruto (E), rizoma filha (F), pseudocaule filha (G) e folha filha (H), obtidos com o algoritmo de Ward.

4. CONCLUSÕES

O uso de diferentes avaliadores: análise gráfica dos resíduos, QMR, $S_{yx}\%$, DMA, R^2 , AICc e BIC, são ferramentas eficiente na seleção de modelos para estimar a partição da massa de matéria seca em bananeira.

Os critérios estatísticos Taxa de Evidencia, Δ BIC e χ^2 , apresentaram resultados semelhantes, porém, para adequada interpretação, deve-se analisar separadamente critérios que utilizam teoria da informação de testes de hipótese.

Os melhores modelos obtidos pela análise de agrupamento corroboram com os selecionados pelos avaliadores, porém, diferente destes que selecionam apenas um como o “melhor modelo”, a análise de agrupamento selecionou dois para a maioria dos órgãos da planta.

O uso conjunto de avaliadores estatísticos com a análise de agrupamento contribui substancialmente para melhor seleção de modelos de estimativas da massa de matéria seca em órgãos de planta para o sistema Ferticalc-banana.

5. REFERÊNCIAS

Acquah, H. de-G., 2012. A bootstrap approach to evaluating the performance of Akaike Information Criterion (AIC) and Bayesian Information Criterion (BIC) in selection of an asymmetric price relationship. *Journal of Agricultural Sciences*, 57(2), 99-110. doi:10.2298/JAS1202099D

Akaike, H., 1974. A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactionson Automatic Control*, 19(6), 716–723. doi:10.1109/TAC.1974.1100705

Box, G. E. P., Draper, N. R., 1987. *Empirical Model-Building and Response Surfaces*. John Wiley & Sons, New York.

Burnham, K. P., Anderson, D. R., 2001. Kullback-Leibler information as a basis for strong inference in ecological studies. *Wildlife Research*, 28(2), 111–119. doi:10.1071/WR99107

Burnham, K. P., Anderson, D. R., 2002. *Model Selection and Multimodel Inference*. Springer, New York.

Burnham, K. P., Anderson, D. R., Huyvaert, K. P., 2011. AIC model selection and multimodel inference in behavioral ecology: Some background, observations, and comparisons. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 65(1) 23–35. doi:10.1007/s00265-010-1029-6

Cavalcante-Neto, A., Tholon, P., Lui, J. F., Lara, M. A. C., Fonseca, C., Ribeiro, M. N., Sarmiento, J. L. R., 2011. Modelos de regressão aleatória com diferentes estruturas

de variância residual para descrever o tamanho da leitegada. *Revista Ciência Agronômica*, 42(4), 1043–1050. doi: 10.1590/S1806-66902011000400029

Deus, J. A. L., Soares, I., Neves, J. C. L., Medeiros, J. F., Miranda, F. R., 2015. Fertilizer recommendation system for melon based on nutritional balance. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39(2), 498–511. doi:10.1590/01000683rbcs20140172

Dziak, J. J., Coffman, D. L., Lanza, S. T., Li, R., 2012. Sensitivity and specificity of information criteria. *Methodology Center Technical*. The Pennsylvania State University, State College, Pennsylvania.

Emiliano, P. C., Vivanco, M. J. F., Menezes, F. S., 2014. Information criteria: How do they behave in different models?. *Computational Statistics and Data Analysis*, 69, 141–153. doi:10.1016/j.csda.2013.07.032

Farias, L. N., Vasconcelos, V. R., Carvalho, F. F. R., Sarmento, J. L. R., 2011. Avaliação dos modelos logístico bicompartimental e de Gompertz na estimativa da dinâmica de fermentação ruminal in vitro do farelo e da torta de babaçu (*Orbignya martiana*). *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 63(1), 136-142. doi:10.1590/S0102-09352011000100021

Flori, J. E., Scarpate Filho, J. A., Resende, G. M., 2008. Avaliação do ciclo e produção da planta-filha em função do manejo da planta-mãe em diferentes épocas do ano em bananeira Prata-Anã. *Ciência e Agrotecnologia*, 32(3), 969-973. doi: 10.1590/S1413-70542008000300039

Floriano, E. P., Muller, I. Finger, C. A. G., Schneider, P. R., 2006. Ajuste e seleção de modelos tradicionais para série temporal de dados de altura de árvores. *Ciência Rural*, 16(2), 177–199. doi:10.5902/198050981898

Gatto, A., Barros, N. F., Novais, R. F., Silva, Ivo Ribeiro, Leite, H. G., Villani, E. M. A., 2011. Estoque de carbono na biomassa de plantações de eucalipto na região centro-leste do estado de Minas Gerais. *Revista Árvore*, 35(4), 895-905. doi:10.1590/S0100-67622011000500015

Hammer, Ø., Harper, D. A. T., Ryan, P. D., 2001. Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 1–9.

Hurcich, C. M., Tsai, C. L., 1989. Regression and time series model selection in small samples. *Biometrika*, 76(2), 297–307. doi:10.1093/biomet/76.2.297

Hurvich, C. M., Tsai, C. L., 1991. Bias of the corrected aic criterion for underfitted regression and time series models. *Biometrika*, 78(3) 499–509. doi:10.1093/biomet/78.3.499

Hyams, D. G., 2010. CurveExpert Basic. Release 1.4. Disponível em: <http://docs.curveexpert.net/curveexpert/basic/_static/CurveExpertBasic.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2015.

Jacobi, L. F., Souza, A. M., Pereira, J. E. S., 2002. Gráfico de controle de regressão aplicado na monitoração de processos. *Revista Produção*, 12 (1), 46-59. doi:10.1590/S0103-65132002000100005

Kass, R. E., Raftery, A. E., 1995. Bayes Factors. *Journal of the American Statistical Association*, 90(430), 773–795. doi: 10.1080/01621459.1995.10476572

Kuha, J., 2004. AIC and BIC: Comparisons of Assumptions and Performance. *Sociological Methods & Research*, 33(2), 188–229. doi:10.1177/0049124103262065

Kurihara, C. H., Alvarez V., V. H., Neves, J. C. L., Novais, R. F., 2013. Acúmulo de matéria seca e nutrientes em soja, como variável do potencial produtivo. *Revista Ceres*, 60(5), 690-698. doi:10.1590/S0034-737X2013000500013

Machado, S. A., Aguiar, L. P., Figueiredo Filho, A., Koehler, H. S., 2008. Modelagem do volume do povoamento para *Mimosa scabrella* Benth. na região metropolitana de Curitiba. *Revista Árvore*, 32(3), 465-478. doi:10.1590/S0100-67622008000300009

Mazerolle, M. J., 2006. Improving data analysis in herpetology: using Akaike's Information Criterion (AIC) to assess the strength of biological hypotheses. *Amphibia-Reptilia*, 27(2), 169-180. doi: 10.1163/156853806777239922

Motulsky, H. J., Christopoulos, A., 2003. Fitting models to biological data using linear and nonlinear regression: A practical guide to curve fitting. GraphPad Software Inc., San Diego, California.

Myung, J., Tang, Y., Pitt, M., 2009. Evaluation and comparison of computational models. *Methods in enzymology*, 454, 287-304. doi: 10.1016/S0076-6879(08)03811-1

Oliveira, F. H. T., Novais, R. F., Alvarez V., V. H., Cantarutti, R. B., 2005. Desenvolvimento de um sistema para recomendação de adubação para a cultura da bananeira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29(1), 131-143. doi:10.1590/S0100-06832005000100015

Puiatti, G. A., Cecon, P. R., Nascimento, M., Puiatti, M., Finger, F. L., Silva, A. R., Nascimento, A. C. C., 2013. Análise de agrupamento em seleção de modelos de regressão não lineares para descrever o acúmulo de matéria seca em plantas de alho. *Revista Brasileira de Biometria*, 31(3), 337-351.

Rezende, A. V., Vale, A. T., Sanquetta, C. R., Figueiredo Filho, A., Felfili, J. M., 2006. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado sensu stricto em Brasília, DF. *Scientia Forestalis*, 71, 65–76.

Ribeiro, R. B. S., Gama, J. R. V., Melo, L. O., 2014. Seccionamento para cubagem e escolha de equações de volume para a Floresta Nacional do Tapajós. *Cerne*, 20(4), 605-612. doi:10.1590/01047760201420041400

Rosa, G. N. G. P., Novais, R. F., Alvarez V., V. H., Barros, N. F., Villani, E. M. A.,

2011. Lime and fertilizer recommendation system for coconut trees. *Revista Ceres*, 58(1), 90-99. doi:10.1590/S0034-737X2011000100014

Santos, F. C., Neves, J. C. L., Novais, R. F., Alvarez V., V. H., Sedyama, C. S., 2008. Modelagem da recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(4), 1661-1674. doi:10.1590/S0100-06832008000400031

Sarmiento, J. L. R., Regazzi, A. J, Sousa, W. H., Torres, R. A., Breda, F. C., Menezes, G. R. O., 2006. Estudo da curva de crescimento de ovinos Santa Inês. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35(2), 435-442. doi:10.1590/S1516-35982006000200014

Schwarz, G., 1978. Estimating the dimension of a model. *The Annal of statistics*, 6(2), 461-464. doi: 10.1214/aos/1176344136

Silva, A. P., Alvarez V., V. H., Souza, A. P., Neves, J. C. L., Novais, R. F., Dantas, J. P., 2009. Sistema de recomendação de fertilizantes e corretivos para a cultura do abacaxi - Fertcalc-abacaxi. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33(5), 1269-1280. doi:10.1590/S0100-06832009000500020

Silva, E. N., Santana, A. C., 2014. Modelos de regressão para estimação do volume de árvores comerciais, em florestas de Paragominas. *Revista Ceres*, 61(5), 631-636. doi:10.1590/0034-737X201461050005

Silva, N. A. M., Lana, A. M. Q., Silva, F. F, Silveira, F. G., Bergmann, J. A. G., Silva, M. A., Toral, F. L. B., 2011. Seleção e classificação multivariada de modelos de crescimento não lineares para bovinos Nelore. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 63(2), 364-371. doi:10.1590/S0102-09352011000200014

Silveira, P., 2009. Ajuste de modelos matemáticos para estimar biomassa aérea em floresta ombrófila densa. *Floresta*, 39(4), 743-752. doi:10.5380/ufv.v39i4.16309

Teixeira, C. F. A., Damé, R. C. F., Disconzi, P. B. Pinto, M. A. B., Winkler, A. S., Santos, J. P., 2013. Estatística de Mallows na seleção de modelos de predição da precipitação média mensal e anual no Rio Grande do Sul. *Revista Agro@mbiente Online*, 7(2), 145-153. doi:10.18227/1982-8470ragro.v7i2.973

Wang, Y., Liu, Q., 2006. Comparison of Akaike information criterion (AIC) and Bayesian information criterion (BIC) in selection of stock-recruitment relationships. *Fisheries Research*, 77(2), 220-225. doi:10.1016/j.fishres.2005.08.011

CAPÍTULO 2

ACÚMULO, PARTIÇÃO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES E EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DE BANANEIRA PRATA FERTIRRIGADA

RESUMO

Um adequado manejo nutricional para qualquer espécie requer quantificar os nutrientes acumulados na planta, e se possível, alocados em seus diferentes órgãos. O objetivo foi avaliar a partição, conteúdo e exportação de nutrientes, além da eficiência nutricional em bananeira Prata fertirrigada no estado do Ceará. Foi realizado o levantamento histórico de produtividade de 66 talhões de bananeira Prata, e selecionados quatro que atendessem às classes de produtividade anual ($< 30,0$; $30,0 \leq 37,5$; $37,5 \leq 45,0$ e $\geq 45,0$ t/ha). Com os valores da massa de matéria seca dos diferentes órgãos da planta-mãe e planta-filha com os respectivos teores de nutrientes, estimou-se o conteúdo de macro e micronutrientes, partição, exportação e sequência de acúmulo, como também a eficiência nutricional por meio do coeficiente de utilização biológica (CUB). A partição do conteúdo de nutrientes variou com a classe de produtividade e órgãos da planta. A distribuição de nutrientes na planta-mãe e planta-filha apresentaram amplitudes de 65,6 a 82,8 % e 17,2 a 34,4 %, respectivamente. As exportações de macronutrientes por tonelada de cacho foram 4,334; 1,660; 0,361; 0,224; 0,148 e 0,119 kg/t para K, N, P, Mg, S e Ca, respectivamente, e 7,254; 5,096; 2,379; 1,872 e 0,466 g/t para Fe, Mn, B, Zn e Cu, respectivamente. A bananeira possui padrão de partição de nutrientes para diferentes rendimentos, ou seja, existe uma “compartimentalização ideal” que promove maiores produtividades. Os nutrientes mais exportados por tonelada de cacho foram K e N. A ordem decrescente de acúmulo foi: $K > N > Ca > Mg > P > S > Mn > Fe > B > Zn > Cu$. Foi observado que os CUBs do N, P, Fe, Cu e B foram menos sensíveis às variações de produtividade, enquanto, Ca, Mg e Mn foram os mais sensíveis.

Palavras chaves: Musa spp.; redistribuição; macronutrientes; micronutrientes.

1. INTRODUÇÃO

Um adequado manejo nutricional para qualquer espécie requer quantificar os nutrientes acumulados na planta, e se possível, alocados em seus diferentes órgãos,

sendo necessário considerar a eficiência nutricional da planta, que tem implicações na recomendação de adubação.

Muitos trabalhos de acúmulo da massa de matéria seca e nutrientes para bananeira encontrados na literatura foram realizados em condições de sequeiro, sendo geralmente obtidas baixas produtividades (Hoffmann et al., 2010a), portanto, o uso de informações extraídas destes trabalhos limitam a estimativa da demanda de nutrientes pela bananeira em programas de adubação que visam aumentos de produtividade.

Coincidentemente, analisando a série histórica no Brasil, observa-se que no ano de 1962 a produtividade foi de 15,0 t/ha, enquanto em 2013 foi de 14,2 t/ha, ou seja, a produtividade atual é semelhante a obtida a mais de 50 anos atrás (FAOSTAT, 2016). Esses números impressionam e evidenciam um grave problema, tendo em vista que o Brasil é o quarto maior produtor de banana no mundo e o segundo maior em área plantada no ano de 2013.

Portanto, com intuito de aprimorar programas de adubação que utilizam informações com base na demanda nutricional relacionando-as a diferentes faixas de produtividade, este trabalho teve por objetivo, estimar e avaliar a partição, conteúdo e exportação de nutrientes, além da eficiência nutricional em bananeira Prata fertirrigada no estado do Ceará.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Descrição da área

O experimento foi realizado no primeiro semestre de 2014 na empresa Sítio Barreiras Fruticultura LTDA, localizada no município de Missão Velha - Ceará, coordenadas geográficas de 7° 35' 90" S e 39° 21' 17" W, com altitude aproximada de 442 m. O clima da região é do tipo Aw – clima tropical com estação seca no inverno e chuvas concentradas no verão (Köppen-Geiger). A empresa dispõe de 66 talhões de bananeira Prata fertirrigada, com área média de 3,26 ha. As características químicas do solo são apresentadas na tabela 1.

Inicialmente foi realizado o levantamento sobre a produtividade anual de frutos na empresa entre os anos de 2010 a 2013, sendo estabelecidas quatro classes de produtividade ($< 30,0$; $30,0 \leq 37,5$; $37,5 \leq 45,0$ e $\geq 45,0$ t/ha). Em seguida, foram selecionados quatro dos 66 talhões que atendessem as classes de produtividade no período avaliado.

Tabela 1. Produtividade e características químicas da camada de 0 - 20 cm dos solos com bananeira Prata fertirrigada.

Prod.	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	t	T
t/ha		----- mg/dm ³ -----			----- cmol _c /dm ³ -----					
< 30	7,04	62,0	188,0	3,71	0,98	0,00	1,40	5,17	5,17	6,57
30 ≤ 37,5	6,79	132,1	138,0	3,26	0,85	0,00	1,60	4,46	4,46	6,06
37,5 ≤ 45	7,08	46,9	112,0	3,81	0,78	0,00	1,60	4,88	4,88	6,48
> 45	7,07	140,8	158,0	4,69	1,02	0,00	1,90	6,12	6,12	8,02
Talhão	P-Rem	S	V	m	MO	B	Cu	Mn	Fe	Zn
t/ha	mg/L	mg/dm ³	----- % -----	dag/kg	----- mg/dm ³ -----					
< 30	53,4	9,8	78,7	0,0	1,41	0,36	0,90	257,6	14,4	27,11
30 ≤ 37,5	49,8	6,8	73,6	0,0	1,66	0,42	0,60	66,1	35,7	19,65
37,5 ≤ 45	54,7	9,4	75,3	0,0	1,28	0,38	0,42	111,2	11,3	14,23
> 45	47,9	3,6	76,3	0,0	1,54	0,51	1,32	264,7	8,6	27,22

Prod. = produtividade de frutos; pH em água relação 1:2,5; P, K, Cu, Mn, Fe e Zn, extrator Mehlich-1; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺, extrator KCl 1mol/L; H + Al, extrator acetato de cálcio 0,5 mol/L a pH 7,0; SB = soma de bases trocáveis; t = capacidade de troca catiônica efetiva; T = capacidade de troca catiônica a pH 7,0; P-rem = fósforo remanescente; S, extrator fosfato monocálcico em ácido acético; V = índice de saturação por bases; m = índice de saturação por alumínio; MO = matéria orgânica obtida por carbono orgânico x 1,724 (Walkley-Black) e B, extrator água quente.

2.2. Coleta e preparo das amostras

Foi realizada em cada talhão a amostragem de quatro “Famílias¹” escolhidas ao acaso, no ponto de colheita do cacho da planta-mãe, totalizando 16 famílias ou unidades amostrais. Cada família foi particionada em planta-mãe (rizoma, pseudocaule, folha, engajo e fruto) e planta-filha (rizoma filha, pseudocaule filha e folha filha) para determinação da massa de matéria seca (mMS), além de retirar amostras para a caracterização química dos teores de macro e micronutrientes em todos os órgãos da planta.

As amostras foram secas em estufa de circulação forçada, a temperatura de 65 °C, por um período de 72 h, e em seguida, moídas em moinho tipo Willey, utilizando peneira com malha de 0,85 mm (20 mesh).

Em seguida, procedeu-se à caracterização química dos teores totais de macro e micronutrientes nas amostras do tecido vegetal conforme metodologia descrita por Silva (2009). Para a obtenção dos teores de N nos diferentes órgãos da planta foi realizada digestão sulfúrica e determinação pelo método Kjeldahl. Boro (B) por digestão seca (mufla) e determinação colorimétrica utilizando azometina H. Para os demais nutrientes realizou-se digestão nítrico-perclórica e determinação por

¹ A bananeira se propaga vegetativamente, por meio de perfilhos ou rebentos (planta-filha) que dará início a um novo ciclo, emitido a partir do rizoma da planta adulta (planta-mãe) e a esse conjunto de plantas interligadas é denominado de “família” ou touceira (Flori et al., 2008).

espectrofotometria de absorção atômica para Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Mn, enquanto para P e S determinação pelo método colorimétrico e turbidimétrico, respectivamente, e K por fotometria com emissão de chama.

2.3. Conteúdo, partição e exportação de nutrientes da bananeira

Com os valores da massa de matéria seca dos diferentes órgãos da planta-mãe e planta-filha com os respectivos teores de nutrientes, calculou-se o conteúdo de macro e micronutrientes na bananeira pela multiplicação do teor pela massa de matéria seca, expressando-os em kg/ha e g/ha, respectivamente. (Considerando um stand de 1.275 famílias por hectare).

Determinou-se a partição de nutrientes entre a planta-mãe e planta-filha, e exportação de nutrientes pela planta-mãe, expresso em %, como também a quantidade de nutrientes exportados por tonelada de cacho, em kg/t e g/t para macro e micronutrientes, respectivamente. Sendo estes últimos submetidos à análise de variância e as médias discriminadas por meio do teste de Scott-Knott, a 5 % de probabilidade.

Foram ainda obtidos a ordem de acumulação de nutrientes na massa de matéria seca Família (mMS_Família), planta-mãe (mMS_Planta-mãe) e planta-filha (mMS_Planta-filha), como também para os diferentes órgãos. Todas estas variáveis foram obtidas em função das classes de produtividade de frutos (< 30,0; 30,0 ≤ 37,5; 37,5 ≤ 45,0 e ≥ 45,0 t/ha).

2.4. Eficiência nutricional da bananeira

De posse da massa de matéria seca e conteúdo de nutrientes nos diferentes órgãos, determinou-se o coeficiente de utilização biológica do nutriente (CUB_Nu_i) para cada órgão conforme equação 1. Os dados de CUB foram submetidos à análise de variância e as médias foram discriminadas pelo teste de Scott-Knott, a 5 % de probabilidade.

$$CUB_Nu_i = \frac{\text{Massa de matéria seca}}{\text{Conteúdo do nutriente (i)}} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que, CUB é expresso em kg/kg, massa de matéria seca e conteúdo do nutriente são expressos em kg/ha.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Partição e exportação de nutrientes

A partição do conteúdo de nutrientes variou com as faixas de produtividade e órgãos da planta (Fig. 1). Foi observado para N, maior acúmulo no pseudocaule, seguido pelo fruto, folha, rizoma e engajo na planta-mãe (Fig. 1), constatando alterações na ordem de acumulação deste nutriente em função da faixa de produtividade, na qual, para as menores produtividades o conteúdo de N na folha foi superior ao do fruto, e com aumento da produtividade este acúmulo passa a ser maior no fruto.

De modo geral, os principais carboidratos formados na fotossíntese são amido (reserva) e sacarose (transporte), sendo este último sintetizado no citossol das células e transcolado no floema. Plantas sob deficiência de N, têm crescimento reduzido e partição da massa de matéria seca alterada, reduzindo a concentração dos açúcares solúveis totais e açúcares não-redutores e aumentando a concentração de amido foliar (Lemos et al., 2008). Favorecendo, portanto, maior acúmulo de N na folha em detrimento do fruto em lavoura com menores rendimentos. Por outro lado, sob doses elevadas de N, com baixa de K, a planta reduz a produtividade de frutos e aumenta a espessura do mesófilo foliar (Melo et al., 2010), ou seja, plantas com baixa produtividade alocam mais N na folha em vez do fruto, independente de condições de baixa ou maior disponibilidade deste nutriente. Vale ressaltar, que neste caso a folha foi um importante órgão de acúmulo para N.

A produtividade das culturas possui elevada dependência de N, por estar relacionado a diversos eventos metabólicos, como síntese de proteínas, uso de energia luminosa na redução do CO_2 e NO_3^- , além da síntese de assimilados que são utilizados durante as fases vegetativas e reprodutiva da planta (Lawlor, 2002).

Os fotoassimilados produzidos pelas folhas são acumulados de forma intermediária no pseudocaule, e em seguida translocados para os frutos (Moreira, 1999). Em estudos desenvolvidos por Soares et al. (2005) com bananeiras das cultivares Prata Anã e Grand Naine irrigadas com água de diferentes salinidades, observaram que independentemente do tipo da água de irrigação, houve alteração na partição de fotoassimilados produzidos entre os órgãos da planta ao longo do tempo, além do fruto ser o dreno metabólico preferencial da planta.

Para P, que está relacionado ao armazenamento e transporte de energia na forma de ATP, sendo fonte energética de processos metabólicos da planta, além de

fazer parte da constituição de moléculas de DNA e RNA, responsáveis pela informação genética e síntese de proteínas na planta (Taiz e Zeiger, 2013). A ordem decrescente de acumulação de P foi: pseudocaule, fruto, rizoma, folha e engaço (Fig. 1), porém, este comportamento foi relacionado a produtividade inferior a 30 t/ha, para maiores produtividades a tendência de acúmulo passa a ser maior no fruto. Dessa forma, observa-se que a bananeira possui um padrão de partição para diferentes rendimentos, ou seja, em maiores produtividades a planta irá alocar maior parte dos fotoassimilados nos frutos e conseqüentemente os nutrientes presentes nos mesmos.

A acumulação de K teve comportamento distinto, sendo maior em pseudocaule, e seguido pelo rizoma, fruto, folha e engaço (Fig. 1). Semelhante a N e P, esta ordem variou com a faixa de produtividade, sendo observado maior acúmulo de K no rizoma para a menor produtividade, e maior no fruto para a maior produtividade.

Devido ao elevado acúmulo de K nos órgãos e tecidos da planta, o K é considerado um dos principais nutrientes para bananeira (Godoy et al., 2006; Aular e Natale, 2013), mesmo não fazendo parte de nenhuma estrutura ou molécula orgânica na planta (Mengel e Kirkby, 2001). O K desempenha importante papel nas reações de catálises fundamentais, tais como: respiração, formação de clorofila, fotossíntese e regulação hídrica (Aular e Natale, 2013), com destaque como ativador enzimático, sendo conhecidas atualmente mais de 80 enzimas ativadas pelo K (Brady e Weil, 2008).

Diferente da partição de N e P na planta, a alocação do K nos órgãos fruto e rizoma em função da produtividade, não parece estar relacionado a competição entre os drenos na planta, mas sim, por sua atuação direta sobre a síntese, transporte e acúmulo de açúcares no fruto. Diversos trabalhos destacam a importância do K na fotossíntese por atuar na abertura estomática e entrada de CO₂, posteriormente, no transporte dos carboidratos produzidos na fotossíntese pelo floema para os drenos da planta, especialmente o fruto (Godoy et al., 2006; Aular e Natale, 2013; Ganeshamurthy et al., 2011).

Vale ressaltar, que a bananeira tem alta e contínua absorção de K, até a ocasião da colheita, que pode ter contribuído para maior acumulação deste no rizoma ao invés do fruto nas menores produtividades (Mengel e Kirkby, 2001; Borges et al., 2006a).

Entre os macronutrientes, o Ca foi o que apresentou menor acúmulo no fruto (Fig. 1 D), devido provavelmente a sua baixa mobilidade na planta (Lahav, 1995), em contrapartida, o pseudocaule foi o órgão de maior acumulação na planta, seguida pela folha, rizoma, fruto e engaço.

Diferente da maioria dos nutrientes, a redistribuição de Ca da folha para o fruto é, em geral, fisiologicamente insignificante (Marschner, 2011), sendo o seu transporte no interior da planta, unidirecional, das raízes até a parte aérea, por meio da corrente transpiratória (via xilema), sendo preferencialmente transportado para locais de maior transpiração na planta (Mengel e Kirkby, 2001; Aular e Natale, 2013).

O Mg teve o mesmo comportamento do K, quanto à acumulação de nutriente e no padrão de acumulação deste nos órgãos: rizoma e fruto (Fig. 1). Essa similaridade entre Mg e K, pode estar relacionada à alta mobilidade de ambos na planta. Outro fato importante, refere-se à interação entre os nutrientes K, Ca e Mg, especialmente para bananeira que demanda elevadas doses de K. Pois o aumento no teor de K na solução do solo causa diminuição dos teores de Ca e Mg (Silva e Trevizam, 2015), sendo este problema maior para Mg, que geralmente possui teores no solo inferiores aos de Ca. Além disso, existe a interação competitiva entre Ca e Mg por sítios de absorção, na qual, o excesso de um prejudica a absorção do outro (Prado, 2008). Dessa forma, a adequada absorção de Mg pela planta está associada com as relações de equilíbrio com Ca e com K na solução do solo (Sousa et al., 2007).

Para S, a ordem decrescente de acúmulo foi: pseudocaule, fruto, folha, rizoma e engaço (Fig. 1). Este nutriente está presente em aminoácidos e na síntese de proteína, atuando diretamente na fotossíntese, respiração e fixação de N (Epstein e Bloom, 2006). Quanto ao seu padrão de partição, que foi o mesmo obtido para N, pode ser explicado pelo fato do S participar no metabolismo do N (Marschner, 2011).

Nos casos em que foram observados o aumento no acúmulo de N, P, K e Mg no fruto ao invés da folha, pseudocaule, rizoma e rizoma, respectivamente (Fig. 1), que promoveu maiores produtividades, além da relação com a fase fenológica da planta, que após o florescimento, o cacho passa a ser o dreno principal da planta (Donato et al., 2012; Robinson e Galán Saúco, 2010). Estas diferentes relações de alocação promovem na planta diferentes produtividades, ou seja, existe uma “compartimentalização ideal” que promove maiores produtividades, podendo ser um indicativo que a simples absorção, mesmo em quantidades suficientes, pode não

traduzir em ganhos de rendimentos da cultura, caso não ocorra esta compartimentalização.

Além disso, foi observado que os nutrientes N, P, K e Mg que apresentaram este comportamento diferenciado, são os mais móveis no floema (Marschner, 2011), ou seja, estes nutrientes são facilmente remobilizados de um órgão (fonte) como a folha, para órgãos (drenos) principalmente o fruto. Esta remobilização, leva a planta a ciclagem bioquímica de nutriente no seu interior, sendo bastante benéfico em situações onde o suprimento de nutriente via solo está deficiente ou temporariamente interrompido, em virtude, por exemplo de um déficit hídrico no solo (Marschner, 2011; Whitehead, 2000).

Avaliando produtividade, absorção e retranslocação de nutrientes em bananeira, Moreira e Fageria (2009a) observaram que N, assim como P, K, Mg e Cu foram os nutrientes com maior ciclagem bioquímica, ou seja, com maior remobilização no interior da bananeira, sendo o fruto uns dos principais drenos.

Com relação a planta-filha, o pseudocaule foi o órgão de maior acúmulo para todos os macronutrientes (Fig. 1). P, K e Mg apresentaram a seguinte sequência de acúmulo: pseudocaule > rizoma > folha. Para N, a folha foi o segundo órgão em acumulação, enquanto para Ca e S, o acúmulo entre rizoma e folha foram semelhantes (Fig. 1).

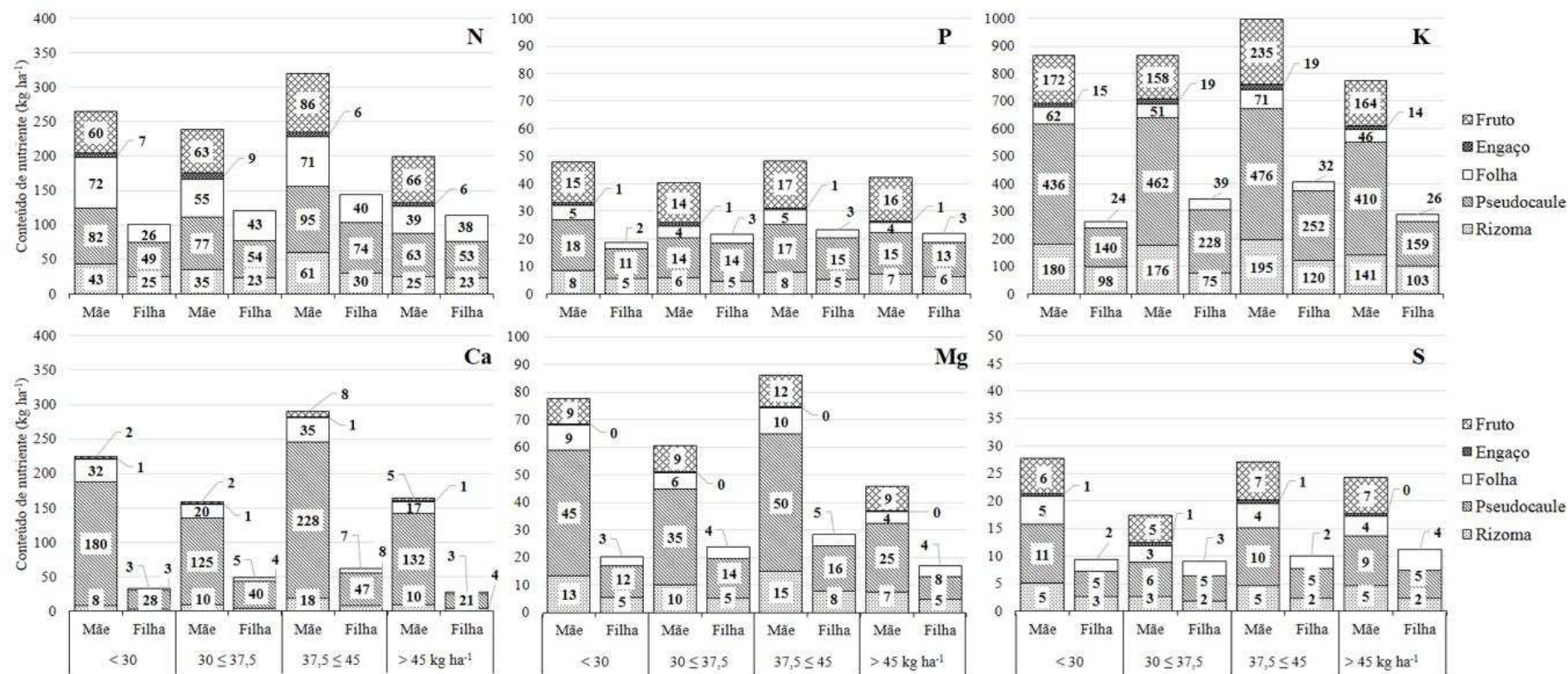


Figura 1. Valores médios da partição do conteúdo de N, P, K, Ca, Mg e S nos diferentes órgãos de bananeira fertirrigada para diferentes classes de produtividade.

Para os micronutrientes, os órgãos de maior e menor acúmulo foram pseudocaule e engaço, respectivamente, (Fig. 2). A ordem de acumulação de Zn na planta-mãe segue a seguinte ordem decrescente: pseudocaule, rizoma, fruto, folha e engaço, observando-se alteração na alocação deste nutriente entre os órgãos rizoma e fruto com a faixa de produtividade (Fig. 2) semelhante ao ocorrido com K e Mg. Porém, diferente destes, o Zn apresenta mobilidade intermediária (Marschner, 2011), dessa forma, é possível que a diferença na partição de Zn esteja relacionada a outros fatores.

A deficiência de Zn em plantas podem ter como causas à prática da adubação, condições climáticas e intrínsecas à planta, além de fatores relacionados ao solo, como neutralidade e alcalinidade, textura arenosa, baixa CTC e sujeitos a alta pluviosidade (Rodrigues et al., 2010). Vale ressaltar que no Brasil, Zn é o micronutriente mais limitante à produtividade da banana (Borges et al., 2006a; Hoffmann et al., 2010b).

No presente estudo, podemos destacar o pH do solo, tendo em vista que os talhões avaliados apresentam valores de pH entorno da neutralidade, e mesmo assim com teores altos de Zn (Tabela 1), conforme Alvarez V. et al. (1999). A disponibilidade deste nutriente no solo para as plantas está mais associada ao pH que ao teor de Zn total no solo, uma vez que sua solubilidade é pH dependente, sendo que a elevação do pH em uma unidade pode diminuir em até 100 vezes a concentração de Zn na solução do solo (Malavolta, 1981; Rodrigues et al., 2010). Além disso, o uso de água subterrânea com alta concentração de bicarbonatos, como é o caso da água utilizada na irrigação dos talhões no presente trabalho, pode elevar o pH do solo e reduzir a disponibilidade de Zn para a bananeira podendo levar à desordens no estado nutricional (Silva et al., 2007).

Para Fe, a alocação na planta mãe seguiu a mesma ordem de Zn (Fig. 2), porém, ao contrário do mesmo, Fe não tem apresentado, problemas de deficiências em bananeiras, em razão do seu alto teor nos solos brasileiros (Borges et al., 2006b). Entretanto, este não é o caso do solo da área em estudo em que apenas o talhão correspondente à faixa de produtividade $30,0 \leq 37,5$ t/ha, apresentou disponibilidade na faixa considerada adequada a cultura da banana, sendo o talhão que apresentou menor valor de pH (Tabela 1), enquanto para os demais, suas disponibilidades foram baixas (Alvarez V. et al., 1999). Referente à partição semelhante ao Zn na planta, pode ser devido a mobilidade intermediária no floema (Marschner, 2011), e tamanho do raio iônico (Silva e Trevizam, 2015).

Na planta-mãe a partição de B foi semelhante a Zn e Fe (Fig. 2), exceto, para fruto e rizoma que foram o segundo e terceiro maior em acumulação, respectivamente. Assim como Zn, o B costuma ser um micronutriente limitante em bananais brasileiros (BORGES et al., 2006b; RODRIGUES et al., 2007). Porém, os solos dos talhões estudados, apresentaram disponibilidade média de B (Alvarez V. et al., 1999).

O B é um nutriente de baixa mobilidade, ou imóvel (Malavolta, 2006). Assim como Ca, B é transportado pelo movimento ascendente de água no xilema, impulsionado pela perda de água através da transpiração com fluxo das raízes até os locais de maior transpiração (em geral as folhas), onde acumulam-se, e não se redistribuem para outras partes da planta (Brown e Shelp, 1997). Porém, isto não ocorre em plantas que produzem açúcares álcoois (polióis), como: sorbitol, manitol e dulcitol, pois estes açúcares complexam com B, tornando-o móvel no floema (Brown e Hu, 1998).

Apesar das semelhanças entre B e Ca, quanto à mobilidade na planta, diferente do que ocorre para Ca, o fruto foi o segundo órgão em acúmulo de B, não ficando claro como a planta alocou proporcionalmente alta quantidade deste nutriente neste órgão, tendo em vista, que ainda não há relatos na literatura, de que a bananeira produz estes tipos de açúcares. Entretanto, a mobilidade de B nas plantas vai além do simples fato da planta produzir ou não polióis (Nomura, 2010).

Avaliando algumas espécies de plantas, Lehto et al. (2004) observaram elevada mobilidade de B no floema, porém não foi detectada a presença de polióis. Ainda segundo estes autores, foram observados polióis em outras espécies, porém sem apresentarem mobilidade de B no floema, levantando a hipótese de que há outros mecanismos ou formação de complexos que expliquem a mobilidade de B no floema em espécies que não contém polióis.

Com Mn, a sequência de acúmulo foi: pseudocaule, seguido por folha, rizoma, fruto e engaço (Fig. 2), sendo a folha, em termos relativos, um grande acumulador deste micronutriente, como ocorreu com N. Certamente, isto se deve ao papel fundamental de Mn na reação de Hill que ocorre no cloroplasto, da qual, Mn faz parte da composição de duas importantes enzimas, a que quebra a molécula da água no fotossistema II e a superóxido dismutase. Além disto, o Mn é ativador de várias enzimas (Kirkby e Römheld, 2007).

Ainda em relação ao Mn, a discrepante acumulação na planta entre as diferentes classes de produtividade, pode ser devido ao seu teor no solo (Tabela 1),

mesmo todos os talhões apresentando alta disponibilidade (Alvarez V. et al., 1999), no solo, para as classes de produtividade $30 \leq 37,5$ e $37,5 \leq 40$ t/ha foram observadas os menores teores.

Para Cu, a ordem de alocação foi a seguinte: pseudocaule, fruto, rizoma, folha e engaço, com algumas alterações entre rizoma e folha para as faixas de produtividade (Fig. 2). Este micronutriente é constituinte de várias proteínas que atuam na fotossíntese, respiração, desintoxicação de radicais superóxidos e lignificação (Kirkby e Römheld, 2007). Desta forma, a deficiência de Cu reduz drasticamente a atividade destas proteínas, afetando diretamente o desenvolvimento da planta.

Como exemplo, sob condições de deficiência ocorre decréscimo do transporte fotossintético de elétrons, que diminui os teores de plastocianina. Esta proteína atua na fixação de CO₂, e quando em menores quantidades reduz sua taxa de fixação, levando ao decréscimo da produção de amido e de carboidratos solúveis, como a sacarose, trazendo como consequência redução da produção da massa de matéria seca na planta (Kirkby e Römheld, 2007).

Ficou evidente a importância de Cu para a produção da massa de matéria seca na planta no presente estudo, pois de acordo com análise de solo (Tabela 1) o talhão com histórico de produtividade acima de 45,0 t/ha foi o único em que o teor deste nutriente no solo, apresentou boa disponibilidade, enquanto nas classes de produtividade de $30,0 \leq 37,5$ e $37,5 \leq 45,0$ t/ha, as disponibilidades foram baixas (Alvarez V. et al., 1999).

Em relação à acumulação de micronutrientes na planta-filha, o pseudocaule foi o órgão que mais acumulou, com exceção de Zn, que foi mais acumulado no rizoma. Já na folha predominou como órgão de menor acúmulo de Zn, Fe e Cu, enquanto que Mn foi menos acumulado no rizoma, e B variou entre rizoma e folha (Fig. 2).

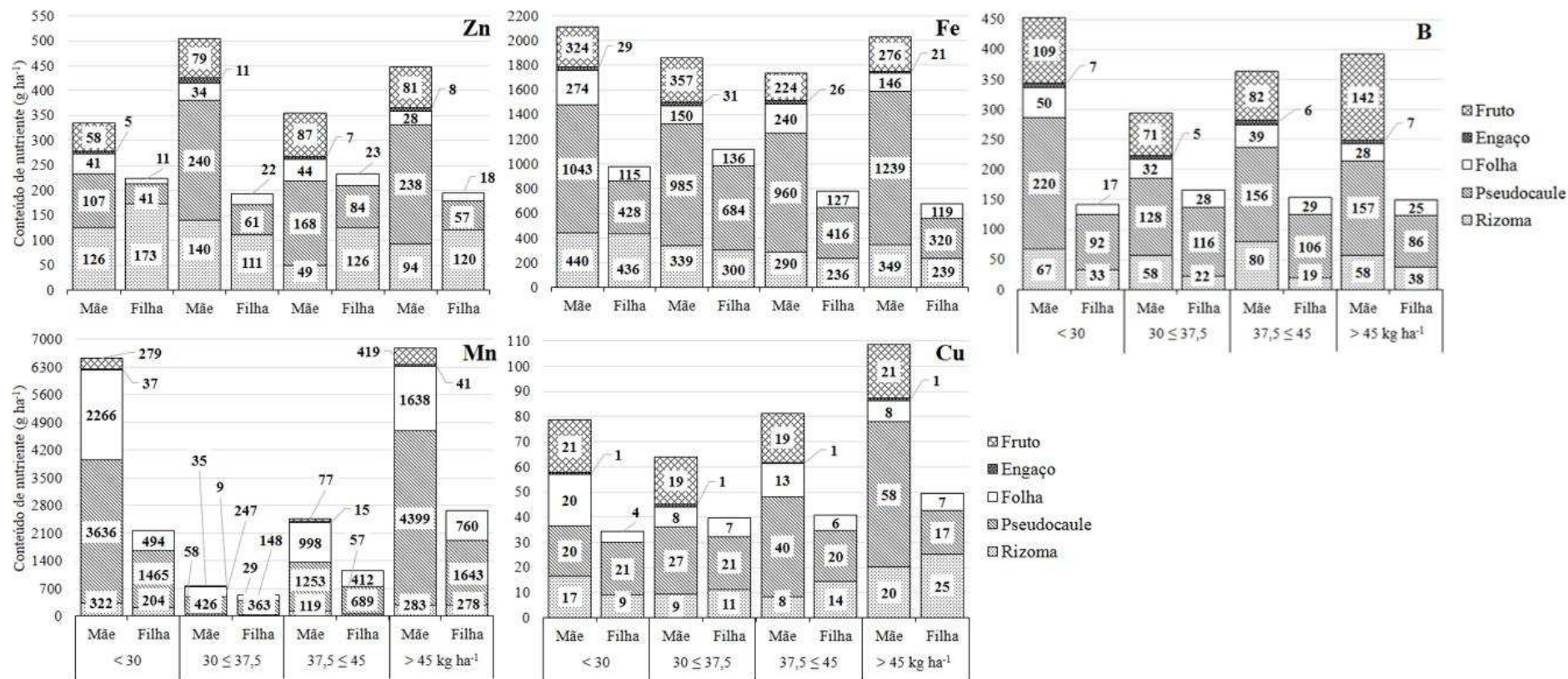


Figura 2. Valores médios da partição do conteúdo de Zn, Fe, B, Mn e Cu nos diferentes órgãos de bananeira fertirrigada para diferentes classes de produtividade.

A partição do acúmulo total de nutriente na família (planta-mãe e planta-filha) estão apresentadas na tabela 2. Entre os macronutrientes, o que apresentou maior alocação na planta-mãe foi o Ca, com média de 82,8 %, seguido por Mg, K, S e N, com médias: 74,9; 73,1; 70,5 e 67,8 %, respectivamente. Enquanto P foi o que apresentou menor acúmulo (67,5 %). Entre os micronutrientes, B e Zn apresentaram maior e menor alocação na planta-mãe com média de 70,7 e 65,6 %, respectivamente.

No geral, foi obtida uma amplitude de 65,6 a 82,8 % para planta-mãe, e 17,2 a 34,4 % planta-filha, valores que demonstram a importância da planta-filha como um importante dreno de nutrientes na família no período da colheita.

Tabela 2. Percentagem de acúmulo de nutrientes na planta-mãe e planta-filha de banana Prata para talhões com histórico de diferentes faixas de produtividade.

	< 30		30 ≤ 37,5		37,5 ≤ 45		≥ 45		Média	
	Mãe	Filha	Mãe	Filha	Mãe	Filha	Mãe	Filha	Mãe	Filha
	----- % -----									
N	72,4	27,6	66,5	33,5	69,0	31,0	63,5	36,5	67,8	32,2
P	72,1	27,9	65,0	35,0	67,4	32,6	65,7	34,3	67,5	32,5
K	76,7	23,3	71,7	28,3	71,1	28,9	72,9	27,1	73,1	26,9
Ca	87,0	13,0	76,4	23,6	82,4	17,6	85,3	14,7	82,8	17,2
Mg	79,5	20,5	71,9	28,1	75,1	24,9	73,2	26,8	74,9	25,1
S	74,7	25,3	65,9	34,1	72,8	27,2	68,5	31,5	70,5	29,5
Zn	59,9	40,1	72,4	27,6	60,5	39,5	69,6	30,4	65,6	34,4
Fe	68,3	31,7	62,4	37,6	69,1	30,9	75,0	25,0	68,7	31,3
Mn	75,2	24,8	58,9	41,1	68,0	32,0	71,7	28,3	68,4	31,6
Cu	69,7	30,3	61,7	38,3	66,6	33,4	68,6	31,4	66,7	33,3
B	76,2	23,8	64,0	36,0	70,2	29,8	72,5	27,5	70,7	29,3

Nas recomendações de adubação para cultura da banana, muitos autores consideram a importância de quantificar o nutriente que é exportado pelo cacho (engajo e fruto), conforme apresentados na tabela 3.

A exportação dos nutrientes N, Ca, Mg, Zn e B diferem em função da produtividade, sendo observadas maiores exportações para produtividades acima de 45 t/ha, com exceção de Zn (Tabela 3).

Para os macronutrientes, foram observados que P, N e S foram os nutrientes mais exportados de todo conteúdo do nutriente na planta-mãe na ocasião da colheita, com: 36,9; 30,1 e 28,2 %, respectivamente, (Tabela, 3). Hoffmann et al. (2010a) avaliaram seis diferentes cultivares, sendo três pertencentes ao mesmo grupo genômico da banana Prata (AAB), e obtiveram esta mesma sequência de exportação de nutrientes para todas as cultivares.

Os macronutrientes menos exportados, foram Ca e Mg com 2,7 e 15,7 %, respectivamente. Hoffmann et al. (2010a) obtiveram resultados semelhantes, porém em duas cultivares o Mg foi o menos exportado. Para estes nutrientes, especialmente Ca que é considerado imóvel, sua importância se dá pela sua ciclagem biogeoquímica, com seu retorno ao solo por meio dos resíduos vegetais da bananeira após a colheita do cacho. Para Mg, que é móvel no floema, além deste retorno pelos resíduos vegetais, pode haver remobilização do pseudocaule da planta-mãe (geralmente mantido após a remoção do cacho) para a planta-filha, através da interligação de seus rizomas. Cavalcante et al. (2005) avaliaram a translocação de P, que é um nutriente móvel assim como Mg, até seis meses após emergência da planta-filha, e observaram ininterrupta translocação de P entre a planta-mãe e planta-filha.

É importante considerar em programas de adubação a quantidade de nutriente imobilizada na massa de matéria seca da bananeira que retorna ao solo após a colheita (Oliveira et al., 2005), pois nutrientes como Ca e Mg possuem restituições ao solo que podem chegar a 94 e 89 %, respectivamente.

O K foi o quarto macronutriente exportado pela planta-mãe, em percentagem, porém é importante frisar que em valores absolutos foi o nutriente mais exportado e, portanto, deve ser aplicado em maiores quantidades via fertilizantes.

Para os micronutrientes, a sequência de exportação de todo conteúdo do nutriente na planta-mãe foi B, Cu, Zn, Fe e Mn, com valores médios: 28,5; 25,9; 20,7; 16,6 e 5,3 %, respectivamente (Tabela 3). Esta mesma sequência de exportação foi obtida com produtividade ≥ 45 t/ha, porém para as demais classes houve variações na ordem de exportação. Enquanto para Mn, independente da produtividade foi o micronutriente menos exportado, possivelmente devido à sua baixa mobilidade (Marschner, 2011).

Estes resultados, apesar de apresentarem valores de exportação próximos aos obtidos por Hoffmann et al. (2010b), diferiram quanto à sequência de exportação, o qual observaram que Cu e Mn foram os micronutrientes de maior e menor exportação, respectivamente, e de forma intermediária variações entre B, Zn e Fe.

Tabela 3. Exportação¹ de nutrientes pela bananeira Prata para talhões com histórico de diferentes classes de produtividade.

	< 30	30 ≤ 37,5	37,5 ≤ 45	≥ 45	Média
	----- % -----				
N	25,3 b	30,2 b	28,8 b	36,1 a	30,1
P	32,7 a	38,9 a	36,8 a	39,1 a	36,9
K	21,6 a	20,4 a	25,5 a	23,0 a	22,6
Ca	1,6 b	2,2 b	3,4 a	3,5 a	2,7
Mg	12,3 b	16,1 b	13,9 b	20,6 a	15,7
S	24,5 a	31,6 a	27,6 a	28,9 a	28,2
Zn	18,6 b	17,9 b	26,4 a	19,9 b	20,7
Fe	16,7 a	20,9 a	14,3 a	14,6 a	16,6
Mn	4,8 a	5,7 a	3,7 a	6,8 a	5,3
Cu	27,6 a	30,9 a	24,6 a	20,7 a	25,9
B	25,6 b	26,2 b	24,4 b	38,0 a	28,5

¹Para a obtenção da exportação foi considerada a soma do nutriente acumulado no engaço e fruto em relação ao acúmulo da planta-mãe, sendo este valor referente a média de quatro plantas-mães para cada classe de produtividade; As médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5 % de probabilidade.

Diferenças na exportação de nutrientes por tonelada de cacho para diferentes classes de produtividade foram também obtidas com diferença significativa para N, Ca, Mg, S, Zn Fe, Mn e B (Tabela 4). Este resultado fortalece a evidência de que a bananeira possui um padrão de partição, ou uma “compartimentalização ideal” que promove maiores produtividades, tendo em vista, que N e Fe não foram os nutrientes mais exportados com produtividade acima de 45 t/ha em relação às demais classes.

Como relatado anteriormente, o K foi o quarto macronutriente em exportação, quando expresso em porcentagem, porém o maior em valor absoluto, sendo esta informação confirmada com bases nos resultados apresentados na tabela 4, em que, são exportados 4,334 kg/t de cacho, seguido por N, P, Mg, S e Ca com exportações de 1,660; 0,361; 0,224; 0,148 e 0,119 kg/t, respectivamente.

Em estudos de Teixeira et al. (2008) foram obtidas exportações de 4,50; 1,75; 0,24; 0,20; 0,14 e 0,09 kg/t para os macronutrientes K, N, Mg, P, Ca e S, respectivamente, nas cultivares Grande Naine e Nanicão, ambas pertencentes ao grupo genômico AAA e subgrupo Cavendish. Mesma sequência foi obtida por Borges e Oliveira (2000), que obtiveram 5,60; 1,90; 0,25; 0,22 e 0,19 kg/t para K, N, Mg, P e Ca, em cinco cultivares pertencentes também ao grupo genômico AAA.

Comparando os resultados obtidos no presente trabalho com os dos autores citados, pode-se observar, que K e N foram os nutrientes mais exportados por tonelada de cacho, com pequenas variações para os demais macronutrientes. Porém, observa-se

que os valores dos macronutrientes exportados são bem próximas, mesmo tratando-se de diferentes grupos genômicos.

Expressar exportação de nutrientes por tonelada de cachos, tende a reduzir variações de acúmulo, atribuídas a diferentes condições de cultivo (Malburg e Lichtemberg, 1986). Portanto, é uma alternativa interessante, quando se busca comparar acúmulo e exportações de nutrientes em bananais sob diferentes condições de manejo, solo, planta e clima.

Entre os micronutrientes, Fe e Mn foram os nutrientes mais exportados em média com 7,254 e 5,096 g/t (Tabela 4), enquanto Cu e Zn foram menos exportados, com valores médios de 0,466 e 1,872 g/t, respectivamente.

Exportações de 5,03; 3,82; 2,23; 1,68 e 0,67 g/t para Mn, Fe, B, Zn e Cu, respectivamente, foram observados por Teixeira et al. (2008). Com exceção de Fe, os valores de exportação para micronutrientes foram bem semelhantes aos do presente estudo, mesmo considerando que os valores obtidos por estes autores sejam referentes a bananeiras de diferentes grupos genômicos.

Assim, a exportação de nutrientes por tonelada de banana Prata na ocasião da colheita apresentou a sequência para macro e micronutrientes: K > N > P > Mg > S > Ca > Fe > Mn > B > Zn > Cu (Tabela 4). Enquanto, a obtida por Teixeira et al. (2008) foi K > N > Mg > P > Ca > S > Fe > Mn > B > Zn > Cu.

Tabela 4. Valores médios¹ das quantidades de nutrientes exportados por tonelada de cacho² de banana Prata para talhões com histórico de diferentes classes de produtividade.

	< 30	30 ≤ 37,5	37,5 ≤ 45	≥ 45	Média
	kg/t				
N	1,525 b	1,807 a	1,708 a	1,600 b	1,660
P	0,356 a	0,387 a	0,330 a	0,371 a	0,361
K	4,258 a	4,414 a	4,699 a	3,966 a	4,334
Ca	0,080 b	0,082 b	0,182 a	0,133 a	0,119
Mg	0,218 a	0,245 b	0,221 a	0,211 a	0,224
S	0,155 a	0,140 b	0,138 b	0,159 a	0,148
	g/t				
Zn	1,419 b	2,315 a	1,736 b	2,019 a	1,872
Fe	8,063 a	9,515 a	4,614 b	6,826 b	7,254
Mn	7,158 b	1,005 c	1,718 c	10,502 a	5,096
Cu	0,494 a	0,497 a	0,369 a	0,502 a	0,466
B	2,625 a	1,918 b	1,636 b	3,339 a	2,379

¹Valor referente a média de quatro plantas-mães para cada classe de produtividade; ²O cacho no presente estudo refere-se aos órgãos engajo e fruto da planta-mãe; As médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5 % de probabilidade.

Geralmente para bananeira, é comum encontrar trabalhos com ordem de acúmulo e exportação de nutrientes pelo cacho, entretanto, é necessário o mesmo tipo de abordagem para avaliar os demais órgãos da planta e assim melhorar o entendimento acerca dos mesmos. Na tabela 5, são apresentados a ordem decrescente de acúmulo de nutrientes nos diferentes órgãos da planta-mãe e planta-filha.

Para macronutrientes, a acumulação seguiu a ordem de $K > N > Ca > Mg > P > S$ para planta-mãe e planta-filha, além da família, exceto para a faixa de produtividade ≥ 45 t/ha que houve inversão entre Mg e P (Tabela 5). Este resultado corrobora com os obtidos por Rodrigues et al. (2010) que observaram a mesma sequência em planta-mãe, quando avaliaram diferentes doses de Zn, fornecido via broto desbastado para bananeira da cultivar Prata-Anã sob condições irrigadas no norte de Minas Gerais.

Nos diferentes órgãos e faixas de produtividade o K foi o nutriente mais acumulado, seguido por N, corroborando com resultados obtidos por Gomes et al. (1989) para cultivar Prata (AAB), Neves et al. (1991) para cultivar Pacovan (AAB) e Hoffmann et al. (2010a) para cultivares de diversos genótipos.

O macronutriente menos acumulado foi S (Tabela 5), entretanto, não é comum S ser o nutriente menos presente em bananeira, e sim P (Borges e Oliveira, 2000; Borges et al., 2006a; Hoffmann et al., 2010a). Em parte, esse menor acúmulo de S na planta, se deve a baixa e muita baixa disponibilidade deste no solo (Tabela 1) diferente de P, que para todos os solos estava com disponibilidade muita boa (Alvarez V. et al., 1999).

Os nutrientes P, Ca e Mg variaram entre si quanto acumulação nos diferentes órgãos da planta (Tabela 5). Engaço e o fruto apresentaram a mesma sequência de acumulação nas diferentes faixas de produtividade, porém diferindo dos demais órgãos. Quanto ao P, foi o terceiro nutriente em exportação por estes órgãos especificamente, semelhantes a resultados obtidos por Moreira e Fageria (2009b) para cultivar de genótipo AAB.

Este resultado mostra que, quando determinado nutriente está disponível em quantidades adequadas no solo, no caso P, a planta aumenta absorção e alocação do mesmo, e por se tratar de um nutriente móvel no floema, permite que maiores quantidades remobilizem para drenos preferencias, como o cacho da planta (engaço e fruto).

Em geral, para os micronutrientes, a ordem de acúmulo foi $Mn > Fe > B > Zn > Cu$, com variações entre B e Zn, dependendo do órgão avaliado e faixa de produtividade (Tabela 5). Esta mesma sequência foi obtida por Hoffmann et al. (2010b) para seis variedades de diferentes genótipos. Rodrigues et al. (2010) também obtiveram sequência semelhante, porém Zn teve maior acúmulo que B. Porém, estes autores utilizaram doses crescentes de Zn como tratamento, o que certamente contribuiu para o seu maior acúmulo em relação a B.

Para a planta-mãe, planta-filha e família, o micronutriente mais acumulado foi Mn seguido por Fe (Tabela 5), exceto para a faixa de produtividade $30 \leq 37,5$ t/ha, mas isso se deve a maior disponibilidade Fe no solo em comparação com as demais faixas de produtividade, e nessa mesma faixa apesar do teor adequado de Mn no solo, apresenta-se menos disponível em relação aos demais (Tabela 1).

Em todas as classes de produtividade, Cu foi o nutriente de menor acúmulo na bananeira, mesmo este apresentando disponibilidade no solo superior a B. Fato semelhante ao observado para Zn, que foi o segundo micronutriente em disponibilidade no solo com exceção para classe de produtividade de $30 \leq 37,5$ t/ha (Tabela 1), porém em acúmulo na planta, o mesmo foi terceiro e as vezes quarto em acumulação (Tabela 5).

Vários mecanismos de natureza física, química e biológica estão envolvidos na disponibilidade de nutrientes para as plantas e podem refletir na composição mineral das mesmas (Silva e Trevizam, 2015). Um bom exemplo disto são as interações iônicas do nutriente no solo que afetam processos como contato do nutriente com as células das raízes, absorção, transporte, redistribuição e metabolismo, e por fim, refletindo na produtividade (Prado, 2008).

Tabela 5. Ordem no acúmulo de nutrientes nos diferentes órgãos da planta-mãe, planta-filha e família para talhões com histórico de diferentes faixas de produtividade.

	< 30	30 ≤ 37,5	37,5 ≤ 45	≥ 45
Macronutrientes				
Rizoma	K>N>Mg>P=Ca>S	K>N>Ca=Mg>P>S	K>N>Ca>Mg>P>S	K>N>Ca>P=Mg>S
Pseudocaule	K>N>Ca>Mg>P>S	K>N>Ca>Mg>P>S	K>Ca>N>Mg>P>S	K>N>Ca>Mg>P>S
Folha	K>N>Ca>Mg>P=S	K>N>Ca>Mg>P>S	K>N>Ca>Mg>P>S	K>N>Ca>P=Mg=S
Engaço	K>N>P=Ca=S>Mg	K>N>P=Ca=S>Mg	K>N>P=Ca=S>Mg	K>N>P=Ca>Mg=S
Fruto	K>N>P>Mg>S>Ca	K>N>P>Mg>S>Ca	K>N>P>Mg>Ca>S	K>N>P>Mg>S>Ca
Rizoma filha	K>N>P=Mg>Ca=S	K>N>P=Mg>Ca>S	K>N>Ca=Mg>P>S	K>N>P>Mg>Ca>S
Pseudocaule filha	K>N>Ca>Mg>P>S	K>N>Ca>P=Mg>S	K>N>Ca>Mg>P>S	K>N>Ca>P>Mg>S
Folha filha	K>N>Ca=Mg>P=S	K>N>Ca>Mg>P=S	K>N>Ca>Mg>P>S	K>N>Mg=S>P=Ca
Planta-mãe	K>N>Ca>Mg>P>S	K>N>Ca>Mg>P>S	K>N>Ca>Mg>P>S	K>N>Ca>Mg>P>S
Planta-filha	K>N>Ca>Mg>P>S	K>N>Ca>Mg>P>S	K>N>Ca>Mg>P>S	K>N>Ca>Mg>P>S
Família	K>N>Ca>Mg>P>S	K>N>Ca>Mg>P>S	K>N>Ca>Mg>P>S	K>N>Ca>P>Mg>S
Micronutrientes				
Rizoma	Fe>Mn>Zn>B>Cu	Fe>Zn>Mn=B>Cu	Fe>Mn>B>Zn>Cu	Fe>Mn>Zn>B>Cu
Pseudocaule	Mn>Fe>B>Zn>Cu	Fe>Mn>Zn>B>Cu	Mn>Fe>Zn>B>Cu	Mn>Fe>Zn>B>Cu
Folha	Mn>Fe>B>Zn>Cu	Mn>Fe>Zn>B>Cu	Mn>Fe>Zn>B>Cu	Mn>Fe>Zn=B>Cu
Engaço	Mn>Fe>B>Zn>Cu	Fe>Zn>Mn>B>Cu	Fe>Mn>Zn>B>Cu	Mn>Fe>Zn>B>Cu
Fruto	Fe>Mn>B>Zn>Cu	Fe>Zn>B>Mn>Cu	Fe>Zn>B>Mn>Cu	Mn>Fe>B>Zn>Cu
Rizoma filha	Fe>Mn>Zn>B>Cu	Fe>Zn>Mn>B>Cu	Fe>Zn>Mn>B>Cu	Mn>Fe>Zn>B>Cu
Pseudocaule filha	Mn>Fe>B>Zn>Cu	Fe>Mn>B>Zn>Cu	Mn>Fe>B>Zn>Cu	Mn>Fe>B>Zn>Cu
Folha filha	Mn>Fe>B>Zn>Cu	Mn>Fe>B>Zn>Cu	Mn>Fe>B>Zn>Cu	Mn>Fe>B>Zn>Cu
Planta-mãe	Mn>Fe>B>Zn>Cu	Fe>Mn>Zn>B>Cu	Mn>Fe>B>Zn>Cu	Mn>Fe>Zn>B>Cu
Planta-filha	Mn>Fe>Zn>B>Cu	Fe>Mn>Zn>B>Cu	Mn>Fe>Zn>B>Cu	Mn>Fe>Zn>B>Cu
Família	Mn>Fe>B>Zn>Cu	Fe>Mn>Zn>B>Cu	Mn>Fe>Zn>B>Cu	Mn>Fe>Zn>B>Cu

3.2. Eficiência nutricional

Fatores edafoclimáticos, biológicos e de manejo podem influenciar o CUB_Nu_i, sendo, portanto, difícil estabelecer relações que expliquem efetivamente os seus valores obtidos para diferentes situações (Silva et al., 2009). Estes autores chamam a atenção para a falta de informações na literatura que permitem relacionar os valores de CUB_Nu_i com os fatores que influenciam essa variável, justificando o uso de valores médios nas primeiras versões dos sistemas de balanço nutricional (Deus et al., 2015; Oliveira et al., 2005).

Na tentativa de minimizar esta problemática, buscou-se relacionar os valores de CUB_Nu_i com a produtividade e a diferentes órgãos da bananeira (Tabelas 6 e 7). Na primeira versão do Ferticalc-banana (Oliveira et al., 2005), o CUB_Nu_i obtido pelos autores foi utilizado para biomassa exportada (engajo, fruto e ráquis feminina) e biomassa restituída (rizoma, pseudocaule, folha, coração e ráquis masculina). Porém, como observado nos valores apresentados nas tabelas 6 e 7, percebe-se que o CUB_Nu_i varia com a produtividade e entre os órgãos da planta. Portanto, para o aprimoramento das recomendações de adubação utilizando o CUB_Nu_i, são necessários valores específicos para cada órgão além de se considerar a produtividade.

Os macronutrientes, Ca e Mg foram os que apresentaram para o maior número de órgãos diferença significativa entre as classes de produtividade (Tabela 6), enquanto N (Engajo e fruto) e P (Engajo e rizoma filha) mostraram-se diferentes apenas para estes órgãos. Desta forma, pode-se afirmar que os CUBs do N e P são menos sensíveis as variações de produtividade, ao contrário de Ca e Mg. Caso o Mg fosse um nutriente de baixa mobilidade no floema, poderia atribuir parte dessa sensibilidade à mobilidade, porém, como o mesmo é móvel, certamente outros fatores estão envolvidos.

Os valores de CUB K para frutos foram superiores aos obtidos por Oliveira et al. (2005) para bananeira do grupo AAB, porém, estes autores atribuíram os baixos valores do CUB K a um possível consumo de luxo deste nutriente pela planta, podendo implicar em recomendações de doses acima do requerimento da cultura.

Em relação aos órgãos, o fruto obteve maior número de macronutrientes com diferença significativa entre as classes de produtividade, com exceção de P (Tabela 6). Este resultado era esperado, tendo em vista que para maiores produtividades, espera-se maior transporte de nutrientes sejam direcionados para os frutos, mudando o padrão de partição de nutrientes na planta e, conseqüentemente influenciando os valores de CUB_Nu_i.

Tabela 6. Valores médios¹ do coeficiente de utilização biológica (CUB) de macronutrientes nos diferentes órgãos da bananeira para talhões com histórico de diferentes faixas de produtividade.

Órgão	Produtividade	N	P	K	Ca	Mg	S
	- t/ha -	----- kg/kg -----					
Rizoma	< 30	190 a	970 a	46 a	1 069 a	619 a	1 607 a
	30 ≤ 37,5	153 a	903 a	31 a	572b	556 a	2 042 a
	37,5 ≤ 45	162 a	1 083 a	43 a	482 b	574 a	1 833 a
	≥ 45	224 a	784 a	39 a	611 b	761 a	1 265 a
Pseudocaule	< 30	241 a	1 090 a	46 a	111 a	447 b	1 958 a
	30 ≤ 37,5	174 a	963 a	29 b	119 a	395 b	2 125 a
	37,5 ≤ 45	209 a	1 165 a	42 a	87 a	398 b	1 917 a
	≥ 45	244 a	1 007 a	37 a	127 a	621 a	1 694 a
Folha	< 30	47 a	617 a	54 a	104 b	368 b	656 b
	30 ≤ 37,5	45 a	566 a	50 a	121 a	436 b	830 a
	37,5 ≤ 45	49 a	649 a	49 a	102 b	371 b	785 a
	≥ 45	59 a	618 a	48 a	129 a	530 a	597 b
Engaço	< 30	71 a	476 b	29 a	384 a	1 228 a	871 a
	30 ≤ 37,5	47 b	377 b	24 a	397 a	982 a	762 a
	37,5 ≤ 45	70 a	637 a	24 a	323 b	1 319 a	748 a
	≥ 45	77 a	464 b	27 a	331 b	1 112 a	871 a
Fruto	< 30	174 a	716 a	61 a	5 417 a	1 146 a	1 667 b
	30 ≤ 37,5	153 b	671 a	61 a	5 625 a	1 028 b	1 917 a
	37,5 ≤ 45	151 b	760 a	55 b	1 586 b	1 111 a	1 917 a
	≥ 45	162 b	679 a	66 a	2 667 b	1 181 a	1 607 b
Rizoma Filha	< 30	203 a	920 a	50 a	1 644 a	917 a	1 833 a
	30 ≤ 37,5	149 a	779 b	47 a	944 b	662 b	2 042 a
	37,5 ≤ 45	165 a	928 a	41 a	647 b	637 b	2 167 a
	≥ 45	190 a	718 b	46 a	1 098 b	911 a	1 958 a
Pseudocaule Filha	< 30	116 a	541 a	42 a	225 a	525 b	1 260 a
	30 ≤ 37,5	150 a	592 a	35 b	196 a	543 b	1 756 a
	37,5 ≤ 45	111 a	525 a	31 b	166 a	476 b	1 443 a
	≥ 45	104 a	434 a	32 b	255 a	647 a	1 061 a
Folha Filha	< 30	42 a	483 a	44 a	494 a	359 a	508 b
	30 ≤ 37,5	39 a	492 a	44 a	354 a	404 a	657 a
	37,5 ≤ 45	41 a	494 a	49 a	245 a	358 a	680 a
	≥ 45	36 a	414 a	53 a	456 a	378 a	404 b

¹Valor referente a média de quatro famílias para cada classe de produtividade; As médias seguidas pela mesma letra na coluna para cada órgão não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5 % de probabilidade.

Entre os micronutrientes, o CUB do Mn foi o mais sensível às variações de produtividade, pois apresentou diferença significativa para todos os órgãos da bananeira, diferente do ocorrido para os CUBs do Fe, Cu e B que não apresentaram diferença para a maioria dos órgãos avaliados. Os órgãos que apresentaram diferenças significativas para a maioria dos micronutrientes foram rizoma, pseudocaule e fruto (Tabela 7).

Tabela 7. Valores médios¹ do coeficiente de utilização biológica (CUB) de micronutrientes nos diferentes órgãos da bananeira para talhões com histórico de diferentes faixas de produtividade.

Órgão	Produtividade	Zn	Fe	Mn	Cu	B
	- t/ha -	----- kg/kg -----				
Rizoma	< 30	89 733 b	18 551 b	29 802 b	687 500 a	133 708 a
	30 ≤ 37,5	41 789 b	15 896 b	105 656 a	625 000 a	106 705 a
	37,5 ≤ 45	181 548 a	29 928 a	75 085 a	1 000 000 a	128 791 a
	≥ 45	69 666 b	16 496 b	21 080 b	270 833 b	96 381 a
Pseudocaule	< 30	188 836 a	19 065 a	6 927 c	1 000 000 a	91 965 a
	30 ≤ 37,5	63 210 c	14 411 b	33 693 a	500 000 b	106 748 a
	37,5 ≤ 45	129 464 b	21 520 a	20 021 b	500 000 b	130 820 a
	≥ 45	72 917 c	12 935 b	4 302 c	287 500 c	96 395 a
Folha	< 30	83 333 a	12 513 a	1 535 c	191 667 a	67 570 b
	30 ≤ 37,5	71 612 a	16 716 a	10 245 a	312 500 a	76 496 b
	37,5 ≤ 45	81 169 a	16 028 a	4 814 b	279 167 a	91 144 a
	≥ 45	78 416 a	14 998 a	1 340 c	270 833 a	77 936 b
Engaço	< 30	96 314 a	15 317 a	12 208 c	647 059 a	64 494 a
	30 ≤ 37,5	39 352 b	14 153 a	54 504 a	708 333 a	80 191 a
	37,5 ≤ 45	74 428 a	18 430 a	33 840 b	817 308 a	72 459 a
	≥ 45	51 995 b	21 510 a	9 737 c	425 000 a	58 519 a
Fruto	< 30	183 333 a	33 706 b	39 910 b	500 000 a	98 250 b
	30 ≤ 37,5	121 429 b	28 979 b	450 758 a	583 333 a	140 077 a
	37,5 ≤ 45	148 810 b	58 164 a	194 444 b	750 000 a	158 671 a
	≥ 45	130 456 b	39 723 b	25 773 b	500 000 a	83 385 b
Rizoma Filha	< 30	29 453 a	14 287 a	26 614 b	625 000 a	154 049 b
	30 ≤ 37,5	34 152 a	13 191 a	130 120 a	333 333 a	170 648 b
	37,5 ≤ 45	49 285 a	21 981 a	95 858 a	466 667 a	281 480 a
	≥ 45	43 113 a	18 419 a	16 262 b	194 444 a	125 366 b
Pseudocaule Filha	< 30	142 172 a	13 871 a	4 389 c	300 000 a	63 680 a
	30 ≤ 37,5	131 358 a	12 152 a	21 795 a	395 833 a	77 647 a
	37,5 ≤ 45	95 644 a	20 194 a	12 759 b	384 259 a	77 050 a
	≥ 45	97 024 a	17 120 a	3 435 c	350 000 a	62 891 a
Folha Filha	< 30	94 066 a	11 825 a	3 343 b	250 000 a	65 407 a
	30 ≤ 37,5	78 125 a	12 235 a	13 068 a	225 000 a	60 295 a
	37,5 ≤ 45	69 048 a	12 884 a	4 140 b	270 833 a	66 977 a
	≥ 45	76 894 a	11 841 a	2 218 b	181 250 b	60 603 a

¹Valor referente a média de quatro famílias para cada classe de produtividade; As médias seguidas pela mesma letra na coluna para cada órgão não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5 % de probabilidade.

4. CONCLUSÕES

A bananeira possui um padrão de partição de nutrientes para diferentes rendimentos, ou seja, existe uma “compartimentalização ideal” que promove maiores produtividades.

A planta-filha representa um dreno importante de nutrientes na família no período da colheita.

Os nutrientes mais exportados por tonelada de cacho da bananeira foram K e N.

A ordem decrescente de acúmulo foi: $K > N > Ca > Mg > P > S > Mn > Fe > B > Zn > Cu$.

Os CUBs do N, P, Fe, Cu e B foram menos sensíveis às variações de produtividades, enquanto, Ca, Mg e Mn foram os mais sensíveis.

5. REFERÊNCIAS

Alvarez V., V. H., Novais, R. F., Barros, N. F., Cantarutti, R. B. Lopes, A. S., 1999. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: Ribeiro, A. C., Guimarães, P. T. G. Alvarez V., V. H. (Eds.), *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais*. CFSEMG, Viçosa, MG, pp. 25-32.

Aular, J., Natale, W., 2013. Nutrição mineral e qualidade do fruto de algumas frutíferas tropicais: goiabeira, mangueira, bananeira e mamoeiro. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35(4), 1214-1231. doi:10.1590/S0100-29452013000400033

Borges, A. L., Coelho, E. C., Costa, E. L., Silva, J. T. A., 2006a. *Fertirrigação da bananeira*. Circular Técnica, 84. Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, Bahia.

Borges, A. L., Silva, S. O., Caldas, R. C., Ledo, C. A. S., 2006b. Teores foliares de nutrientes em genótipos de bananeira. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 28(2), 314-318. doi:10.1590/S0100-29452006000200036

Borges, A. L., Oliveira, A. M. G., 2000. Nutrição, calagem e adubação. In: Cordeiro, Z. J. M. (Ed.), *Banana produção: aspectos técnicos*. Série Frutas do Brasil, 1, Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, Brasília, DF, pp. 47-59.

Brady, N. C., Weil, R. R., 2008. *The Nature and Properties of Soils*, Prentice Hall, New Jersey.

Brown, P. H., Hu, H., 1998. Phloem Boron Mobility in Diverse Plant Species. *Botanica Acta*, 111(4), 331–335. doi:10.1111/j.1438-8677.1998.tb00717.x

Brown, P. H., Shelp, B. J., 1997. Boron mobility in plants. *Plant and Soil*, 193(1), 85–101. doi:10.1023/A:1004211925160

Cavalcante, A. T., Sampaio, E. V. D. S. B., Cavalcante, U. M. T., 2005. Interdependência na absorção e redistribuição de fósforo entre planta mãe e filha de bananeira. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 27(2), 255–259. doi:10.1590/S0100-29452005000200017

Deus, J. A. L., Soares, I., Neves, J. C. L., Medeiros, J. F., Miranda, F. R., 2015. Fertilizer recommendation system for melon based on nutritional balance. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39(2), 498–511. doi:10.1590/01000683rbcs20140172

Donato, S. L. R., Coelho, E. F., Arantes, A. M., Cotrim, C. E., Marques, P. R. R., 2012. Relações hídricas I: Considerações fisiológicas e ecológicas. In: Coelho, E. F. (Org.), Irrigação da bananeira. Embrapa, Brasília, DF, pp. 13-84.

Epstein, E., Bloom, A. J., 2006. Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. 2ª ed., Editora Planta, Londrina.

FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of The United Nations), 2016. Statistics Division. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>>. Acesso em: 05 mai. 2016.

Flori, J. E., Scarpate Filho, J. A., Resende, G. M., 2008. Avaliação do ciclo e produção da planta-filha em função do manejo da planta-mãe em diferentes épocas do ano em bananeira Prata-Anã. *Ciência e Agrotecnologia*, 32(3), 969-973. doi: 10.1590/S1413-70542008000300039

Ganeshamurthy, A. N., Satisha, G. C., Patil, P., 2011. Potassium nutrition on yield and quality of fruit crops with special emphasis on banana and grapes. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 24(1), 29–38.

Godoy, L. J. G., Nomura, E. S., Moraes, W. S., 2006. Nutrição e adubação da cultura da banana. *Informações Agrônomicas* n° 116. POTAFOS, Piracicaba, São Paulo.

Gomes, J. A., Haag, H. P., Nóbrega, A. C., 1989. Acúmulo de macronutrientes pela bananeira cv. prata em diferentes estádios de desenvolvimento. *Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz*, 46(1), 1–40. doi:10.1590/S0071-12761989000100001

Hoffmann, R. B., Oliveira, F. H. T., Souza, A. P., Gheyi, H. R., Souza Júnior, R. F., 2010a. Acúmulo de matéria seca e de macronutrientes em cultivares de bananeira irrigada. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 32(1), 268-275. doi:10.1590/S0100-294520100050000262010

Hoffmann, R. B., Oliveira, F. H. T., Gheyi, H. R., Souza, A. P., Arruda, J. A., 2010b. Acúmulo de matéria seca, absorção e exportação de micronutrientes em variedades de bananeira sob irrigação. *Ciência e Agrotecnologia*, 34(3), 536-544. doi:10.1590/S1413-70542010000300002

Kirkby, E. A., Römheld, V., 2007. Micronutrients in plant physiology: functions, uptake and mobility, *Proceedings 543*, The International Fertiliser Society, Reino Unido.

Lahav, E., 1995. Banana nutrition. In: Gowen, S. (Ed.), *Banana and plantains*. Chapman e Hall, London, UK, pp. 258-316.

Lawlor, D. W., 2002. Carbon and nitrogen assimilation in relation to yield: mechanisms are the key to understanding production systems. *Journal of experimental botany*, 53(370), 773–787. doi:10.1093/jexbot/53.370.773

- Lehto, T., Räisänen, M., Lavola, A., Julkunen-Tiitto, R., Aphalo, P. J., 2004. Boron mobility in deciduous forest trees in relation to their polyols. *New Phytologist*, 163(2) 333–339. doi:10.1111/j.1469-8137.2004.01105.x
- Lemos, O. L., Almeida, O. S., Guedes, P. A., Rebouças, T. N. H., Seno, S., 2008. Relação entre o metabolismo de nitrogênio e a fotossíntese na formação de frutos: Uma Revisão Bibliográfica. *Diálogos & Ciência*, 2(7), 23–37.
- Malavolta, E., 1981. Manual de química agrícola: adubos e adubação. 3ª ed., Agronômica Ceres, São Paulo.
- Malavolta, E., 2006. Manual de nutrição mineral de plantas. Ceres, São Paulo.
- Malburg, J. L., Lichtemberg, L. A., 1986. Composição mineral de frutos de banana- variação estacional do teor de macronutrientes na cv. Nanicão em Santa Catarina. In: Congresso Brasileiro de Fruticultura, 8., Anais... EMBRAPA-DDT/CNPq, Brasília, pp.65-69.
- Marschner, P., 2011. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. Third Edition. Elsevier, London.
- Melo, A. S., Fernandes, P. D., Sobral, L. F., Brito, M. E. B., Dantas, J. D. M., 2010. Crescimento, produção de biomassa e eficiência fotossintética da bananeira sob fertirrigação com nitrogênio e potássio. *Revista Ciência Agronômica*, 41(3), 417-426. doi:10.1590/S1806-66902010000300014
- Mengel, K., Kirkby, E. A., 2001. Principles of plant nutrition. 5ª ed., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Moreira, R. S., 1999. Banana Teoria e Prática de Cultivo. 2ª ed., Fundação Cargill, Campinas, São Paulo.
- Moreira, A., Fageria, N. K., 2009a. Yield, uptake, and retranslocation of nutrients in banana plants cultivated in upland soil of Central Amazonian. *Journal of Plant Nutrition*, 32(3), 443-457. doi:10.1080/01904160802660750
- Moreira, A., Fageria, N. K., 2009b. Repartição e remobilização de nutrientes na bananeira. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 31(2), 574-581. doi:10.1590/S0100-29452009000200036
- Neves, R. L. L., Ferreira, F. F. H., Maciel, R. E. P., Frota, J. N. E., 1991. Extração de nutrientes em banana (*Musa spp.*) cv. Pacovan. *Revista Ciência Agronômica*, 22(2), 115-120.
- Nomura, E. S., 2010. Boro em bananeira. Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, São Paulo. (Dissertação de Mestrado).
- Oliveira, F. H. T., Novais, R. F., Alvarez V., V. H., Cantarutti, R. B., 2005. Desenvolvimento de um sistema para recomendação de adubação para a cultura da bananeira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29(1), 131-143. doi:10.1590/S0100-06832005000100015

- Prado, R. M., 2008. *Nutrição de Plantas*. 1ª ed., Editora UNESP, São Paulo.
- Robinson, J. C., Galán Saúco, V., 2010. *Bananas and plantains*. 2ª ed., CABI Publishing, Wallingford. doi:10.1079/9781845936587.0000
- Rodrigues, M. G. V., Ruggiero, C., Natale, W., Pacheco, D. D., 2007. Nutrição e produção da bananeira 'Prata-anã' adubada com zinco e boro diretamente no rizoma, via muda desbastada. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 29(3), 645-651. doi:10.1590/S0100-29452007000300042
- Rodrigues, M. G. V., Pacheco, D. D., Natale, W., Silva, J. T. A., Dias, M. S. C., 2010. Distribuição da biomassa e minerais em "família" de bananeira 'prata-anã' adubada com zinco via broto desbastado. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 32(2), 599-611. doi:10.1590/S0100-29452010000200034
- Silva, A. P., Alvarez V., V. H., Souza, A. P., Neves, J. C. L., Novais, R. F., Dantas, J. P., 2009. Sistema de recomendação de fertilizantes e corretivos para a cultura do abacaxi - Fertcalc-abacaxi. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33(5), 1269-1280. doi:10.1590/S0100-06832009000500020
- Silva, E. B., Pinho, P. J., Carvalho, J. G., Rodrigues, M. G. V. R., 2007. Nível de suficiência de zinco para bananeira “ Prata Anã ” Anã ’ por meio do DRIS. *Acta Scientia Agronomia*, 29(1), 69–74. doi:10.4025/actasciagron.v29i1.68
- Silva, F. C. (Ed.), 2009. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. 2ª ed., Embrapa Informação Tecnológica, Brasília.
- Silva, M. L. S., Trevizam, A. R., 2015. *Interações iônicas e seus efeitos na nutrição das plantas*. Informações Agronômicas nº 149. IPNI - Brasil, Piracicaba, São Paulo.
- Soares, F. A. L., Gheyi, H. R., Fernandes, P. D., Oliveira, F. H. T., Silva, F. V., Alves, A. N., Pedrosa, R. M. B., 2005. Partição de fotoassimilados em cultivares de bananeira irrigadas com águas de diferentes salinidades. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9(suplemento), 101–107.
- Sousa, D. M. G., Miranda, L. N., Oliveira, S. A., 2007. Acidez do solo e sua correção. In: Novais, R. F., Alvarez V., V. H., Barros, N. F., Fontes, R. L. F., Cantarutti, R. B., Neves, J. C. L. (Eds.), *Fertilidade do solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, pp.205-274.
- Taiz, L., Zeiger, E., 2013. *Fisiologia vegetal*. 5ª ed., Artmed, Porto Alegre.
- Teixeira, L. A. J., Raij, B. V., Bettiol Neto, J. E., 2008. Estimativa das necessidades nutricionais de bananeiras do subgrupo Cavendish cultivadas no Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 30(2), 540-545. doi:10.1590/S0100-29452008000200047
- Whitehead, D. C., 2000. *Nutrient elements in grassland: Soil-Plant-Animal relationships*. CABI Publishing, Wallingford. doi:10.1079/9780851994376.0000

CAPÍTULO 3

AJUSTE NA RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO POR MEIO DA ANÁLISE FOLIAR EM BANANEIRA PRATA FERTIRRIGADA

RESUMO

As recomendações de adubação são realizadas quase exclusivamente com base na análise química de solo, sem considerar análise foliar e produtividade esperada, que podem auxiliar nos programas de adubação. O objetivo deste estudo foi desenvolver um método para a recomendação de doses de macronutrientes que integre informações da análise foliar, análise química de solo e produtividade. Foram realizados o levantamento da produtividade e análises químicas de solo e folha do primeiro e segundo semestre no período de 2010 a 2015 de bananeira Prata fertirrigada. Relacionou-se a produtividade em função dos teores de matéria orgânica e de macronutrientes (P, K, Ca e Mg), no solo, para a obtenção do nível crítico ($ncNu_i$). Em seguida, os teores de nutrientes na folha foram plotados no gráfico de dispersão em função dos teores no solo, sendo empregado o método de Diagrama de Quadrantes do Relacionamento Planta-Solo (DPQps). A partir da análise foliar, foram simuladas doses recomendáveis para quatro talhões e comparadas com doses de outros métodos de recomendação. Os valores de $ncNu_i$ obtidos foram: 13,2 g/dm³ para MO; 97,5 e 91,5 mg/dm³ para P e K; 2,71 e 0,61 cmol/dm³ para Ca e Mg. As doses recomendáveis com base na análise foliar foram 16,6 kg/ha de N, 230,6 kg/ha de P₂O₅, 21,6 kg/ha de K₂O, 626,5 kg/ha de Ca e 1,0 kg/ha de SO₄, sendo diferente das recomendações do Ferticalc-banana e Tabela de recomendação. A análise foliar ajusta de forma satisfatória as doses recomendadas de nutrientes e traz vantagens se incorporada aos modelos de balanço nutricional.

Palavras chaves: Musa spp.; nutriente; nível crítico; linha de fronteira; produtividade.

1. INTRODUÇÃO

As recomendações de adubação para as culturas em geral são realizadas quase exclusivamente com base na análise química de solo, sem considerar análise foliar e produtividade esperada que podem auxiliar nos programas de adubação. Entretanto, fazer uso apenas da análise química de solo, utilizando tabelas de recomendação pode

levar a erros, já que o teor do nutriente presente na análise é apenas um índice de disponibilidade e não a quantificação do nutriente realmente disponível para a cultura (Oliveira et al., 2005).

Os teores dos nutrientes indicados na análise química de solo são potencialmente absorvíveis pelas plantas, mas não necessariamente, serão absorvidos e metabolizados pelas mesmas. Além do fato de que a aquisição, absorção e transporte do nutriente na planta estão relacionados com a interação de diversos fatores bióticos e abióticos, sendo estes fatos não contemplados nas tabelas de recomendação.

Na tentativa de aprimorar as tabelas de recomendação estão sendo desenvolvidos modelos de balanço nutricional que estimam a dose do nutriente com base no requerimento nutricional da planta, na produtividade e no suprimento do nutriente pelo solo e outras fontes. Já existem modelos de balanço nutricional para o eucalipto (Barros et al., 1995), banana (Oliveira et al., 2005), soja (Santos et al., 2008), abacaxi (Silva et al., 2009), coco (Rosa et al., 2011), plantas ornamentais (Alvarez V. et al., 2014), melão (Deus et al., 2015) e cenoura (Dezordi et al., 2015). Dentre as vantagens dos modelos de balanço nutricional, podemos citar a facilidade de incorporar novos resultados de pesquisas que contribuam para evolução e aprimoramento das recomendações.

O uso da análise foliar está aumentando no país, principalmente em cultivos mais tecnificados, pois permite conhecer e avaliar as condições nutricionais da planta, identificando a existência de deficiências e/ou excessos de nutrientes para direcionamento dos programas de adubação (Silva e Rodrigues, 2001; Deus et al., 2012). Porém, a análise foliar apesar de auxiliar as tomadas de decisões nas recomendações de adubação, tem seu potencial subutilizado, isto porque, não há metodologia que use esta ferramenta de forma direta na recomendação de doses de fertilizantes.

Portanto, o objetivo do trabalho foi desenvolver um método para recomendação de doses de macronutrientes que integram informações da análise foliar, análise química de solo e produtividade.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na empresa Sítio Barreiras Fruticultura LTDA, localizada no município de Missão Velha - Ceará, coordenadas geográficas de 7° 35' 90" S e 39° 21' 17" W, com altitude aproximada de 442 m. O clima da região é do tipo

Aw – clima tropical com estação seca no inverno e chuvas concentradas no verão (Köppen-Geiger).

2.1. Banco de dados

Para compor o banco de dados foi realizado um levantamento de produtividade de frutos (Fig. 1), análises químicas de solo e folha do primeiro e segundo semestre de cada ano, no período de 2010 a 2015 em 66 talhões de bananeira Prata fertirrigada, com área média de 3,26 ha.

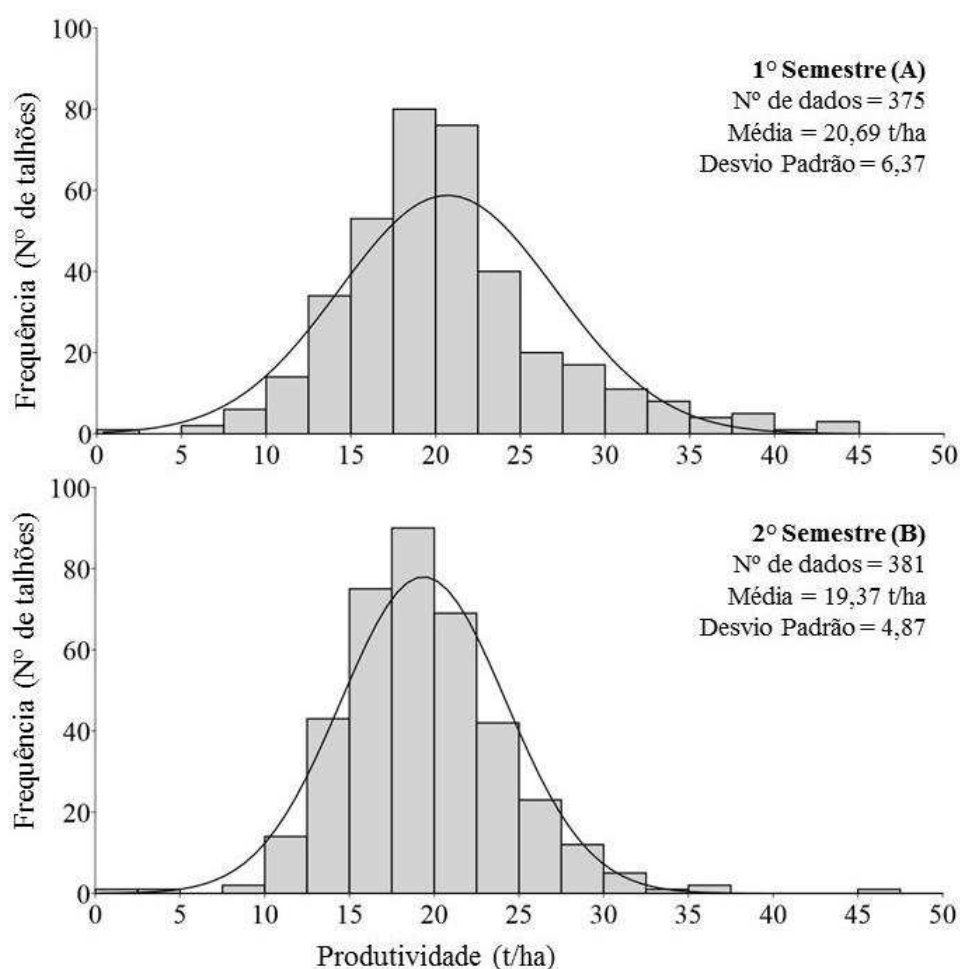


Figura 1. Histograma de distribuição e curva normal da produtividade semestral de frutos de bananeira Prata fertirrigada no período de 2010 a 2015.

A produtividade de frutos (t/ha) foi calculada para períodos de seis meses, para sincronizar com as análises químicas de solo e folha que foram semestrais. Utilizou-se a produtividade relativa para minimizar eventuais diferenças na produtividade de cada talhão no primeiro e segundo semestre devido às estações com chuva e sem chuva, como também, ao longo dos anos de avaliação.

2.2. Recomendação da adubação a partir da análise foliar

Para a recomendação de adubação com base nos resultados de análise foliar foram utilizadas premissas de estudos de correlação e calibração semelhantes às utilizadas para métodos de análises químicas de solos (Alvarez V., 1996). Na correlação, são avaliados diferentes extratores de nutrientes do solo, sendo selecionado o que melhor se correlaciona com a quantidade acumulada do nutriente na planta, enquanto, na calibração são determinados os níveis críticos e as doses de nutrientes. De forma semelhante, e com as devidas adaptações procedeu-se o desenvolvimento do método de recomendação de doses de nutriente a partir da análise química da folha diagnóstico da bananeira.

Para a amostragem da folha diagnóstico coletou-se de 10 a 15 cm da parte interna mediana do limbo foliar, descartando a nervura central da terceira folha a partir do ápice conforme recomendado para bananeira (Martin-Prével, 1984).

2.3. Nível crítico do nutriente no solo (ncNu_i)

Os ncNu_i de P, K, Ca e Mg foram determinados a partir da relação de seus teores e da matéria orgânica com a produtividade relativa. Para isto foi utilizado a abordagem da linha de fronteira, com o auxílio do aplicativo computacional “Boundary Fit” em desenvolvimento pela Universidade Federal de Viçosa.

Após identificar os talhões da linha de fronteira superior (LFS) e extraí-los da nuvem de pontos (Fig. 2), gerou-se equações de regressão (modelos) com o aplicativo computacional CurveExpert Basic 1.4 (Hyams, 2010), sendo a produtividade relativa a variável dependente (eixo das ordenadas) em função dos teores das variáveis independentes (eixo das abscissas) MOS, P, K, Ca e Mg.

Em seguida, derivou-se as equações da LFS, igualando-se a primeira derivada a zero, para obter os valores dos teores (MOS, P, K, Ca e Mg) no solo correspondentes ao ponto de máximo na curva da LFS. Esses valores foram substituídos nas respectivas equações para estimar os valores máximos no eixo Y (100 % da produtividade), e pela multiplicação por (0,9), obtidos os valores de Y correspondentes a 90 % da produtividade, sendo a partir destes, estimados os ncNu_i de MOS, P, K, Ca e Mg.

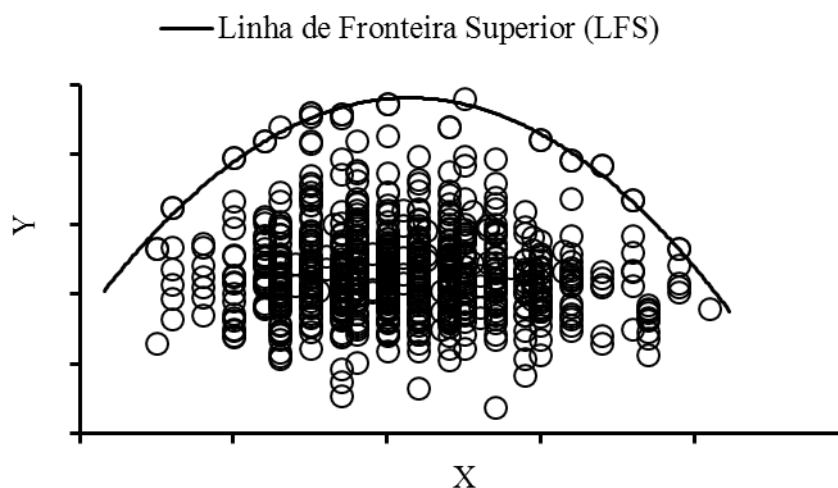


Figura 2. Exemplo da Linha de Fronteira Superior obtida da relação entre duas variáveis.

2.4. Diagrama de Quadrantes do Relacionamento Planta-Solo (DQRps)

Após a obtenção dos $ncNu_i$ pela abordagem da LFS, relacionou os teores de nutrientes foliares com os seus respectivos teores no solo. Para isso, foi proposto a utilização do método denominado Diagrama de Quadrantes do Relacionamento Planta-Solo (DQRps), conforme figura 3 e utilizado por Sousa (2016) para a cultura do café.

Os teores foliares de P, K, Ca e Mg foram plotados no gráfico de dispersão em função dos teores destes nutrientes no solo e N e S em função do teor de MOS. Devido a variabilidade e interações de diversos fatores bióticos e abióticos envolvidos neste relacionamento (Planta-Solo), utilizou-se uma abordagem que minimizasse essas influências que possibilitasse gerar uma equação (modelo), sendo aqui denominado de Diagrama de Quadrantes do Relacionamento Planta-Solo (DQRps).

A proposição deste método consiste em estratificar uma nuvem de pontos em quatro quadrantes (I, II, III, IV) num sistema Cartesiano, utilizando para gerar os modelos apenas os pontos presentes nos quadrantes I e III (Fig. 3). Para delimitar os quadrantes foi utilizado a média dos teores dos macronutrientes foliares (linha tracejada perpendicular ao eixo das ordenadas), e o $ncNu_i$ obtido pela LFS (linha tracejada perpendicular ao eixo das abscissas). Em seguida, foram geradas as equações de regressão (modelos) com o aplicativo computacional CurveExpert Basic 1.4 (Hyams, 2010).

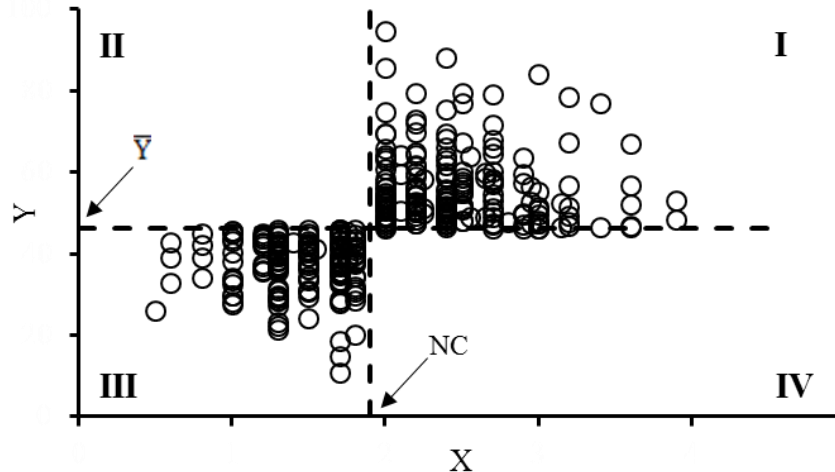


Figura 3. Exemplo de aplicação do método Diagrama de Quadrantes do Relacionamento Planta-Solo (DQRps) obtida da relação entre duas variáveis.

Após obtenção dos $ncNu_i$ e de relacionar os teores do nutriente na folha com os teores no solo, é necessário ainda para o cálculo da dose, a taxa de recuperação do nutriente pelo extrator (Tabela 1). Foram considerados os extratores Mehlich-1 e Resina para (P e K) e KCl 1 mol/L para (Ca e Mg).

Para os nutrientes P e K as taxas de recuperação dos extratores consideram os valores de P-rem, para os casos em que não se conhece os seus valores, pode-se optar para K uma taxa fixa assim como utilizada para Ca e Mg.

Tabela 1. Taxa de recuperação dos extratores de nutrientes aplicados ao solo.

Nutriente	Extrator	Equação	R ²
P	Mehlich-1	$(1,2,3,4,5)trNu_i_Ext = 0,0672821 + 0,0121615**P\text{-rem}$	0,68
P	Resina	$(1,2,3,4,5)trNu_i_Ext = 0,419***P\text{-rem}^{0,128099}$	0,69
K	Mehlich-1	$(5)trNu_i_Ext = 0,6555 + 0,0068** P\text{-rem}$ $(2,3)trNu_i_Ext = 0,8020$	0,74 -
K	Resina	$(5)trNu_i_Ext = 0,6619 + 0,014355* P\text{-rem} -$ $0,000293*P\text{-rem}^2$ $(2,3)trNu_i_Ext = 0,7559$	0,75 -
Ca	KCl 1 mol/L	$(2,3,5)trNu_i_Ext = 0,766102$	-
Mg	KCl 1 mol/L	$(2,3,5)trNu_i_Ext = 0,798972$	-

$trNu_i_Ext$: Taxa de recuperação do extrator, em $(mg/dm^3)/(mg/dm^3)$; P-rem: Fósforo remanescente, em mg/L (Alvarez V. et al., 2000); *, **, ***: significativo a 5, 1 e 0,1 %, respectivamente; Extraído de ⁽¹⁾Deus et al. (2015); ⁽²⁾Dezordi et al. (2015); ⁽³⁾Oliveira et al. (2005); ⁽⁴⁾Santos et al. (2008); ⁽⁵⁾Silva et al. (2009).

2.5. Simulação de doses recomendáveis para fósforo, potássio, cálcio e magnésio

Para recomendação de doses de P, K, Ca e Mg utilizou-se como exemplo, as análises foliares de quatro talhões de bananeira Prata disponíveis da empresa referente ao segundo semestre de 2015 (Tabela 2).

Tabela 2. Teores totais foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) de quatro talhões do segundo semestre do ano de 2015.

Talhão	N	P	K	Ca	Mg	S
	-----g/kg-----					
A	20,5	1,7	34,9	7,8	3,0	1,6
B	19,4	1,6	37,4	10,1	3,0	1,6
C	23,1	1,5	32,0	6,1	2,3	1,5
D	22,3	1,5	33,2	5,7	2,1	1,4

N - Digestão sulfúrica e determinação pelo método Kjeldahl; P (colorimétrica), S (turbidimetria), K (fotometria com emissão de chama), Ca e Mg (espectrofotometria de absorção atômica) determinados no extrato ácido com digestão ácido nítrico com ácido perclórico.

Para a recomendação da dose do nutriente a ser aplicado, utilizou-se o valor do $ncNu_i$ e o teor do nutriente estimado no solo a partir do teor da análise foliar, além da taxa de recuperação do extrator conforme equação 1.

$$drNu_i = ((ncNu_i - teNu_i_Sol) / (trNu_i_Ext)) \cdot 2 \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que, $drNu_i$ = dose do nutriente recomendada por semestre (kg/ha); $ncNu_i$ = nível crítico do nutriente no solo (mg/dm) correspondente ao teor do nutriente foliar para a obtenção de 90 % da produção máxima; $teNu_i_Sol$ = teor estimado do nutriente no solo P, K, Ca e Mg (mg/dm³), correspondente ao teor do nutriente na análise foliar; $trNu_i_Ext$ = taxa de recuperação do nutriente pelo extrator [(mg/dm³)/(mg/dm³)]; 2 = fator de conversão de mg/dm³ para kg/ha, considerando a camada superficial com profundidade de 0 a 20 cm e densidade do solo = 1 g/cm³.

As recomendações de P e K são apresentadas em P₂O₅ e K₂O utilizando os fatores de conversão 2,2915 e 1,2047, respectivamente. Para Ca e Mg que tem seus valores apresentados geralmente em cmol_c/dm³ ou mmol_c/dm³, o resultado da subtração do $teNu_i_Sol$ pelo $ncNu_i$ quando positivo, foi convertido para mg/dm³ para em seguida ser dividido pela $trNu_i_Ext$.

2.6. Simulação de doses recomendáveis para nitrogênio e enxofre

Nos casos específicos de N e S, em que o $ncNu_i$ foi determinado pela MOS, é considerado a quantidade estimada das formas inorgânicas de N (NO₃⁻ + NH₄⁺) e S

(SO₄⁻) presente na MOS para determinação das doses. Para a recomendação de N utilizou-se a equação 2 adaptada de Stahringer (2013) para solos tropicais.

$$N_p = 1\ 000\ 000 \cdot PER \cdot [(\Delta MOS_{est}/1\ 000/1,724)/10] \cdot 0,04 \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que, N_p = nitrogênio potencialmente mineralizável, em kg/ha; 1 000 000 = valor referente a área de um (1) hectare, em dm²; PER = profundidade efetiva do sistema radicular, em dm; ΔMOS_{est} = é o resultado da subtração da MOS estimada no solo a partir do teor de N foliar pelo nível crítico da MO no solo “ncMO – teMO_Sol”, em g/dm. Para valores em dag/kg utilizar a equação original de Stahringer (2013); 1 000 = valor utilizado como fator de conversão de g em quilograma; 1,724 = valor utilizado para estimar C orgânico do solo a partir da MOS_{est} (considerando que a MOS possui 58 % de C orgânico); 10 = valor utilizado para estimar o N orgânico (considerando que a MOS possui relação C/N = 10); 0,04 = valor médio de N potencialmente mineralizado estimados para 16 diferentes solos (Gonçalves et al., 2001).

Para recomendação de S, adaptou-se a equação 2, sendo obtido a equação 3. Para o cálculo de S na forma inorgânica proveniente da MOS utilizou a equação 4.

$$S_{org} = 1\ 000\ 000 \cdot PER \cdot [(\Delta MOS_{est}/1\ 000/1,724)/112] \quad (\text{Eq. 3})$$

$$S_{inorg} = 0,0687802 \cdot S_{org} \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que, S_{org} = S na forma orgânica necessário para atingir o ncMOS, em kg/ha; 112 = valor médio utilizado para estimar o S orgânico (considerando que a MOS possui relação C/S = 112), conforme Silva et al. (1999) para seis diferentes solos do Brasil; S_{inorg} = S na forma inorgânica (SO₄) necessário para atingir o ncMOS, em kg/ha; 0,0687802 = relação das formas orgânica/inorgânica de S (Silva et al., 1999).

2.7. Comparação com outros métodos de recomendação de adubação

Após simulações para os quatros talhões, as doses recomendáveis com base nas análises foliares foram confrontadas com as doses de P, K, Ca e Mg recomendadas pelo Ferticalc-banana (Oliveira et al., 2005) e pela tabela de recomendação para o estado do Ceará (Fernandes, 1993) para os mesmos cenários. Na simulação com o Ferticalc-banana considerou uma população de 1 667 famílias/ha para bananeira do grupo AAB, produtividade esperada de 39,0 t/ha para os quatros talhões avaliados, produtividade obtida no segundo semestre de 2015: 21,2; 19,8; 12,4 e 22,1 t/ha para os talhões A, B, C e D, respectivamente e análises químicas de solo na profundidade de 0 a 20 cm do segundo semestre de 2015 (Tabela 3). Na simulação com a tabela de

recomendação de adubação para o estado do Ceará, considerou-se uma população de 1 667 famílias/ha e análises química de solo (Tabela 3).

Tabela 3. Características químicas de solo da camada de 0 - 20 cm de profundidade referente ao segundo semestre de 2015 para os quatro talhões avaliados.

Talhã o	pH	MOS g/dm ³	P --- mg/dm ³ ----	K ----- cmol _c /dm ³ -----	Ca	Mg	CTC	V %
A	7,6	12,0	250,0	132,9	2,9	0,9	5,25	78,8
B	7,4	18,0	68,0	62,6	3,3	0,7	5,46	76,1
C	7,1	18,0	150,0	89,9	3,5	0,8	5,73	79,0
D	7,1	20,0	130,0	101,7	2,3	0,7	47,6	68,4

pH em água relação 1:2,5; MOS = matéria orgânica obtida por Corg x 1,724 (Walkley-Black); P e K, extrator Mehlich-1; Ca²⁺ e Mg²⁺, extrator KCl 1mol/L; T = capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V = índice de saturação por bases.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Nível crítico do nutriente no solo (ncNu_i)

A linha de fronteira superior (LFS) ajustada a partir do relacionamento da produtividade relativa com os teores de P, K, Ca, Mg e MOS é apresentada na figura 4. Optou-se por utilizar a LFS para determinação do ncNu_i devido a robustez da técnica, que permite extrair uma curva de resposta da nuvem de pontos em função de uma dada variável, sem que haja limitação por outros fatores (Chung et al., 2005).

Os nutrientes K, Ca e Mg foram semelhantes quanto ao modelo ajustado para LFS ($\hat{y} = a b^x x^c$) sendo do tipo “Hoerl”, mostrando inicialmente um rápido incremento da produtividade com o aumento no teor destes nutrientes no solo. Enquanto P e MOS apresentaram ajuste pelo modelo polinomial de segunda ordem ($\hat{y} = a + bx + cx^2$).

Os modelos citados acima representam o melhor despenho de produtividade da bananeira em função dos teores de MOS e nutrientes no solo. Pois a LFS possibilita isolar a resposta do rendimento de uma cultura a um único fator, a partir dos dados de produtividade em que há múltiplos fatores influenciando (Shatar e McBratney, 2004).

A partir das equações da figura 4, foram obtidos os teores no solo necessários para atingir 90 e 100 % de produtividade, respectivamente, sendo 97,5 a 159,7 mg/dm³ para P; 91,5 a 160,6 mg/dm³ para K; 2,71 a 5,33 cmol_c/dm³ para Ca; 0,61 a 1,16 cmol_c/dm³ para Mg e 13,2 a 21,4 g/dm³ para MOS.

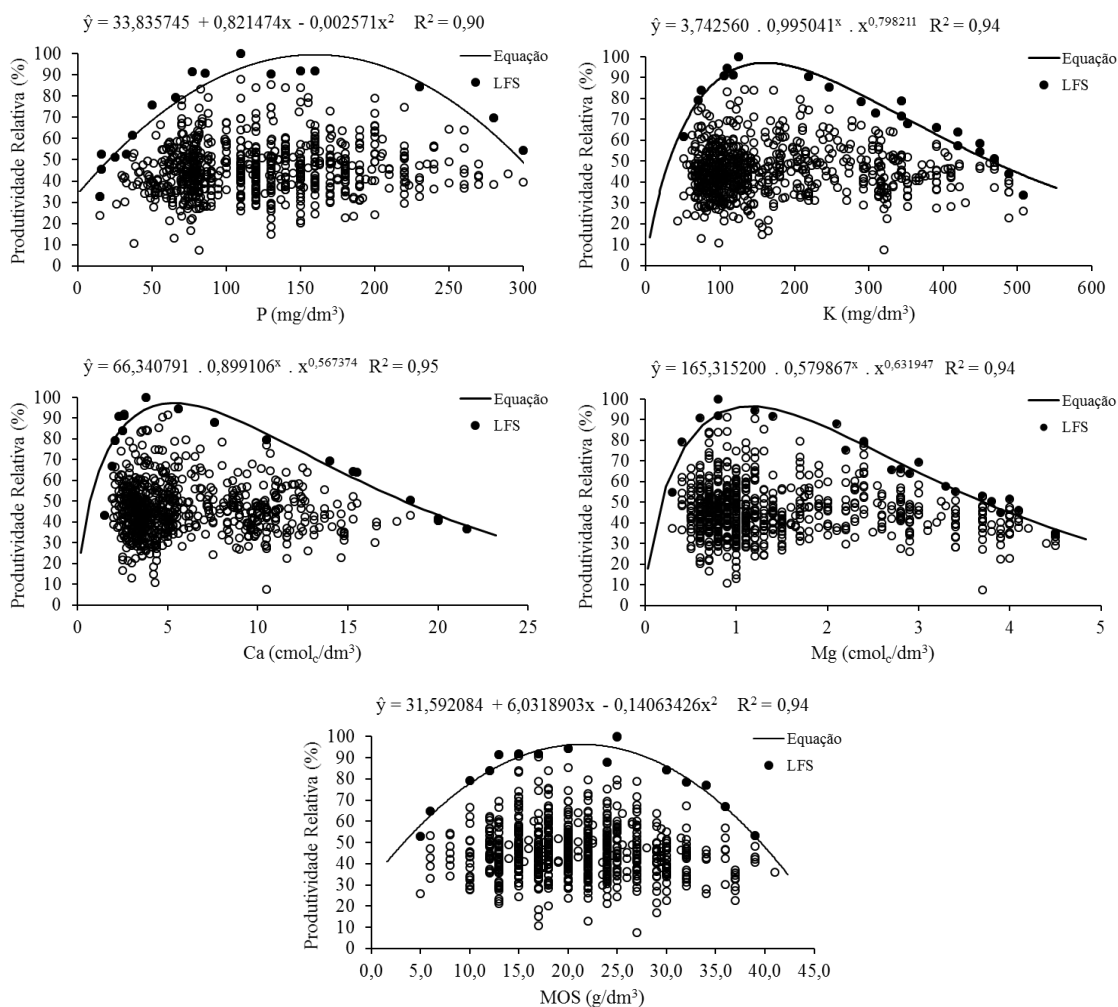


Figura 4. Linha de fronteira superior obtida para produtividade relativa em função dos teores de P, K, Ca, Mg e matéria orgânica no solo.

O limite inferior da faixa suficiente representa o $ncNu_i$, ou seja, teor do nutriente no solo necessário para a obtenção de 90 % da produtividade máxima, caso os fatores de produção e demais nutrientes estejam em quantidades e proporções adequadas. Para talhões que apresentam teores de nutrientes determinados nas análises de solo inferiores ao $ncNu_i$, espera-se alta probabilidade de resposta às adições do nutriente limitante, por outro lado, talhões com teores de nutrientes no solo acima do $ncNu_i$, a aplicação do nutriente é tida como economicamente inadequada.

3.2. Diagrama de Quadrantes do Relacionamento Planta-Solo (DQRps)

O DQRps para cada nutriente é apresentado na figura 5. Nesse método são utilizados princípios semelhantes aos do método desenvolvido por Cate Júnior e Nelson (1965) que correlaciona o resultado da análise de solo com o rendimento da cultura e de forma análoga a lei de Mitscherlich, conhecida também pela lei dos

incrementos decrescentes. O método DQRps permite relacionar, utilizando os quadrantes III e I, os teores de nutrientes foliares na planta em função dos teores disponíveis no solo (Fig. 5). Os modelos gerados a partir desse método, possibilitam estimar com maior capacidade preditiva os teores dos nutrientes no solo correspondentes aos teores foliares.

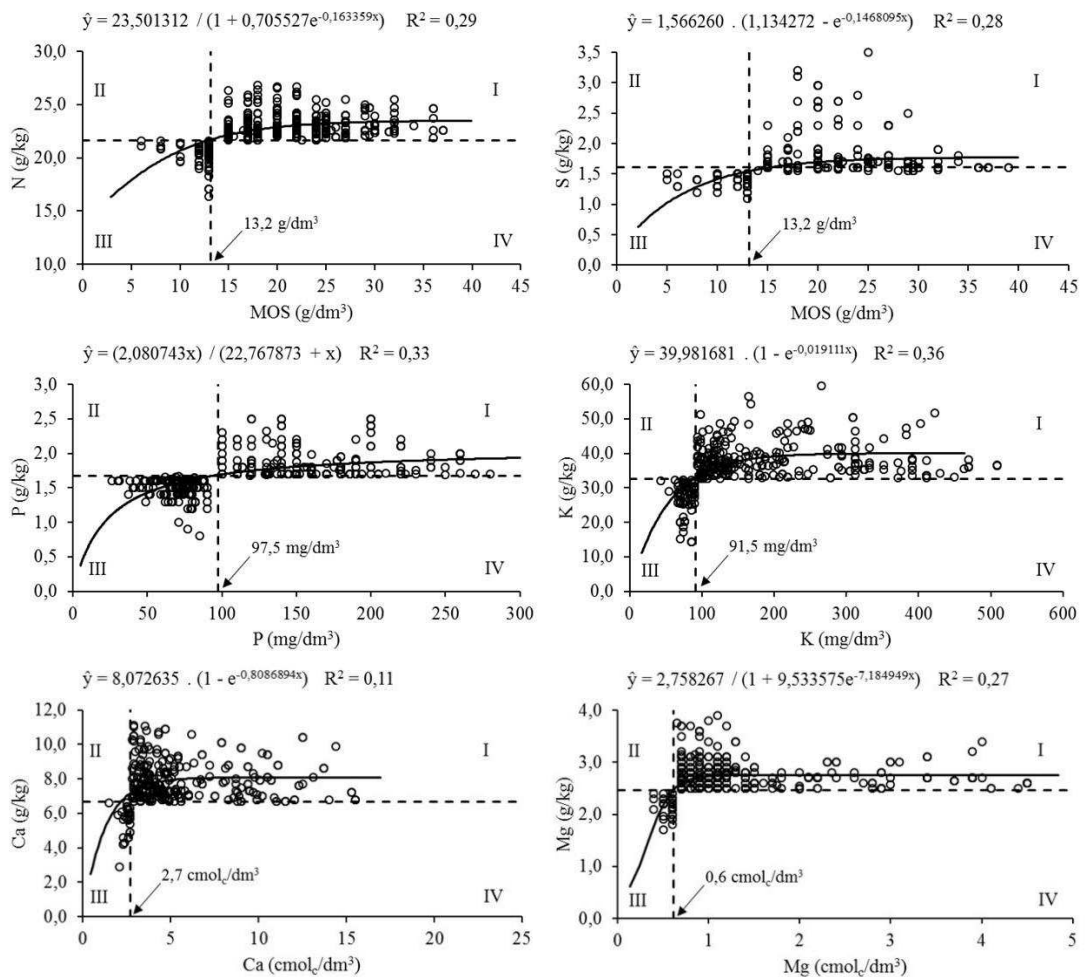


Figura 5. Teores de nutrientes na folha diagnóstico da bananeira em função dos teores de matéria orgânica e macronutrientes no solo obtido pelo método diagrama de quadrantes do relacionamento planta-solo (DQRps).

A fundamentação teórica desta abordagem baseia-se em testes de classificação binária que visam melhorar a confiabilidade do diagnóstico de sistemas pela eliminação de eventuais “bias” (Swets, 1988). Por exemplo, pressupõe que os talhões presentes nos quadrantes II e IV apresentam dois tipos de erros denominados de falso positivo e falso negativo, respectivamente (Parent et al., 2012).

Na prática, considerando-se o presente estudo, os talhões presentes no quadrante II estão sob o efeito de concentração do nutriente nos tecidos da planta em

função, por exemplo, de baixa produtividade. Enquanto, nos talhões do quadrante IV, ocorre o inverso, ou seja, efeito de diluição, podendo ainda outros fatores estar limitando a absorção e transporte do nutriente na planta, mesmo em áreas com teores do nutriente no solo acima do $ncNu_i$ (Sousa, 2016).

Dessa forma, este método aumenta o número de acertos para determinada população, pois minimiza o inconveniente de talhões falso positivo e falso negativo com plantas que não respondem à aplicação ou teor do nutriente no solo.

Nesse contexto, o método DQRps permite estratificar os talhões com limitações de ordem nutricional (I e III) e não nutricional (II e IV), ou seja, as recomendações só serão válidas se as análises químicas de solo e folha do talhão em análise atender aos critérios estabelecidos pelo DQRps para os quadrantes I e III (Tabela 4). No caso específico do quadrante I, espera-se que a dose recomendável seja igual a zero ou muito próximo de zero, devido ao teor do nutriente no solo igual ou superior ao $ncNu_i$ e dos teores no tecido foliar acima da média.

No caso de um talhão atender aos critérios do quadrante II ou IV, não há pelo presente método a recomendação de doses, pois pela concepção do mesmo, sugere que nesses casos está ocorrendo limitação de ordens não nutricionais, dessa forma, não se espera que a planta responda a aplicação do nutriente.

Com base na aplicação do método DQRps sobre o número de talhões do primeiro e segundo semestre, foi observado que mais de 50 % dos talhões para todos os nutrientes, exceto P, encontram-se nos quadrantes II e IV, ou seja, as eventuais limitações da produtividade são decorrentes de fatores não nutricionais (Tabela 5). E considerando que a resposta à aplicação do nutriente só ocorre para os talhões presentes no quadrante III, apenas 4, 5, 23, 11, 3 e 2 % dos talhões respondem à adubação com N, S, P, K, Ca e Mg, respectivamente. Sendo os nutrientes P e K os fatores nutricionais que mais limitam a produtividade dos talhões.

Tabela 4. Critérios estabelecido pelo método Diagrama de Quadrantes do Relacionamento Planta-Solo (DQRps) para classificação dos talhões.

Nutriente	Critérios	Quadrante
N	$\forall 13,2 \leq x \leq 53,0 \text{ g/dm}^3$ e $\forall 21,6 \leq y \leq 27,0 \text{ g/kg}$	I
	$\forall 5,0 \leq x < 13,2 \text{ g/dm}^3$ e $\forall 21,6 \leq y \leq 27,0 \text{ g/kg}$	II
	$\forall 5,0 \leq x < 13,2 \text{ g/dm}^3$ e $\forall 15,2 \leq y < 21,6 \text{ g/kg}$	III
	$\forall 13,2 \leq x \leq 53,0 \text{ g/dm}^3$ e $\forall 15,2 \leq y < 21,6 \text{ g/kg}$	IV
S	$\forall 13,2 \leq x \leq 53,0 \text{ g/dm}^3$ e $\forall 1,5 \leq y \leq 13,0 \text{ g/kg}$	I
	$\forall 5,0 \leq x < 13,2 \text{ g/dm}^3$ e $\forall 1,5 \leq y \leq 13,0 \text{ g/kg}$	II
	$\forall 5,0 \leq x < 13,2 \text{ g/dm}^3$ e $\forall 0,7 \leq y < 1,5 \text{ g/kg}$	III
	$\forall 13,2 \leq x \leq 53,0 \text{ g/dm}^3$ e $\forall 0,7 \leq y < 1,5 \text{ g/kg}$	IV
P	$\forall 97,5 \leq x \leq 741,0 \text{ mg/dm}^3$ e $\forall 1,7 \leq y \leq 2,9 \text{ g/kg}$	I
	$\forall 15,0 \leq x < 97,5 \text{ mg/dm}^3$ e $\forall 1,7 \leq y \leq 2,9 \text{ g/kg}$	II
	$\forall 15,0 \leq x < 97,5 \text{ mg/dm}^3$ e $\forall 0,7 \leq y < 1,7 \text{ g/kg}$	III
	$\forall 97,5 \leq x \leq 741,0 \text{ mg/dm}^3$ e $\forall 0,7 \leq y < 1,7 \text{ g/kg}$	IV
K	$\forall 91,5 \leq x \leq 742,9 \text{ mg/dm}^3$ e $\forall 32,5 \leq y \leq 59,5 \text{ g/kg}$	I
	$\forall 43,0 \leq x < 91,5 \text{ mg/dm}^3$ e $\forall 32,5 \leq y \leq 59,5 \text{ g/kg}$	II
	$\forall 43,0 \leq x < 91,5 \text{ mg/dm}^3$ e $\forall 13,8 \leq y < 32,5 \text{ g/kg}$	III
	$\forall 91,5 \leq x \leq 742,9 \text{ mg/dm}^3$ e $\forall 13,8 \leq y < 32,5 \text{ g/kg}$	IV
Ca	$\forall 2,7 \leq x \leq 21,6 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ e $\forall 6,7 \leq y \leq 14,0 \text{ g/kg}$	I
	$\forall 1,5 \leq x < 2,7 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ e $\forall 6,7 \leq y \leq 14,0 \text{ g/kg}$	II
	$\forall 1,5 \leq x < 2,7 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ e $\forall 2,6 \leq y < 6,7 \text{ g/kg}$	III
	$\forall 2,7 \leq x \leq 21,6 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ e $\forall 2,6 \leq y < 6,7 \text{ g/kg}$	IV
Mg	$\forall 0,6 \leq x \leq 7,1 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ e $\forall 2,5 \leq y \leq 4,1 \text{ g/kg}$	I
	$\forall 0,3 \leq x < 0,6 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ e $\forall 2,5 \leq y \leq 4,1 \text{ g/kg}$	II
	$\forall 0,3 \leq x < 0,6 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ e $\forall 0,8 \leq y < 2,5 \text{ g/kg}$	III
	$\forall 0,6 \leq x \leq 7,1 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ e $\forall 0,8 \leq y < 2,5 \text{ g/kg}$	IV

x – corresponde aos valores dos teores de MOS, P, K, Ca e Mg na análise de química de solo;

y – corresponde aos valores dos teores de N, S, P, K, Ca e Mg na análise química de folha.

Tabela 5. Percentagem de talhões em cada quadrante conforme os critérios estabelecidos pelo método Diagrama de Quadrantes do Relacionamento Planta-Solo (DQRps).

Quadrante	N	S	P	K	Ca	Mg
	----- % -----					
I	45	40	30	38	38	45
II	4	3	19	10	5	4
III	4	5	23	11	3	2
IV	47	52	28	41	54	49

Os valores percentuais são referentes aos 756 dados do primeiro e segundo semestre.

3.3. Simulação de doses recomendáveis para macronutrientes

Os teores de MOS e macronutrientes no solo, estimados a partir da análise foliar para os quatro talhões utilizados na simulação são apresentados na tabela 6 e as doses recomendáveis na tabela 7.

Recomendou-se realizar adubação de N apenas para o talhão A com dose de 16,6 kg/ha por semestre, pois este talhão com base nos critérios do método DQRps encontra-se no quadrante III (Tabela 8), ou seja, tem a sua produtividade limitada por fatores nutricionais. No caso do talhão B com dose de 27,1 kg/ha que atende aos critérios do quadrante IV, ou seja, um falso negativo, o valor da MOS estimada foi 7,37 g/dm³ (Tabela 6), contrariando o teor de 18,0 g/dm³ obtido pela análise química de solo (Tabela 3), que está acima do ncMOS que é 13,2 g/dm³. Portanto, a limitação da produtividade deste talhão provavelmente ocorre em função de um fator não nutricional, ou, se nutricional, relacionado a outro nutriente.

Tabela 6. Nível crítico dos teores de matéria orgânica e nutrientes no solo estimados a partir da análise foliar utilizando modelos obtidos pelo método Diagrama de Quadrantes do Relacionamento Planta-Solo (DQRps).

Talhão	MO _(N) g/dm ³	P ----- mg/dm ³ -----	K -----	Ca --- cmol _c /dm ³ ---	Mg ---	MO _(S) g/dm ³
A	9,63	101,66	107,93	4,19	>1,60	14,87
B	7,37	75,76	143,37	>10,00	>1,60	14,87
C	22,67	58,81	84,31	1,74	0,54	11,81
D	15,75	58,81	92,83	1,51	0,47	5,00
ncNu _i	13,2	97,5	91,5	2,71	0,61	1,32

MO_(N) - corresponde a MOS estimada pelo N da análise foliar; MO_(S) - corresponde a MOS estimada pelo S da análise foliar; ncNu_i - corresponde ao nível crítico dos macronutrientes e matéria orgânica no solo.

Tabela 7. Doses recomendáveis de macronutrientes com base nos teores da análise foliar¹.

Talhão	Produt. Relativa %	N (MO)	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S-SO ₄ (MO)
		----- kg/ha -----					
A	44,7	16,6	-	-	-	-	-
B	41,7	27,1	230,6	-	-	-	-
C	26,1	-	410,3	21,6	506,5	21,3	1,0
D	46,7	-	410,3	-	626,5	42,6	5,8

¹teores de nutrientes referentes a análise foliar dos quatro talhões utilizados para simulação (Tabela 2).

Tabela 8. Classificação dos talhões avaliados por quadrantes para os diferentes nutrientes com base nos critérios estabelecidos pelo método Diagrama de Quadrantes do Relacionamento Planta-Solo (DQRps).

Talhão	Prod.	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S-SO ₄
A	44,7	III	I	I	I	I	II
B	41,7	IV	III	II	I	I	I
C	26,1	I	IV	III	IV	IV	I
D	46,7	I	IV	IV	III	IV	IV

Prod. = produtividade relativa, expresso em %.

A dose recomendável de 16,6 kg/ha de N por semestre para o talhão A aparentemente baixa, refere-se apenas a quantidade de N necessária para manter a relação C:N da MOS entorno de 10:1, por meio da estabilização da MOS em substâncias húmicas, evitando a exaustão desse material e, conseqüentemente, as vantagens deste importante índice de qualidade do solo. Dessa forma, essa dose deve ser adicional às doses que estão sendo empregadas, garantindo que a MOS não seja um fator limitante a produtividade.

Regiões áridas e semiáridas são caracterizadas por apresentarem solos pouco desenvolvidos, baixas precipitações pluviais e elevadas temperaturas, que contribuem para baixa produção primária de matéria vegetal (Raiesi, 2012; Oliveira et al., 2015). Além disso, os solos dessas regiões, como no caso do presente estudo, são bastantes susceptíveis a perda da fertilidade devido aos baixos teores de MOS (García-Orenes et al., 2010), sendo portanto, imprescindível práticas de manejo que aumentem ou mantenham os teores de MOS próximo ao nível crítico.

Dentre as práticas de manejo, pode-se destacar, a manutenção dos resíduos da cultura sobre a superfície do solo, que é largamente utilizada na cultura da banana. Esta prática minimiza a perturbação do solo, reduzindo oscilações de temperatura, mantendo a umidade do solo durante as estações quentes e secas, além de influenciar os microrganismos presentes no solo e seus processos (Christensen, 1996; Andrade et al., 2003).

Utilizando ^{15}N e avaliando a cinética de decomposição de resíduos da bananeira, Raphael et al. (2012) verificaram que cerca de 39 % do N absorvido pela planta-filha no momento de sua colheita, foi proveniente dos resíduos vegetais da colheita anterior. Estes autores ainda destacam a importância de considerar a contribuição de N proveniente dos resíduos na recomendação das doses de fertilizantes nitrogenados, como utilizado, por exemplo, pelo Ferticalc-banana (Oliveira et al., 2005). Melhorias na qualidade do solo no que se refere a MOS em regiões áridas e semiáridas, também podem ser alcançadas com irrigação e adubação, além do cultivo intensivo (Fallahzade e Hajabbasi, 2012; Oliveira et al., 2015).

Em relação a P, apenas o talhão B atendeu aos critérios do quadrante III (Tabela 8), sendo recomendado adubação com dose de 230,6 kg/ha de P_2O_5 (Tabela 7). Nos talhões C e D recomendou-se dose de 410,3 kg/ha de P_2O_5 para ambos, porém, estes atendem aos critérios do quadrante IV, ou seja, outros fatores não nutricionais devem estar envolvidos, ou, se nutricional, relacionado a outro(s) nutriente(s).

A confiabilidade nessa forma de recomendação de adubação pode ser verificada ao comparamos, por exemplo, os teores “reais” de nutrientes presentes na análise de solo (Tabela 3) com os teores de nutrientes no solo estimados pela análise foliar (Tabela 6). Existe semelhança entre o teor de P “real” no solo e o estimado com 68,0 e 75,76 mg/dm³, respectivamente. Em que ambos, encontram-se abaixo do ncNu_i de 97,5 mg/dm³ (Tabela 6), sendo este fato um indicativo que análise foliar é uma ferramenta que pode ser utilizada no ajuste quantitativo das doses recomendáveis, complementando as usuais recomendações baseadas em análise de solo.

Os teores dos nutrientes refletem a composição mineral nos tecidos vegetais, e constitui a informação básica para diagnóstico do estado nutricional em plantas (Parent e Dafir, 1992). A análise foliar principalmente, e demais órgãos da planta, são amplamente utilizados para avaliar o requerimento de nutrientes pela planta, sendo essa ferramenta quem melhor fornece informações sobre as quantidades reais de nutrientes absorvidos pela cultura (Magallanes-Quintanar et al., 2006).

No caso dos talhões C e D que se trata de um falso negativo não há concordância entre os teores, ocorrendo dissimilaridade entre os teores “reais” (150,0 e 130,0 mg/dm³) presente na análise de solo e os teores estimados pela análise foliar (58,81 e 58,81 mg/dm³). Além da divergência em relação ao ncNu_i de 97,5 mg/dm³ (Tabela 6), na análise de solo os teores estão acima do ncNu_i sugerindo que não há necessidade da aplicação deste nutriente, diferentemente dos teores estimados pela análise foliar que estão abaixo do ncNu_i, levando a incorreta recomendação de P.

O estado nutricional da planta muitas vezes, apresenta baixa correlação com teores dos nutrientes no solo (Hanson, 1987). Isso ocorre devido as complexas interações de fatores que influenciam a absorção e distribuição dos nutrientes pelas plantas (Wairegi e Van Asten, 2011).

A recomendação de doses para K ocorreu apenas para o talhão C com 21,6 kg/ha de K₂O (Tabela 7), essa dose é considerada baixa, tendo em vista, a grande exigência da bananeira por esse nutriente (Hoffmann et al., 2010; Ganeshamurthy et al., 2011; Silva et al., 2013; Taulya, 2013). Entretanto, se consideramos que apenas 11 % de todos os talhões em estudo devem responder à adubação com K e que em mais de 50 % das eventuais limitações são de ordem não nutricionais (Tabela 5), é possível afirmar que as doses de K que vem sendo empregadas na empresa estão atendendo bem a exigência da cultura, podendo inclusive estarem bem acima do necessário,

levando a não recomendação da adubação ou recomendando doses quantitativamente baixas.

Assim como observado para P, houve concordância dos teores de K estimado pela análise foliar de $84,31 \text{ mg dm}^{-3}$ (Tabela 6) com o teor da análise de solo de $89,9 \text{ mg dm}^{-3}$ (Tabela 3) para o talhão C que atendeu aos critérios do quadrante III. Portanto, a análise foliar juntamente com o método DQRps são ferramentas que podem ser utilizadas no ajuste de doses na recomendação de adubação.

A análise foliar é uma ferramenta bastante utilizada e com sucesso na diagnose do estado nutricional de plantas, entretanto, o seu uso como forma direta na recomendação de adubação ainda é muito limitado. São necessários estudos mais aprofundados que visem a incorporação dessa ferramenta no ajuste de doses de nutrientes aproveitando o seu potencial.

Os teores de nutrientes presentes na análise de solo é um índice de disponibilidade e não seu teor real disponível (Oliveira et al., 2005), além do fato da aquisição do nutriente no solo pela planta ser influenciado por diversos fatores (Durán et al., 2012). Sendo o diagnóstico, por exemplo, da deficiência de um nutriente na planta melhor detectável pela análise foliar (Hallmark e Beverly, 1991). Portanto, a análise foliar é uma ferramenta com bastante potencial e que deve ser utilizada de forma ativa nos programas de adubação.

Para Ca, apenas o talhão D atendeu aos critérios do quadrante III (Tabela 8), sendo recomendado dose de $625,5 \text{ kg/ha}$ de Ca (Tabela 7). Para este talhão, o teor de Ca da análise de solo (Tabela 3) e o estimado pela análise foliar (Tabela 6), foram os que apresentaram valores mais próximos, sendo ambos, abaixo do $ncNu_i$ que é de $2,71 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ (Tabela 6), semelhante ao ocorrido para P e K.

Para o talhão C recomendou-se $506,5 \text{ kg/ha}$ de Ca (Tabela 7), porém, trata-se de um falso negativo, pois atende aos critérios do quadrante IV (Tabela 8), portanto, essa dose não deve ser utilizada já que a produtividade está sendo limitada por fatores não nutricionais, ou se nutricionais relacionados a(s) outro(s) nutriente(s).

Para Mg, não houve talhão que atendesse aos critérios do quadrante III (Tabela 8), portanto, não há recomendação de adubação para os talhões em análise. No caso das doses $21,3$ e $42,6 \text{ kg/ha}$ de Mg referentes aos talhões C e D (Tabela 7), respectivamente, por tratar-se de um falso positivo, ou seja, quadrante IV, outros fatores não nutricionais ou relacionados a outro(s) nutriente(s), estão influenciando na produtividade.

Vale destacar, que além da interpretação dos resultados pela avaliação individual dos nutrientes que esteja limitando ou não a produtividade, é preciso ainda uma avaliação conjunta que considere o efeito da interação entre os nutrientes sobre a recomendação de adubação e conseqüentemente sobre a produtividade.

O talhão C, por exemplo, apresentou as seguintes doses: 21,6; 506,5 e 21,3 kg/ha de K_2O , Ca e Mg (Tabela 7), respectivamente. Porém, a recomendação é válida apenas para K que atende aos critérios do quadrante III (Tabela 8), e no caso de Ca e Mg que atendem ao quadrante IV, essas doses não são válidas e atribuir-se uma eventual limitação a outros fatores, podendo inclusive ter relação com interações iônicas dos nutrientes no solo.

Na literatura é bastante discutida a relação entre Ca, Mg e K para a cultura da banana (Rufyikiri et al., 2003; Fernandes et al., 2008; Silva et al., 2008; Maia e Morais, 2015). Quando trata-se de áreas irrigadas, especialmente em regiões áridas e semiáridas, deve-se considerar a qualidade da água utilizada na irrigação, que influencia diretamente no equilíbrio iônico da solução do solo (Jalali, 2008; Maia e Morais, 2015). Segundo Karley e White (2009) as quantidades e proporções adequadas de K, Ca e Mg na solução do solo são importantíssimas para a sustentação da produtividade em solos cultivados.

Em relação a S, nenhum talhão atendeu aos critérios do quadrante III (Tabela 8), porém, para o talhão C recomendou-se dose de 1,0 kg/ha de SO_4 (Tabela 7) por semestre e atendeu aos critérios do quadrante I. Tanto o quadrante III como o I estão relacionados a fatores nutricionais, porém, como relatado anteriormente, espera-se que os talhões que se encontram no quadrante I, a dose recomendável seja muito próxima ou igual a zero como ocorreu nos casos de N, P, K, Ca e Mg (Tabelas 7 e 8). Além disso, assim como para N, essa dose é adicional e não substitutiva do que está sendo utilizada, pois seu objetivo é manter a relação C:S da MOS entorno de 112:1, aumentando a sua estabilidade.

3.4. Comparação com outros métodos de recomendação de adubação

As doses recomendáveis pela análise foliar, Ferticalc-banana e Tabela de recomendação para o estado do Ceará são apresentadas na Tabela 9. Para Ca e Mg, houve apenas comparação entre as recomendações pela análise foliar e Ferticalc-banana, devido à ausência destas informações na Tabela de recomendação para o estado do Ceará.

As doses de P recomendadas com base na análise foliar divergiram das doses recomendadas pelo Ferticalc-banana e Tabela de recomendação (Tabela 9). Houve recomendação apenas para o talhão B com dose de 230,6 kg/ha de P₂O₅, e no caso dos talhões C e D não se recomenda adubação, por estes atendem aos critérios do quadrante IV (Tabela 8).

Tabela 9. Comparação de doses recomendáveis de fósforo, potássio, cálcio e magnésio por meio da análise foliar, Ferticalc-banana e Tabela de recomendação.

Talhão	P ₂ O ₅			K ₂ O			Ca		Mg	
	Foliar	Ferticalc	Tabela	Foliar	Ferticalc	Tabela	Foliar	Ferticalc	Foliar	Ferticalc
----- kg/ha -----										
A	0,0	141,3	50,0	0,0	706,1	250,1	0,0	0,0	0,0	32,4
B	230,6	145,6	50,0	-	799,3	366,7	0,0	0,0	0,0	57,4
C	-	145,3	50,0	21,6	810,9	366,7	-	0,0	-	51,2
D	-	143,6	50,0	-	734,6	250,1	626,5	0,0	-	54,9

Foliar: doses recomendadas com base na análise foliar para os talhões que atendem aos critérios dos quadrantes III e I, e (-) para os talhões que atenderam aos critérios dos quadrantes IV e II; Ferticalc: doses recomendadas com base em sistema de balanço nutricional para bananeira do grupo AAB, considerando 1 667 famílias/ha, produtividade esperada de 39,0 t/ha, valores de análises química de solo (Tabela 3) e produtividade obtida no ciclo anterior: 21,2; 19,8; 12,4 e 22,1 t/ha para os talhões A, B, C e D, respectivamente; Tabela: doses recomendadas para adubação de produção com base em tabela de recomendação para a cultura da banana no estado do Ceará, considerando 1 667 famílias/ha e análises química de solo (Tabela 3).

Essas divergências observadas para as recomendações com base na análise foliar estão relacionadas aos teores da análise foliar (Tabela 2) e solo (Tabela 3) que são utilizadas como dados de entrada no método DQRps (Tabela 4). O uso da análise foliar por esse método é uma vantagem, pois considera o estado nutricional da planta na tomada de decisão em relação adubar ou não. Além disso, esse método é sensível aos fatores nutricionais e não nutricionais que afetam a produtividade, recomendado doses apenas para os casos em que as limitações são decorrentes de fatores nutricionais.

Como o Ferticalc-banana ainda não possui essa sensibilidade, o mesmo recomenda doses de 145,3 e 143,6 kg/ha de P₂O₅ para os talhões C e D, respectivamente. Enquanto, a dose 50,0 kg/ha de P₂O₅ foi o recomendado para todos os talhões pela Tabela de recomendação (Tabela 9).

Para K, as doses recomendáveis com base na análise foliar também divergiram das recomendações do Ferticalc-banana e Tabela de recomendação. As doses variaram de 706,1 a 810,9 kg/ha de K₂O pelo Ferticalc-banana e 250,1 a 366,7 kg/ha de K₂O pela Tabela de recomendação. Enquanto, com a análise foliar,

houve recomendação apenas para o talhão C com dose de 21,6 kg/ha de K₂O (Tabela 9).

As doses elevadas do Ferticalc-banana e sua discrepância em relação as recomendadas pela análise foliar, tem relação com os módulos requerimento e suprimento do Ferticalc-banana (Oliveira et al., 2005). Segundo esses autores, durante o desenvolvimento do modelo Ferticalc-banana e simulações de doses recomendadas, foram observadas, doses excessivas de K, sendo uma das explicações os baixos valores do coeficiente de utilização biológica (CUB) que poderiam estar superestimando o conteúdo de K e conseqüentemente o requerimento pela bananeira. Outra explicação seria em relação à não contabilização do K não-trocável do solo pelo módulo suprimento que pode ser uma importante fonte de K para a bananeira. Ainda segundo esses autores, é importante em futuras pesquisas determinar as quantidades e partição de matéria seca, acúmulo de K no período de colheita, além do suprimento de K não-trocável do solo para a bananeira, de forma a corrigir esses problemas em futuras versões do modelo.

Além disso, como já relatado anteriormente, o Ferticalc-banana ainda não possui sensibilidade aos fatores nutricionais e não nutricionais na tomada de decisão para realizar ou não adubação. Já nas recomendações com base na análise foliar, em que os talhões B e D atenderam aos critérios dos quadrantes II e IV, respectivamente, fica evidente que as limitações quanto a produtividade estão relacionadas a outros fatores não nutricionais, e se nutricional relacionado(s) a outro(s) nutriente(s). Reforçando esse fato, têm-se na tabela 5, que 51 % dos talhões possuem limitações não nutricionais (quadrantes II e IV), e apenas 11 % dos talhões atendem aos critérios do quadrante III com alta probabilidade de resposta adubação com K. Portanto, é pouco provável que o requerimento de K pelos talhões, sejam as doses elevadas sugeridas pelo Ferticalc-banana (Tabela 9).

Essa superestimação de doses de K, também foi observada pelo Ferticalc-abacaxí (Silva et al., 2009). Estes autores atribuíram ao possível consumo de luxo de K e subestimação na taxa de recuperação do nutriente aplicado via fertilizante pela planta que estaria contribuindo para elevar o requerimento de K. A falta de informações e o uso de valores médios de CUB e taxa de recuperação de nutriente pela planta sem considerar a influência destes por fatores edáficos, climáticos, biológicos, planta e de manejo são destacados por (Oliveira et al., 2005), (Santos et al., 2008), (Silva et al., 2009) e (Deus et al., 2015), como problemas de pesquisa a serem

estudados no intuito de gerar informações que venham aprimorar e ajustar futuras versões do modelo Ferticalc.

Em relação as doses apresentadas pela Tabela de recomendação de adubação para o estado do Ceará (Fernandes, 1993), é preciso destacar algumas limitações quanto ao seu uso, já que atualmente, dados de produtividade, cultivares, espaçamento, manejo dentre outros, estão bem distantes do cenário em que foi desenvolvido a mesma. Além disso, as Tabelas de recomendação em geral apresentam doses que não variam continuamente com a produtividade esperada e teor do nutriente no solo, não levam em consideração a capacidade tampão do solo, possuem restrição geográfica e são pouco flexíveis quanto a cultivar, sistema de manejo e densidade de planta (Oliveira et al., 2005; Santos et al., 2008; Silva et al., 2009; Deus et al., 2015), não sendo propensas a ajuste e com baixa perspectivas futuras. Somando a isso, não contemplam todos os nutrientes como no presente caso para Ca e Mg.

As recomendações para Ca, foram as mesmas com base na análise foliar e Ferticalc-banana, com exceção do talhão D, que foi recomendado 626,5 kg/ha de Ca pela análise foliar (Tabela 9). Essa dose se deve aos teores de Ca no solo abaixo do $ncNu_i$ e teores de Ca foliar abaixo da média da população atendendo aos critérios do quadrante III. Em geral, nos talhões da empresa não há problemas relacionados a Ca, em que apenas 3 % dos talhões correspondem ao quadrante III, ou seja, com alta probabilidade de resposta a aplicação deste nutriente.

Porém, é preciso destacar que o solo é um ambiente bastante complexo, e que a adição de fertilizantes altera constantemente a concentração de sais solúveis na solução do solo em sistemas intensivos de cultivo. Ao longo do ano ocorre variação dos sais do solo pelo regime hídrico da região, sendo difícil manter uma relação de equilíbrio entre as fases sólida e líquida a longo prazo, além da interação com diversos outros fatores que influenciam no fornecimento de nutrientes para a rizosfera, e consequentemente, afeta a absorção dos nutrientes pela planta (Gauggel et al., 2005).

Por outro lado, a análise de tecido vegetal é uma ferramenta com grande potencial e que melhor reflete o estado nutricional da planta, e se utilizada em conjunto com a análise de solo geram recomendações mais adequadas, pois considera fatores relacionados ao solo e a planta.

Diante destes fatos, percebe-se o quão complexo é a interface solo-planta, e como o seu entendimento pode melhorar o manejo nutricional por meio do desenvolvimento de novas ferramentas, que aprimorem as atuais formas de

recomendação. Vale destacar que a recomendação de doses utilizando a análise foliar tem caráter complementar e não substitui a recomendação convencional feita por meio da análise de solo.

4. CONCLUSÕES

A análise foliar ajusta de forma satisfatória as doses recomendadas de nutrientes e traz vantagens se incorporada aos modelos de balanço nutricional.

O método Diagrama de Quadrantes do Relacionamento Planta-Solo é uma ferramenta que permite relacionar os teores de nutrientes na folha diagnóstico da bananeira com os teores de nutrientes na análise química de solo.

O uso da análise foliar de forma integrada com análise química de solo e produtividade, possibilita uma recomendação mais adequada da adubação para bananeira.

5. REFERÊNCIAS

Alvarez V., V. H., 1996. Correlação e calibração de métodos de análise de solo. In: Alvarez V., V. H., Fontes, L. E. F., Fontes, M. P. F. (Eds.), O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, pp. 615-646.

Alvarez V., V. H., Novais, R. F., Dias, L. E., Oliveira, J. A., 2000. Determinação e uso do fósforo remanescente. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 25(1), 27-32.

Alvarez V., V. H., Santos, A. F., Santos, G. L. A. A., Matta, P. M., 2014. Fertilização de plantas ornamentais pelo método requerimento-suprimento: proposição de técnica experimental. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 38(2), 532-543. doi:10.1590/S0100-06832014000200018

Andrade, D. S., Colozzi-Filho, A., Giller, K. E., 2003. The soil microbial community and soil tillage. In: El Titi, A. (Ed.), Soil Tillage in Agroecosystems. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 51–81.

Barros, N. F., Novais, R. F., Teixeira, J. L., Fernandes Filho, E. I., 1995. NUTRICALC 2.0 - Sistema para cálculo del balance nutricional y recomendación de fertilizantes para el cultivo de eucalipto. Bosque, 6(1), 129–131. 1995. doi:10.4206/bosque.1995.v16n1-16

Cate Junior, R. B., Nelson. L. A., 1965. A rapid method for correlation of soil analysis with plant response data. Technical Bulletin, nº 1, International Soil Testing Series, North Carolina State University Agricultural, Raleigh, U.S.A.

Christensen, B. T., 1996. Matching measurable soil organic matter fractions with conceptual pools in simulation models of carbon turnover: revision of model structure. In: Powlson, D. S., Smith, P., Smith, J. U. (Eds.), Evaluation of soil organic matter models using existing long-term datasets. Global Environmental Change. Springer-Verlag, Berlin, pp. 143–159.

Chung, S. O., Sudduth, K. A., Chang, Y. C., 2005. Path analysis of factors limiting crop yield in rice paddy and upland corn fields. *Journal of Biosystems Engineering*. 30(1), 45-55. doi:10.5307/JBE.2005.30.1.045

Deus, J. A. L., Barreto, J. H. B., Soares, I., Souza, N. C. S., Sales, J. A. F., Oliveira Filho, J. S., 2012. Chance matemática na determinação do estado nutricional do amendoim. *Bioscience Journal*, 28(3), 351-357.

Deus, J. A. L., Soares, I., Neves, J. C. L., Medeiros, J. F., Miranda, F. R., 2015. Fertilizer recommendation system for melon based on nutritional balance. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39(2), 498–511. doi:10.1590/01000683rbc20140172

Dezordi, L. R., Aquino, L. A., Novais, R. F., Aquino, P. M., Santos, L. P. D., 2015. Nutrient recommendation model for carrot crop – Ferticalc carrot. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39(6), 1714-1722. doi: 10.1590/01000683rbc20150065

Durán, J., Rodríguez, A., Covelo, F., Fernández-Palacios, J. M., Gallardo, A., 2012. Comparing the use of leaf and soil analysis as N and P availability indices in a wildfire chronosequence. *European Journal of Forest Research*, 131(5), 1327–1335. doi:10.1007/s10342-012-0601-1

Fallahzade, J., Hajabbasi, M. A., 2012. The effects of irrigation and cultivation on the quality of desert soil in central Iran. *Land Degradation & Development*, 23(1), 53–61. doi:10.1002/ldr.1049

Fernandes, V. L. B. (Org.), 1993. Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Ceará. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

Fernandes, L. A., Ramos, S. J., Valadares, S. V., Lopes, P. S. N., Faquin, V., 2008. Fertilidade do solo , nutrição mineral e produtividade da bananeira irrigada por dez anos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43(11), 1575–1581. doi:10.1590/S0100-204X2008001100017

Ganeshamurthy, A. N., Satisha, G. C., Patil, P., 2011. Potassium nutrition on yield and quality of fruit crops with special emphasis on banana and grapes. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 24(1), 29–38.

García-Orenes, F., Guerrero C., Roldán, A., Mataix-Solera, J., Cerdà, A., Campoy, M., Zornoza, R., Bárcenas, G., Caravaca, F., 2010. Soil microbial biomass and activity under different agricultural management systems in a semiarid Mediterranean agroecosystem. *Soil and Tillage Research*, 109(2), 110–115.

Gauggel, C. A., Moran, D., Gurdian, E., 2005. Interrelations Between the Soil Chemical Properties and the Banana Plant Root System. In: Turner, D. W., Rosales,

F. E. (Eds.), *Banana Root System: Towards a Better Understanding for its Productive Management*. International Network for the Improvement of Banana and Plantain, Montpellier, France, pp. 132-141.

Gonçalves, J. L. M., Mendes, K. C. F. S., Sasaki, C. M., 2001. Mineralização de nitrogênio em ecossistemas florestais naturais e implantados do estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25(3), 601-616. doi:10.1590/S0100-06832001000300009

Hallmark, W. B., Beverly, R. B., 1991. Review – An update in the use of the Diagnosis and Recommendation Integrated System. *Journal of Fertilizer Issues*, 8(3), 74–88.

Hanson, E. J., 1987. Fertilizer use efficiency: Integrating soil tests and tissue analysis to manage the nutrition of highbush blueberries. *Journal of Plant Nutrition* 10(9), 1419–1427. doi:10.1080/01904168709363674

Hoffmann, R. B., Oliveira, F. H. T., Souza, A. P., Gheyi, H. R., Souza Júnior, R. F., 2010. Acúmulo de matéria seca e de macronutrientes em cultivares de bananeira irrigada. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 32(1), 268–275. doi:10.1590/S0100-29452010005000026

Hyams, D. G., 2010. CurveExpert Basic. Release 1.4. Disponível em: <http://docs.curveexpert.net/curveexpert/basic/_static/CurveExpertBasic.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2016.

Jalali, M., 2008. Effect of sodium and magnesium on kinetics of potassium release in some calcareous soils of western Iran. *Geoderma*, 145(3-4), p. 207–215. doi:10.1016/j.geoderma.2008.03.005

Karley, A. J., White, P. J., 2009. Moving cationic minerals to edible tissues: potassium, magnesium, calcium. *Current Opinion in Plant Biology*, 12(3), 291–298. doi: 10.1016/j.pbi.2009.04.013

Maia, C. E., Morais, E. R. C., 2015. Critical levels for soil attributes in irrigated banana plantations in semiarid region. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(10), 926–930. doi:10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p926-930

Magallanes-Quintanar, R., Valdez-Cepeda, R. D., Olivares-Sáenz, E., Pérez-Veyna, O., García-Hernández, J. L., López-Martínez, J. D., 2006. Compositional Nutrient Diagnosis in Maize Grown in a Calcareous Soil. *Journal of Plant Nutrition*, 29(11), 2019–2033. doi:10.1080/01904160600928235

Martin-Prével, P., 1984. Bananier. In: Martin-Prével, P., Gagnard, J., Gautier, P. (Eds.), *L'analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales*. Tec & Doc, Paris, pp.715-51.

Oliveira, S. P., Lacerda, N. B., Blum, S. C., Escobar, M. E. O., Oliveira, T. S., 2015. Organic carbono and nitrogen stocks in soils of northeastern Brazil converted to irrigated agriculture. *Land Degradation & Development*, 26(1), 9-21. doi: 10.1002/ldr.2264

Oliveira, F. H. T., Novais, R. F., Alvarez V., V. H., Cantarutti, R. B., 2005. Desenvolvimento de um sistema para recomendação de adubação para a cultura da bananeira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29(1), 131-143. doi:10.1590/S0100-06832005000100015

Parent, L. E., Dafir, M. A., 1992. Theoretical Concept of Compositional Nutrient Diagnosis. *Journal of American Society of Horticultural Science*, 117(2), 239–242. doi:117/2/239.full.pdf

Parent, S. E, Parent, L. E., Rozanne, D. E., Hernandez, A, Natale, W., 2012. Nutrient balance as paradigm of soil and plant chemometrics. In: Issaka, R. N. (Ed.), *Soil fertility*. InTech Publications, New York, pp.83-114. doi:10.5772/53343

Raiesi, F., 2012. Soil properties and C dynamics in abandoned and cultivated farmlands in a semi-arid ecosystem. *Plant and Soil*, 351(1-2), 161–175. doi:10.1007/s11104-011-0941-5

Raphael, L., Sierra, J., Recous, S., Ozier-Lafontaine, H., Desfontaines, L., 2012. Soil turnover of crop residues from the banana (*Musa AAA cv. Petite-Naine*) mother plant and simultaneous uptake by the daughter plant of released nitrogen. *European Journal of Agronomy*, 38(1), 117–123. doi:10.1016/j.eja.2011.07.005

Rosa, G. N. G. P., Novais, R. F., Alvarez V., V. H., Barros, N. F., Villani, E. M. A., 2011. Lime and fertilizer recommendation system for coconut trees. *Revista Ceres*, 58(1), 90-99. doi:10.1590/S0034-737X2011000100014

Rufyikiri, G., Genon, J. G., Dufey, J. E., Delvaux, B., 2003. Competitive Adsorption of Hydrogen, Calcium, Potassium, Magnesium, and Aluminum on Banana Roots: Experimental Data and Modeling. *Journal of Plant Nutrition*, 26(2), 351–368. doi:10.1081/PLN-120017141

Santos, F. C., Neves, J. C. L., Novais, R. F., Alvarez V., V. H., Sedyama, C. S., 2008. Modelagem da recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(4), 1661-1674. doi:10.1590/S0100-06832008000400031

Silva, A. P., Alvarez V., V. H., Souza, A. P., Neves, J. C. L., Novais, R. F., Dantas, J. P., 2009. Sistema de recomendação de fertilizantes e corretivos para a cultura do abacaxi - Fertcalc-abacaxi. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33(5), 1269-1280. doi:10.1590/S0100-06832009000500020

Silva, C. A., Vale, F. R., Anderson, S. J., Kobal, A. R., 1999. Mineralização de nitrogênio e enxofre em solos brasileiros sob influência da calagem e fósforo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 34(9), 1679-1689. doi:10.1590/S0100-204X1999000900019

Silva, E. D. B., Rodrigues, M. G. V., 2001. Levantamento nutricional dos bananais da região norte de Minas Gerais pela análise foliar. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 23(3), 695–698. doi:10.1590/S0100-29452001000300050

Silva, I. P., Silva, J. T. A., Pinho, P. J., Rodas, C. L., Carvalho, J. G., 2013. Vegetative

development and yield of the banana cv. “Prata Anã” as a function of magnesium and potassium fertilization. *Idesia*, 31(2), 83–88. doi:10.4067/S0718-34292013000200012

Silva, J. T. A., Silva, I. P., Moura Neto, A., Costa, É. L., 2008. Aplicação de potássio, magnésio e calcário em mudas de bananeira “Prata-anã” (AAB). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 30(3), 782–786. doi:10.1590/S0100-29452008000300037

Shatar, T. M., McBratney, A. B., 2004. Boundary-line analysis of field-scale yield response to soil properties. *The Journal of Agricultural Science*, 142(5), 553–560. doi:10.1017/S0021859604004642

Sousa, J. S., 2016. Análise foliar para ajuste da recomendação de adubação do cafeeiro. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais. (Dissertação de Mestrado)

Stahringer, N. I., 2013. Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da laranjeira com base no balanço nutricional (Ferticalc-laranja). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais. (Dissertação de Mestrado)

Swets, J. A., 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240(4857), 1285–1293. doi:10.1126/science.3287615

Taulya, G., 2013. East African highland bananas (*Musa* spp. AAA-EA) “worry” more about potassium deficiency than drought stress. *Field Crops Research*, 151, 45–55. doi:10.1016/j.fcr.2013.07.010

Wairegi, L., Van Asten, P., 2011. Norms for multivariate diagnosis of nutrient imbalance in the East African highland bananas (*Musa* spp. aaa). *Journal of Plant Nutrition*, 34(10), 1453–1472. doi:10.1080/01904167.2011.585203

CAPÍTULO 4

DIAGNOSE DO ESTADO NUTRICIONAL DA BANANEIRA PRATA FERTIRRIGADA NO ESTADO DO CEARÁ

RESUMO

A diagnose foliar avalia o estado nutricional das plantas e auxilia nas tomadas de decisões de programas de adubação, contribuindo para o uso mais racional de fertilizantes. O objetivo foi estabelecer normas para o diagnóstico do estado nutricional e sua variação sazonal quanto ao grau de balanço e de equilíbrio nutricional da bananeira fertirrigada no estado do Ceará. O banco de dados foi composto por 756 amostras oriundas do levantamento da análise química de folha (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Zn, Mn e B) e produtividade realizado no período de 2010 a 2015 com amostragens semestrais. Os talhões foram divididos em duas populações: alta produtividade ($\geq 70\%$ da produtividade máxima) e baixa produtividade ($< 70\%$ da produtividade máxima). Utilizou-se os métodos IBKW, DRIS e PRA para a diagnose do estado nutricional. Foram gerados modelos para estimar os teores de nutriente na folha a partir do IBKW e índice DRIS. Os teores de nutrientes na folha diferiram entre os semestres para todos os nutrientes. As normas utilizadas para IBKW e índice DRIS apresentaram amplitude de 9,35 a 71,56 % do coeficiente de variação. Os teores ótimos estimados pelo IBKW e DRIS apresentaram valores próximos entre si, sendo os teores estimados pelo DRIS levemente inferiores aos estimados pelo IBKW. O equilíbrio nutricional de K, Ca e Mg é agravado em períodos de seca, mesmo tratando de áreas irrigadas. As menores percentagens de talhões balanceados e equilibrados nutricionalmente foram para os nutrientes Ca e B, enquanto Cu foi o nutriente com maior percentagem de talhões balanceados e equilibrados. As normas DRIS e IBKW estão de acordo com a literatura e o coeficiente de variação foram influenciados principalmente pelos micronutrientes. O grau de balanço e equilíbrio nutricional variaram conforme o regime pluviométrico da região. O Ca foi o nutriente mais limitante.

Palavras chaves: Musa spp.; análise foliar; grau de balanço; grau de equilíbrio; DRIS.

1. INTRODUÇÃO

A nutrição vegetal é um dos principais fatores para o aumento da produtividade das culturas. Na fruticultura, cada vez mais, pequenos a grandes produtores tem buscado um adequado manejo nutricional. Junto a isso, vem se popularizando a análise de tecido vegetal como forma de avaliação do estado nutricional da lavoura, sendo mais comum, a diagnose foliar por meio da análise química de folha.

A diagnose foliar além de avaliar o estado nutricional da planta, visa auxiliar nas tomadas de decisões de programas de adubação, evitando prejuízos devido ao manejo nutricional inadequado (Deus et al., 2012; Almeida et al., 2016). Além disso, a adubação realizada como base na diagnose foliar contribui para o uso mais racional de fertilizantes, reduzindo o seu excesso, melhorando a qualidade das culturas e minimizando os impactos ambientais (Fernández-Escobar et al., 2009).

Existem diversos métodos para a interpretação dos resultados de análise química de plantas, desde os tradicionais como Nível Crítico (NC) e Faixas de Suficiência (FS), que avaliam o nutriente individualmente, até a abordagem multivariada como a Diagnose da Composição Nutricional (CND). Sendo preconizados, métodos que favorecem um diagnóstico nutricional prático e eficiente (Partelli et al., 2005).

Para a obtenção de altas produtividades é preciso que os nutrientes na planta estejam em quantidades e proporções adequadas. Portanto, para melhor avaliação é necessário o uso de métodos que contemplem tanto o balanço como o equilíbrio nutricional. Dessa forma, o uso de dois ou mais métodos possibilitam melhor diagnóstico, visto a complementariedade que os métodos de diagnose nutricional apresentam (Blanco-Macías et al., 2010; Almeida et al., 2016).

Nesse contexto, os métodos de Índices Balanceados de Kenworthy (IBKW) (Kenworthy, 1961) e o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) (Beaufils, 1973) são indicados para a avaliação do balanço e equilíbrio nutricional respectivamente. Além do Potencial de Resposta à Adubação (PRA) desenvolvido por Wadt (1996) para auxiliar na interpretação dos índices DRIS classificando o estado nutricional em cinco classes (Wadt et al., 2012).

Outro ponto importante é a obtenção de normas específicas e regionais para cada cultura, levando em consideração o nível tecnológico e sistemas de cultivo. Com os avanços e constantes mudanças na agricultura, faz-se necessário atualizações nas

normas e maior regionalização de forma a permitir o monitoramento mais adequado do estado nutricional (Rocha et al., 2007; Gott et al., 2014).

Normas genéricas podem ser usadas por apresentar aplicações mais amplas sem prejuízo à acurácia dos diagnósticos (Wadt e Dias, 2012), entretanto, devido nem sempre ser possível a universalidade das normas, como também, sua dependência variar de acordo com critérios adotados para avaliação, alguns autores sugerem o uso de normas específicas e regionais (Silva et al., 2005; Partelli et al., 2006; Rocha et al., 2007; Gott et al., 2014).

Com base no exposto, o objetivo do trabalho foi obtenção de normas e diagnóstico do estado nutricional de talhões de bananeira fertirrigada no estado do Ceará, além de avaliar a variação sazonal do estado nutricional quanto ao grau de balanço e de equilíbrio.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na empresa Sítio Barreiras Fruticultura LTDA, localizada no município de Missão Velha - Ceará, coordenadas geográficas de 7° 35' 90" S e 39° 21' 17" W, com altitude aproximada de 442 m.

O clima da região é do tipo Aw – clima tropical com estação seca no inverno e chuvas concentradas no verão (Köppen-Geiger). Dados de precipitação, umidade relativa e temperaturas máximas e mínimas são aprestandas na tabela 1.

Tabela 1. Dados climáticos obtidos do período de janeiro de 2010 a dezembro de 2015.

Mês	Precipitação	Temperatura Máxima	Temperatura Mínima	Umidade Relativa
	--- mm ---	----- °C -----		--- % ---
Janeiro	168,88	33,04	21,01	74,72
Fevereiro	176,10	32,37	21,06	82,86
Março	281,43	32,17	21,13	82,92
Abril	174,58	31,71	20,92	84,07
Mai	77,28	31,76	20,51	78,11
Junho	41,20	31,27	19,62	73,98
Julho	11,92	31,39	19,31	69,96
Agosto	1,80	32,93	18,93	61,57
Setembro	0,48	34,61	19,60	56,38
Outubro	45,98	35,21	21,08	58,44
Novembro	35,52	34,65	21,50	63,24
Dezembro	70,68	33,99	21,52	66,81

Fonte: Estação 82784/Barbalha – CE (Latitude: -7° 31'; Longitude: -39° 29'; Altitude de 409,03 m) dados médios obtidos no período de 01/01/2010 a 31/12/2015 (INMET, 2016).

2.1. Banco de dados

Foram avaliadas 756 amostras oriundas do levantamento da análise química de folha e produtividade realizada no período de 2010 a 2015 (Fig. 1), com amostragens em julho e dezembro, correspondendo ao primeiro e segundo semestre, respectivamente, de 66 talhões de bananeira fertirrigada com área média de 3,26 ha.

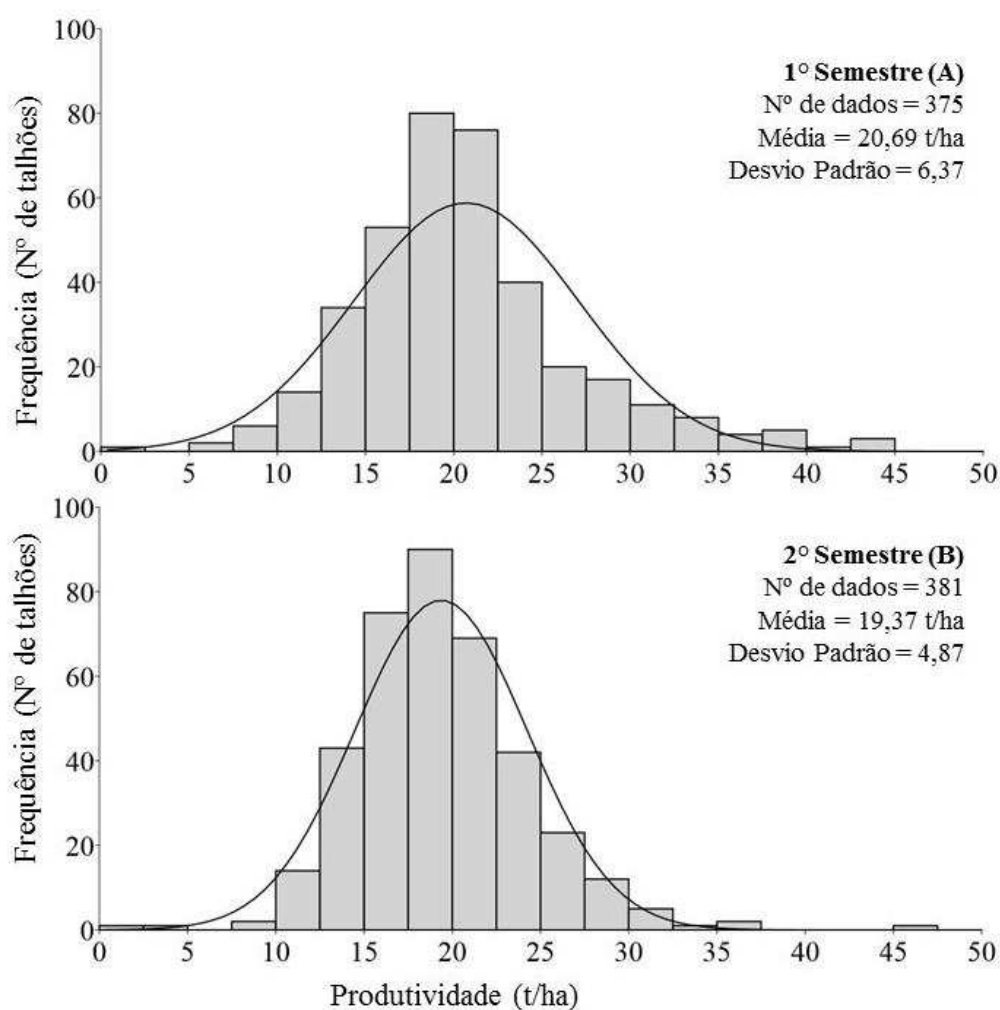


Figura 1. Histograma de distribuição e curva normal da produtividade semestral de talhões fertirrigados de bananeira da variedade Prata de 2010 a 2015

Na amostragem, coletou-se de 10 a 15 cm da parte interna mediana do limbo foliar, descartando a nervura central da terceira folha a partir do ápice conforme recomendado para bananeira (Martin-Prével, 1984). Para as análises de tecido vegetal realizou-se secagem, moagem, mineralização e análises utilizando métodos de rotina para obtenção dos teores de macro e micronutrientes. Sendo realizada digestão sulfúrica (N), digestão nítrico-perclórico (P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Zn e Mn) e digestão

seca (B). Para determinação de N total (destilação pelo método Kjeldahl), P e B (colorimetria), K (fotometria de emissão de chama), S (turbidimetria) e Ca, Mg, Cu, Fe, Zn e Mn (espectrofotometria de absorção atômica).

A produtividade foi obtida em kg/ha por semestre para melhor relacionar a produtividade com as análises químicas semestrais de folhas, e permitir comparações dos talhões nas estações com chuva e sem chuva (Fig. 2). Utilizou-se a produtividade relativa com base na produtividade máxima física de 47 396 kg/ha por semestre.

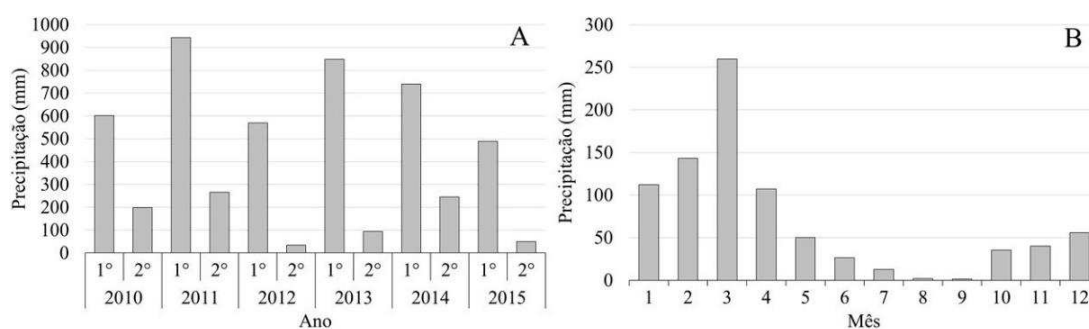


Figura 2. Precipitação pluviométrica semestral ao longo do período de avaliação (A) e precipitação média mensal do período de 2010 a 2015 (B). Fonte: FUNCEME (2016)

2.2. Diagnóstico do estado nutricional

Inicialmente os talhões foram divididos em duas populações, a de referência, ou seja, alta produtividade ($\geq 70\%$ da produtividade máxima) e baixa produtividade ($< 70\%$ da produtividade máxima), sendo obtido um total de 24 talhões de alta produtividade de uma população de 756.

Para a diagnose do estado nutricional foram utilizados os métodos Índices Balanceados de Kenworthy - IBKW (Kenworthy, 1961) que avalia o grau de balanço, Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação – DRIS (Beaufils, 1973) que avalia o grau de equilíbrio, além do Potencial de Resposta à Adubação – PRA (Wadt, 1996) que define classes de probabilidade de resposta à adubação.

2.3. Índices Balanceados de Kenworthy (IBKW)

A partir da população de referência foram obtidas a média e a variabilidade dos teores foliares de nutrientes referente às normas, sendo em seguida, calculado os índices-padrão, por meio da proporção entre o teor do nutriente na amostra e o teor padrão (P), influência da variação (I) e coeficiente de variação (CV), sendo todos

expressos em percentagem (Kurihara, 2004). Para a obtenção do IBKW, utilizou as seguintes equações:

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

$$I = \frac{CV (y_i - \bar{Y})}{\bar{Y}} \quad (\text{Eq. 2})$$

$$IBKW = P - I \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que,

P = proporção (%) entre o teor do nutriente na amostra (y_i) e o teor padrão (\bar{Y});

I = influência da variação (%);

CV = coeficiente de variação (%) do teor do nutriente na população de referência;

IBKW = Índice balanceado de Kenworthy.

Após a determinação do IBKW, os valores foram interpretados considerando os limites das classes de suficiência: deficiente ($IBKW < 50 \%$); tendência a suficiente ($50 \leq IBKW < 83 \%$); suficiente ($83 \leq IBKW < 100 \%$); alta ($100 \leq IBKW < 117 \%$); tendência a excessiva ($117 \leq IBKW < 150 \%$) e excessiva ($IBKW \geq 150 \%$).

2.4. Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação (DRIS)

A partir da população de referência foram obtidas as normas (médias e o desvio-padrão) dos teores dos nutrientes e as relações duais entre os nutrientes transformando-as em variáveis normais reduzidas (z) conforme Jones (1981), sendo utilizada a seguinte equação:

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

Em que,

A/B = relação dual entre os teores dos nutrientes A e B no talhão sob diagnóstico;

a/b = média das relações duais entre os teores dos nutrientes A e B na população de referência;

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

$z (A/B)$ = afastamento estudentizado entre o valor da relação dual dos nutrientes A e B na lavoura sob diagnóstico (A/B) e a média do valor da relação dual entre os nutrientes A e B da população de referência (a/b), expresso em unidades de desvio padrão.

O índice DRIS foi obtido por meio da média aritmética dos afastamentos estudentizados nas suas formas direta (A/B) e inversa (B/A), conforme Alvarez V. e Leite (1999):

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

Em que,

IA = índice DRIS para o nutriente A;

z = média dos afastamentos estudentizados nas formas direta $[z(A/B)]$ e inversa $[z(B/A)]$;

n = número de afastamentos estudentizados.

Em seguida, foi determinado o Índice de Equilíbrio Nutricional médio (IENm) que é a soma dos valores absoluto dos índices DRIS dividido pelo número de nutrientes avaliados (Eq. 6), sendo este, utilizado como critério para obtenção do PRA.

$$IENm = [|A| + |B| + |C| + \dots + |N|] / n \quad (\text{Eq. 6})$$

Em que,

$|A| + |B| + |C| + \dots + |N|$ = valores dos índices DRIS para cada nutriente, em módulo;

n = número de nutrientes avaliados.

Após a determinação dos índices DRIS, os valores foram interpretados considerando os limites das classes de suficiência: deficiente ($DRIS < -1,33$); tendência a suficiente ($-1,33 \leq DRIS < -0,66$); suficiente ($-0,66 \leq DRIS < 0$); alto ($0 \leq DRIS < 0,66$); tendência a excessivo ($0,66 \leq DRIS < 1,33$) e excessivo ($DRIS \geq 1,33$).

2.5. Potencial de Resposta à Adubação (PRA)

Com base nos valores dos Índices DRIS e IBNm, os nutrientes foram classificados e interpretados em cinco classes de estado nutricional: deficiente (resposta positiva, com alta probabilidade); provavelmente deficiente (resposta positiva, com baixa probabilidade); equilíbrio (resposta nula); provavelmente em excesso (resposta negativa, com baixa probabilidade) e excesso (resposta negativa, com alta probabilidade) utilizando-se os critérios do potencial de resposta à adubação (Wadt, 2005).

2.6. Análise dos dados

Os dados de produtividade relativa, teores de macro e micronutrientes, e índices DRIS e IBKW foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. Para o teste de média dos índices DRIS, devido os valores positivos e negativos, todos os dados foram transformados ($x + 10 =$ valor positivo) para que apresentassem valores positivos.

Para as normas, foram obtidos os valores médios, desvio padrão e coeficiente de variação dos teores e relações duais dos talhões de alta produtividade ($\geq 70\%$ da produtividade máxima).

Com os valores de IBKW e índice DRIS foram gerados modelos de predição para estimar os teores de nutriente na folha, além da obtenção dos teores ótimo na folha quanto ao balanço (IBKW = 100) e equilíbrio (DRIS = 0). Foram determinados ainda as frequências de talhões para as diferentes classes de IBKW, DRIS e PRA e comparadas entre os semestres.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produtividade média relativa dos talhões não diferiu entre semestres, com exceção dos anos 2010 e 2012. Enquanto, no período avaliado houve diferença apenas entre os anos de 2010 e 2013 (Tabela 2). Utilizando como base o ano de 2010 que diferiu em ambos dos cenários (semestre e ao longo dos anos), podemos sugerir que em parte essas diferenças tiveram relação com a pluviosidade, apresentando neste ano precipitação acumulada de 800 mm (terceira menor no período avaliado), entretanto, demonstra também a complexidade deste tipo de avaliação, pois no ano de 2015 teve a menor precipitação 539 mm e não foi observado diferença para nenhum dos cenários. Além disso, a área em estudo utiliza irrigação durante todo o ano, reduzindo a dependência e influência das chuvas sobre a produtividade.

Em experimento realizado na Chapada do Apodi com plantios comerciais irrigados de bananeira Pacovan Apodi, constatou-se forte influência da irrigação sobre a produtividade e características de produção (Costa et al., 2009a). Esta região que está localizada também no estado do Ceará, se assemelha a área em estudo pela ocorrência de irregularidades na precipitação ao longo do ano.

A irrigação é uma técnica que viabiliza e permite a expansão da bananicultura em regiões semiáridas, onde há elevada evapotranspiração e as chuvas são mal distribuídas ao longo do ano (Figueiredo et al., 2006; Barbosa et al., 2013).

Os teores de nutrientes na folha apresentaram diferenças significativas entre os semestres para todos os nutrientes, observando-se de forma geral maiores valores dos teores nas amostras foliares do primeiro semestre (Tabela 2). Os teores de Mn e N foram menos sensíveis a variações entre os semestres, enquanto os de Mg e Zn foram mais sensíveis. Em relação as variações dos teores ao longo dos anos, houve diferença

significativa para todos os nutrientes, sendo a única exceção o Mn no segundo semestre.

Tabela 2. Produtividade relativa e teores de macro e micronutrientes em folhas de bananeira Prata fertirrigada no estado do Ceará no período de 2010 a 2015 por semestre.

		2010	2011	2012	2013	2014	2015
		-----%-----					
PROD. ¹	A ²	50,44 aA	39,99 aB	46,17 aAB	41,07 aB	43,12 aB	42,32 aB
	B ³	38,98 bB	40,30 aAB	39,18 bAB	44,22 aA	41,61 aAB	40,77 aAB
		-----g kg ⁻¹ -----					
N	A	21,18 aBC	22,09 bAB	21,66 aBC	20,68 aC	22,65 aA	21,18 bBC
	B	20,90 aC	23,15 aA	21,77 aB	21,10 aC	21,08 bC	22,30 aB
P	A	1,99 aA	1,75 aBC	1,66 aCD	1,64 aCD	1,81 aB	1,61 bD
	B	1,72 bA	1,65 bAB	1,59 bB	1,63 aAB	1,45 bC	1,71 aA
K	A	30,99 aCD	36,61 aB	29,56 aD	32,92 aC	43,75 aA	37,40 aB
	B	28,23 bC	27,77 bCD	25,42 bD	28,37 bC	30,90 bB	37,00 aA
Ca	A	6,81 aBC	6,11 aCD	6,80 aBC	9,01 aA	7,29 aB	5,95 bD
	B	5,33 bD	6,17 aBC	6,93 aA	6,68 bAB	5,85 bCD	7,02 aA
Mg	A	3,02 aA	2,75 aB	2,49 aC	2,73 aB	2,57 aBC	2,23 bD
	B	2,41 bA	2,40 bA	2,36 bA	2,32 bA	2,02 bB	2,41 aA
S	A	1,61 aA	1,63 aA	1,55 bA	1,55 aA	1,54 aA	1,42 bB
	B	1,49 bBC	1,49 bBC	2,18 aA	1,87 aAB	1,38 bC	1,60 aBC
		-----mg kg ⁻¹ -----					
Cu	A	7,51 aA	5,85 aB	4,82 bC	5,50 aBC	5,52 aBC	4,78 bC
	B	6,40 bB	6,12 aB	13,14 aA	8,83 aAB	4,89 bB	5,41 aB
Fe	A	78,03 aB	65,54 aCD	60,54 aD	86,92 aA	68,06 aC	63,05 bCD
	B	63,66 bAB	62,51 bAB	60,58 aB	65,95 bAB	60,88 bB	66,98 aA
Zn	A	18,79 aAB	19,82 aA	17,59 bB	19,40 aA	17,32 aB	15,53 aC
	B	15,61 bC	17,64 bB	22,49 aA	13,36 bD	12,01 bD	14,92 bC
Mn	A	175,47 aA	163,09 aAB	144,76 aAB	147,20 aAB	121,44 aB	126,50 aAB
	B	133,17 bA	127,35 aA	127,10 aA	131,95 aA	140,38 aA	156,22 aA
B	A	8,49 aC	8,20 bC	4,77 bD	9,93 aC	11,84 aB	18,45 aA
	B	6,71 bD	13,92 aA	0,47 aC	9,56 aC	12,24 aB	10,40 bC

Médias seguidas de letras iguais, minúscula na coluna (semestre) e maiúscula na linha (ano), não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. ¹PROD. = produtividade de frutos obtido em %, referente a produtividade máxima obtida de 47 396 kg/ha por semestre; ²A = dados referentes ao primeiro semestre (n° 375); ³B = dados referentes ao segundo semestre (n° 381).

Avaliando a época de amostragem para a cultura da banana, Maia (2012) concluiu que a melhor época varia de acordo com o nutriente, e ocorre no momento em que a relação entre taxa de crescimento relativo da massa de matéria seca e da absorção do nutriente for igual a 1. Segundo Lima et al. (2007) a época mais apropriada para diagnosticar os teores de macronutrientes em folhas de aceroleira no estado do Ceará, ocorre no mês de dezembro, período menos influenciado por falta ou excesso de chuva. Além disso, a ciclagem dos nutrientes tem forte dependência do estágio de desenvolvimento da planta e, conseqüentemente, talhões de diferentes idades têm diferenças na dinâmica de ciclagem de nutrientes, refletindo no estado nutricional da planta (Wadt et al., 1999).

Dessa forma, observa-se que não apenas o regime pluviométrico da região, mas qualquer fator que venha influenciar a disponibilidade, transporte e absorção do nutriente no solo, como também transporte e redistribuição de nutrientes na planta vão influenciar os teores foliares. Devido a isso, é essencial padronizar amostragem de folhas de forma a garantir o correto diagnóstico do estado nutricional da planta (Maia, 2012).

As normas utilizadas para obtenção dos IBKW e índice DRIS apresentaram amplitude no CV de 9,35 a 71,56 % para N e Mn, respectivamente, porém, apesar dessa variação apenas os micronutrientes Mn (71,56 %), Cu (54,32 %) e B (46,52 %) tiveram o CV acima de 30 % (Tabela 3). Amplitudes semelhantes foram obtidas por Silva e Carvalho (2006) para população de referência em bananeira Prata Anã irrigada no Norte de Minas Gerais, que apresentou CV com amplitude de 11,2 a 80,9 % para N e Mn, respectivamente. Assim como no presente trabalho, os micronutrientes foram responsáveis pelo aumento na amplitude do CV com valores de (80,9 %) Mn, (53,4 %) Cu e (36,2 %) Fe.

Referente às normas, foram obtidas 110 relações duais com amplitude no CV de 7,35 a 93,97 % para (S/P) e (Mn/B), respectivamente. Amplitudes semelhantes foram obtidos em Minas Gerais de 13,77 a 82,94 % (Silva e Carvalho, 2006) e, em São Paulo de 8,9 a 70,4 % para bananeiras do subgrupo Cavendish (Teixeira et al., 2007). Em todos os casos, os altos valores de CV das relações duais estão associados aos micronutrientes, principalmente Mn.

No Pará, foram estabelecidas normas DRIS para coqueiro (Saldanha et al., 2015), observando-se também influência dos micronutrientes Fe, B e Cu, sobre a amplitude do CV. Entretanto, estes autores sugerem o uso de normas com valores de CV abaixo de 30 %, favorecendo que as relações duais apresentem distribuição normal.

Resultados semelhantes em relação a amplitude do CV associada aos micronutrientes foram observadas para outras frutíferas perenes, como: café (Partelli et al., 2006); coqueiro-anão (Santos et al., 2004); cupuaçu (Dias et al., 2010); maçã (Nachtigall e Dechen, 2007). Dessa forma, apesar da variação obtida, as normas geradas no presente estudo podem ser consideradas adequadas para a cultura, pois é comum os micronutrientes proporcionarem altos valores de CV nas relações duais.

Tabela 3. Valores de referências (normas) de teores foliares de nutrientes e suas relações duais em bananeira Prata fertirrigada no período de 2010 a 2015 para obtenção dos métodos Kenworthy e DRIS.

Norma	\bar{y}	s	CV(%)	Norma	\bar{y}	s	CV(%)	Norma	\bar{y}	s	CV(%)	Norma	\bar{y}	s	CV(%)
N	21,58	2,02	9,35	K/N	1,70	0,25	14,46	S/N	0,07	0,01	10,33	Zn/N	0,79	0,15	19,23
P	1,70	0,25	14,42	K/P	21,75	3,42	15,71	S/P	0,93	0,07	7,35	Zn/P	10,05	1,93	19,22
K	36,81	6,64	18,04	K/Ca	4,37	0,98	22,38	S/K	0,04	0,01	15,03	Zn/K	0,47	0,12	25,34
Ca	8,72	1,98	22,66	K/Mg	13,86	2,48	17,88	S/Ca	0,19	0,03	14,76	Zn/Ca	2,01	0,43	21,46
Mg	2,69	0,44	16,25	K/S	23,36	3,59	15,39	S/Mg	0,59	0,06	10,44	Zn/Mg	6,38	1,19	18,72
S	1,58	0,21	12,99	K/Cu	6,99	2,03	29,11	S/Cu	0,30	0,08	26,59	Zn/S	10,79	1,96	18,17
Cu	5,92	3,22	54,32	K/Fe	0,56	0,13	23,00	S/Fe	0,02	0,00	16,06	Zn/Cu	3,27	1,08	33,08
Fe	67,64	11,58	17,13	K/Zn	2,25	0,59	26,11	S/Zn	0,10	0,02	18,66	Zn/Fe	0,26	0,06	22,02
Zn	17,05	3,66	21,47	K/Mn	0,37	0,24	65,41	S/Mn	0,02	0,01	65,41	Zn/Mn	0,18	0,14	76,49
Mn	152,53	109,15	71,56	K/B	5,07	2,77	54,60	S/B	0,23	0,14	61,13	Zn/B	2,48	1,69	67,92
B	9,34	4,35	46,52	Ca/N	0,40	0,08	19,79	Cu/N	0,28	0,15	55,94	Mn/N	7,14	5,04	70,63
N/P	12,83	1,57	12,23	Ca/P	5,14	1,09	21,22	Cu/P	3,46	1,69	48,97	Mn/P	94,41	76,53	81,06
N/K	0,60	0,08	13,32	Ca/K	0,24	0,06	25,32	Cu/K	0,16	0,08	50,56	Mn/K	4,26	3,10	72,71
N/Ca	2,57	0,47	18,47	Ca/Mg	3,24	0,52	16,11	Cu/Ca	0,69	0,31	44,75	Mn/Ca	19,56	16,69	85,35
N/Mg	8,16	1,11	13,62	Ca/S	5,49	0,98	17,78	Cu/Mg	2,23	1,14	51,38	Mn/Mg	60,89	49,65	81,54
N/S	13,76	1,37	9,93	Ca/Cu	1,67	0,63	37,55	Cu/S	3,73	1,84	49,36	Mn/S	99,79	75,80	75,96
N/Cu	4,14	1,16	27,92	Ca/Fe	0,13	0,02	18,81	Cu/Fe	0,09	0,05	54,02	Mn/Cu	28,06	20,48	73,00
N/Fe	0,33	0,05	16,82	Ca/Zn	0,53	0,14	26,66	Cu/Zn	0,37	0,26	70,46	Mn/Fe	2,27	1,53	67,62
N/Zn	1,31	0,27	20,35	Ca/Mn	0,09	0,07	75,67	Cu/Mn	0,06	0,04	75,00	Mn/Zn	9,80	8,49	86,61
N/Mn	0,22	0,14	64,98	Ca/B	1,23	0,75	60,66	Cu/B	0,83	0,58	70,07	Mn/B	21,86	20,54	93,97
N/B	3,04	1,74	57,38	Mg/N	0,12	0,02	12,90	Fe/N	3,16	0,58	18,46	B/N	0,43	0,19	45,39
P/N	0,08	0,01	13,23	Mg/P	1,59	0,19	12,24	Fe/P	40,41	9,39	23,23	B/P	5,56	2,75	49,49
P/K	0,05	0,01	16,98	Mg/K	0,07	0,01	18,22	Fe/K	1,89	0,46	24,49	B/K	0,25	0,11	45,35
P/Ca	0,20	0,03	16,99	Mg/Ca	0,32	0,05	15,51	Fe/Ca	8,05	2,15	26,66	B/Ca	1,12	0,61	54,41
P/Mg	0,64	0,07	11,71	Mg/S	1,70	0,17	10,12	Fe/Mg	25,65	6,05	23,59	B/Mg	3,56	1,88	52,93
P/S	1,08	0,08	7,46	Mg/Cu	0,51	0,16	30,22	Fe/S	43,27	8,87	20,51	B/S	5,97	2,94	49,31
P/Cu	0,32	0,08	24,57	Mg/Fe	0,04	0,01	16,93	Fe/Cu	12,95	4,12	31,84	B/Cu	1,81	1,09	60,00
P/Fe	0,03	0,00	17,27	Mg/Zn	0,16	0,03	19,38	Fe/Zn	4,15	1,29	31,16	B/Fe	0,14	0,08	53,18
P/Zn	0,10	0,02	18,89	Mg/Mn	0,03	0,02	69,86	Fe/Mn	0,69	0,49	71,77	B/Zn	0,58	0,32	55,72
P/Mn	0,02	0,01	63,91	Mg/B	0,38	0,22	57,25	Fe/B	9,68	5,89	60,86	B/Mn	0,09	0,08	82,41
P/B	0,24	0,15	61,32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Norma = teores e relações duais da população de referência ($\geq 70,0\%$ da produtividade máxima), os teores de N, P, K, Ca, Mg e S são expressos em g/kg, e Cu, Fe, Zn, Mn e B em mg/kg; \bar{y} = média de teores e relações duais de nutrientes na folha diagnóstico; s = desvio padrão; CV = coeficiente de variação; Dados extraídos de 24 talhões de bananeira de alta produtividade denominado de população de referência.

Todos os nutrientes apresentaram diferenças significativas na média de balanço e equilíbrio para o primeiro e o segundo semestre (Tabela 4). Sendo as únicas exceções, P e Mn para equilíbrio (DRIS), e N para o balanço (IBKW).

Em relação ao balanço nutricional, no primeiro semestre as médias dos IBKW ficaram dentro de duas faixas: suficiente ($83 \leq \text{IBKW} < 100$) para K, Ca, Mg, S, Cu e Mn, e alta ($100 \leq \text{IBKW} < 117$) para N, P, Fe, Zn e B. Já no segundo semestre, além dessas duas faixas, houve uma terceira, tendência a suficiente ($50 \leq \text{IBKW} < 83$) apenas para Ca com 78,83 % em média, evidenciando que está ocorrendo para alguns talhões suprimento de Ca abaixo do exigido pela planta.

Quanto ao equilíbrio nutricional, no primeiro semestre, os nutrientes K, Mg, S e Mn ficaram, em média, dentro da faixa de suficiente ou em equilíbrio ($-0,66 \leq \text{DRIS} < 0$), enquanto, N, P, Cu, Fe, Zn e B ficaram na classe de suficiência alta ($0 \leq \text{DRIS} < 0,66$), diferente dos demais, Ca ficou dentro da classe tendência a suficiente ($-1,33 \leq \text{DRIS} < -0,66$).

No segundo semestre, N, P, Cu, Fe, Zn e B ficaram na classe de suficiência alta (Tabela 4), S na classe tendência a excesso ($0,66 \leq \text{DRIS} < 1,33$), K e Ca na classe tendência a suficiente. Os únicos nutrientes em equilíbrio foram Mg e Mn. Sendo observado que além de Ca, começa a ocorrer problemas de ordem nutricional com K, em desequilíbrio por deficiência, e para S, em desequilíbrio por excesso, no período do ano de menor ocorrência de chuvas.

Tabela 4. Médias dos índices balanceados de Kenworthy e índices DRIS semestrais para talhões de bananeira Prata fertirrigada no estado do Ceará do período de 2010 a 2015.

	IBKW ¹		IDRIS ²	
	S-A ³	S-B ⁴	S-A	S-B
N	100,02 a	100,52 a	0,13 b	0,56 a
P	101,59 a	95,94 b	0,25 a	0,15 a
K	96,86 a	84,17 b	-0,11 a	-0,76 b
Ca	84,78 a	78,83 b	-0,96 a	-1,17 b
Mg	97,75 a	88,34 b	-0,03 a	-0,43 b
S	98,05 b	104,41 a	-0,02 b	0,70 a
Cu	97,61 b	111,57 a	0,02 b	0,50 a
Fe	103,53 a	94,87 b	0,26 a	0,03 b
Zn	104,57 a	94,91 b	0,36 a	0,02 b
Mn	98,66 a	96,97 a	-0,13 a	-0,09 a
B	106,15 a	106,88 a	0,22 b	0,49 a

Médias seguidas de letras iguais na linha (semestre), não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade; ¹IBKW = índice balanceado de Kenworthy, em %; ²DRIS = índice DRIS, em unidade de desvio padrão; ³S-A = dados referentes ao primeiro semestre (n° 375); ⁴S-B = dados referentes ao segundo semestre (n° 381).

Essa tendência a excesso de S observada pelo DRIS e alta pelo IBKW no segundo semestre, pode ser atribuída a presença de sulfato na água de irrigação. Os talhões em estudo provém de áreas irrigadas com água oriunda de aquífero, cujo levantamento do DNPM (1996) apresentou maior concentração de sulfato na água em relação ao cloreto, atribuindo-se ao escoamento e infiltração da água de chuva que lixivia o sulfato para o aquífero devido a presença de camadas de gipsita na bacia sedimentar.

Portanto, espera-se que no primeiro semestre as chuvas favoreçam a lixiviação de sulfato ao longo do perfil, diminuindo a disponibilidade na região de maior absorção pelas raízes, e favorecendo maior concentração de S no aquífero, enquanto, no segundo semestre, devido a poucas chuvas, é utilizada maior quantidade de água do aquífero para irrigação contribuindo para maior acúmulo de S nas camadas superficiais aumentando a absorção pelas raízes e conseqüentemente o teor na planta, sendo que nesse período, o sulfato está menos propício a lixiviação.

Diferentemente do S, K apresentou tendência a suficiente (DRIS) para o segundo semestre, estando esse fato relacionado ao fluxo difusivo, principal meio de transporte de K do solo até as raízes (Rosolem et al., 2003). A difusão de K é altamente dependente do conteúdo de água no solo, devido à redução da tortuosidade e aumento do fator de impedância que facilita o fluxo difusivo de K e, conseqüentemente a absorção pelas raízes (Oliveira et al., 2004; Costa et al., 2009b). Já no período seco, a espessura do filme de água nos poros do solo tende a diminuir, reduzindo o fluxo difusivo devido ao aumento da tortuosidade.

Os modelos de estimativa de teores de macro e micronutrientes na folha variaram quanto a capacidade preditiva para IBKW e DRIS (Tabela 5), sendo observado maiores valores de coeficiente de determinação para o IBKW. Apesar dessas diferenças, os teores ótimos estimados por ambos dos modelos para cada nutriente utilizando valor de $x = 100\%$ para IBKW e valor de $x = 0$ para DRIS, apresentaram valores muito próximos (Fig. 3).

Em estudos semelhantes com a cultura do milho (Gott et al., 2014) e em laranja-pera (Camacho et al., 2012), foram obtidos coeficientes de determinação semelhantes ao presente trabalho para IBKW e DRIS, respectivamente.

Para todos os nutrientes foi observado um padrão quanto aos teores ótimos estimados por meio dos índices DRIS, sendo o valor desses teores levemente inferiores ao estimado pelo IBKW (Fig. 3). Dessa forma, tem-se um intervalo nos teores ótimos

foliares quanto ao balanço e equilíbrio nutricional, sendo para os macronutrientes: 21,2 a 21,6; 1,6 a 1,7; 35,0 a 36,8; 8,2 a 8,7; 2,6 a 2,7 e 1,5 a 1,6 g/kg para N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente, e para os micronutrientes: 5,4 a 5,9; 64,2 a 67,7; 16,0 a 17,0 148,7 a 152,5 e 8,3 a 9,3 mg/kg para Cu; Fe; Zn; Mn e B, respectivamente.

Tabela 5. Modelos de predição para teores de macro e micronutrientes na folha em função dos índices balanceados de Kenworthy e índices DRIS para bananeira Prata fertirrigada no estado do Ceará.

		Modelo	R ²	Amplitude	Nº
N	IBKW	$\hat{Y} = -2,2271 + 0,2381*x$	0,99	$\forall 73,2 \leq x \leq 122,7 \%$	756
	DRIS	$\hat{Y} = 21,228 + 1,2869*x$	0,27	$\forall -1,8 \leq x \leq 2,6$	733
P	IBKW	$\hat{Y} = -0,2872 + 0,0199*x$	0,99	$\forall 49,6 \leq x \leq 160,1 \%$	756
	DRIS	$\hat{Y} = 1,62 + 0,25*x$	0,45	$\forall -2,1 \leq x \leq 3,4$	740
K	IBKW	$\hat{Y} = -8,101 + 0,4491*x$	0,99	$\forall 48,8 \leq x \leq 150,5 \%$	756
	DRIS	$\hat{Y} = 35,027 + 5,9488*x$	0,75	$\forall -4,3 \leq x \leq 2,3$	740
Ca	IBKW	$\hat{Y} = -2,5543 + 0,1127*x$	0,99	$\forall 45,7 \leq x \leq 146,9 \%$	756
	DRIS	$\hat{Y} = 8,1665 + 1,4456*x$	0,77	$\forall -4,2 \leq x \leq 2,0$	743
Mg	IBKW	$\hat{Y} = -0,5221 + 0,0321*x$	0,99	$\forall 41,1 \leq x \leq 143,8 \%$	756
	DRIS	$\hat{Y} = 2,5622 + 0,4575*x$	0,63	$\forall -2,4 \leq x \leq 1,7$	730
S	IBKW	$\hat{Y} = -0,2364 + 0,0182*x$	0,99	$\forall 51,5 \leq x \leq 188,8 \%$	746
	DRIS	$\hat{Y} = 1,4966 + 0,1641*x$	0,23	$\forall -1,4 \leq x \leq 1,4$	710
Cu	IBKW	$\hat{Y} = -7,041 + 0,1296*x$	0,99	$\forall 69,0 \leq x \leq 194,0 \%$	730
	DRIS	$\hat{Y} = 5,3525 + 2,5007*x$	0,76	$\forall -1,4 \leq x \leq 1,9$	721
Fe	IBKW	$\hat{Y} = -13,965 + 0,8161*x$	0,99	$\forall 52,2 \leq x \leq 145,5 \%$	749
	DRIS	$\hat{Y} = 64,217 + 14,982*x$	0,60	$\forall -1,4 \leq x \leq 2,0$	727
Zn	IBKW	$\hat{Y} = -4,659 + 0,217*x$	0,99	$\forall 55,1 \leq x \leq 185,5 \%$	753
	DRIS	$\hat{Y} = 16,039 + 4,3511*x$	0,75	$\forall -1,7 \leq x \leq 1,9$	729
Mn	IBKW	$\hat{Y} = -383,76 + 5,3629*x$	0,99	$\forall 74,9 \leq x \leq 190,7 \%$	756
	DRIS	$\hat{Y} = 148,67 + 93,664*x$	0,83	$\forall -2,5 \leq x \leq 2,0$	741
B	IBKW	$\hat{Y} = -8,1254 + 0,1747*x$	0,99	$\forall 53,5 \leq x \leq 177,6 \%$	751
	DRIS	$\hat{Y} = 8,3476 + 5,5984*x$	0,91	$\forall -1,3 \leq x \leq 2,3$	726

IBKW = índice balanceado de Kenworthy, em %; DRIS = índice DRIS, em unidades de desvio-padrão (s); Nº = número de pares de dados para ajuste do modelo; * indica (p < 0,001).

Na literatura as faixas de suficiência para a grande maioria das culturas são amplas e gerais, porém, em plantios mais tecnificados é necessário utilizar como referência faixas específicas que contemplem diferenças de cultivar, clima, região dentre outros. Por exemplo, os intervalos ótimos de P, K e Mg obtidos no presente estudo para os macronutrientes estão dentro da faixa adequada descrita para cultura da

banana (Natale e Rodrigues, 2006), porém, N, Ca e S não estão, mesmo se tratando de faixas amplas.

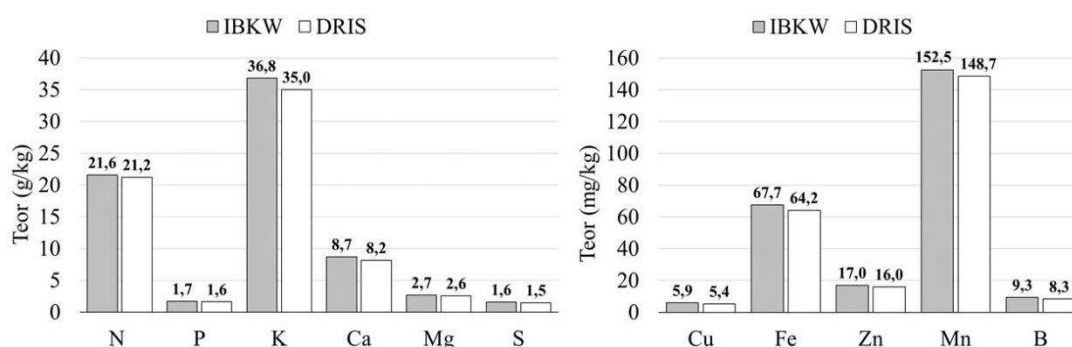


Figura 3. Teores ótimos para macro e micronutriente na folha da bananeira Prata obtidos pelo IBKW e DRIS.

Os teores ótimos de P, Mg, Cu e Zn obtidos neste estudo encontram-se dentro das faixas de suficiência estabelecidas por Borges e Silva (2012) para bananeira Prata-Anã, enquanto, N, K, Ca, S, Fe, Mn e B não estão. No caso da variedade Pacovan assim como a Prata pertence ao sub-grupo AAB, os valores ótimos obtidos neste trabalho ficaram fora da faixa adequada (Borges e Silva, 2012).

Dessa forma, reforça-se a necessidade de estabelecer faixas específicas de teores de nutrientes em sistemas de plantios que visam o aumento de produtividade no tocante ao manejo nutricional.

Com os resultados do IBKW, é possível ter ideia do estado nutricional dos talhões de forma quantitativa, sendo observado que mais de 75 % dos talhões no período de 2010 a 2015 encontram-se nas classes de suficiência ($83 \leq \text{IBKW} < 100$ %) e alto ($100 \leq \text{IBKW} < 117$ %) para a maioria dos nutrientes, sendo N, P, S, Cu e Fe em ambos dos semestres, e K, Mg e Zn apenas no primeiro semestre (Tabela 6). Para essas mesmas classes, Mn e B variaram, entre os semestres, de 55,73 a 61,42 % e 41,34 a 69,29 %, respectivamente. O Ca, foi o nutriente quantitativamente mais limitante com 41,33 % dos talhões no primeiro semestre, e 30,97 % no segundo.

Este resultado para Ca é reforçado quando observada a faixa tendência a suficiente, onde foram obtidas maiores percentagens de talhões com 55,47 e 67,98 % em relação às demais classes para o primeiro e segundo semestre, respectivamente.

A percentagem de talhões dentro da faixa suficiente variou de 28,53 (Ca) a 66,67 % (Cu) para o primeiro semestre, e 24,93 (Ca) a 65,09 % (P) no segundo semestre. No primeiro semestre, dos 11 nutrientes avaliados, 6 estão com a maioria

dos talhões na classe de tendência a suficiente ($83 \leq \text{IBKW} < 100 \%$), e para o segundo semestre 7 nutrientes, sendo inclusive observada uma tendência no aumento de talhões nessa classe para o segundo semestre, com exceção apenas K, Ca e Cu.

Em relação a K, pode-se observar expressivo aumento na porcentagem de talhões na classe de tendência a suficiência no primeiro semestre de 13,87 % para o segundo de 44,88 %, inclusive com redução na classe suficiente de 48,00 para 42,52 %, evidenciando possível influência do período chuvoso e seco sobre o grau de balanço deste nutriente.

Tabela 6. Frequência de talhões de bananeira Prata fertirrigada para classes de Índice Balanceado de Kenworthy para o primeiro e segundo semestre no período de 2010 a 2015.

IBKW ¹	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Mn	B
S-A ²	----- Frequência ⁴ (%) -----										
D	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TS	2,13	2,40	13,87	55,47	9,60	4,00	3,20	2,13	3,47	26,67	28,00
S	47,20	64,00	48,00	28,53	41,60	50,67	66,67	50,40	39,47	36,00	21,07
A	47,47	22,13	27,73	12,80	42,13	40,80	21,60	34,40	41,33	19,73	20,27
TE	3,20	10,67	10,40	3,20	6,40	3,47	8,00	11,47	14,67	16,00	17,87
E	0,00	0,80	0,00	0,00	0,00	1,07	0,53	1,60	1,07	1,60	12,80
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
S-B ³	----- Frequência (%) -----										
D	0,00	0,79	0,26	0,79	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TS	0,00	8,14	44,88	67,98	30,97	7,09	7,87	14,44	27,03	24,15	6,82
S	49,08	65,09	42,52	24,93	53,54	58,01	58,79	57,48	46,72	45,41	27,03
A	50,66	23,36	12,07	6,04	15,22	25,72	21,00	21,26	13,65	16,01	42,26
TE	0,26	2,62	0,00	0,26	0,00	3,67	3,15	6,56	10,50	13,39	21,26
E	0,00	0,00	0,26	0,00	0,00	5,51	9,19	0,26	2,10	1,05	2,62
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

¹IBKW = classes de suficiência para Índice Balanceado de Kenworthy (D = deficiente, $\text{IBKW} < 50 \%$; TS = tendência a suficiente, $50 \leq \text{IBKW} < 83 \%$; S = suficiente, $83 \leq \text{IBKW} < 100 \%$; A = alto, $100 \leq \text{IBKW} < 117 \%$; TE = tendência a excessivo, $117 \leq \text{IBKW} < 150 \%$; E = excessivo, $\text{IBKW} \geq 150 \%$); ²S-A = primeiro semestre; ³S-B = segundo semestre; ⁴Frequência = frequência de talhões em porcentagem para cada classe IBKW, sendo os dados extraídos de uma população de 375 e 381 talhões comerciais para o primeiro e segundo semestre, respectivamente, no período de 2010 a 2015.

A absorção de nutrientes pelas plantas está diretamente relacionada à disponibilidade dos nutrientes e conteúdo de água solo (Almeida et al., 2002). A difusão é o principal mecanismo de transporte de K até a raiz, sendo altamente dependente do conteúdo de água no solo, sendo reduzida em períodos de restrição hídrica (Rosolem et al., 2003; Oliveira et al., 2004). Portanto, pode-se atribuir em parte, esse aumento na porcentagem de talhões no segundo semestre na classe tendência a suficiente e redução nas classes suficiente e alto em função do regime pluviométrico da região.

Em relação ao equilíbrio nutricional, para todos os nutrientes com exceção de Ca, apresentaram maior percentagem de talhões nas classes suficiente ($-0,66 \leq \text{DRIS} < 0$) e alto ($0 \leq \text{DRIS} < 0,66$), tanto no primeiro como no segundo semestre, ou seja, para a maioria dos talhões a nutrição está entre equilibrada e alta (Tabela 7).

Assim como obtido no IBKW, o Ca foi o nutriente mais limitante, estando desequilibrado por deficiência, inclusive se consideramos a percentagem de talhões nas classes deficiente ($\text{DRIS} < -1,33$) e tendência a suficiente ($-1,33 \leq \text{DRIS} < -0,66$), verifica-se para o primeiro e segundo semestre um total de 61,60 e 74,54 % dos talhões, respectivamente. Dessa forma, constata-se como recomendação inicial corrigir a necessidade nutricional de Ca para esses talhões.

Tabela 7. Frequência de talhões de bananeira Prata fertirrigada para classes de Índice DRIS para o primeiro e segundo semestre no período de 2010 a 2015.

DRIS ¹	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Mn	B
S-A ²	----- Frequência ⁴ (%) -----										
D	1,60	0,80	6,67	34,93	3,47	0,53	0,27	0,00	0,53	16,27	4,00
TS	9,33	2,67	18,93	26,67	14,40	10,13	8,53	1,60	3,20	13,60	14,13
S	32,27	31,47	26,67	21,87	33,60	41,07	40,80	36,53	22,40	19,73	22,93
A	37,60	38,66	29,07	12,53	33,60	40,80	37,60	40,54	42,40	28,80	30,14
TE	14,13	21,33	15,73	2,93	13,33	5,60	12,27	18,40	29,07	17,33	12,80
E	5,07	5,07	2,93	1,07	1,60	1,87	0,53	2,93	2,40	4,27	16,00
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
S-B ³	----- Frequência (%) -----										
D	2,20	3,95	23,72	36,48	9,46	0,00	0,26	3,67	3,25	8,40	0,00
TS	1,15	6,40	22,40	38,06	24,77	3,41	7,45	6,04	14,27	17,06	0,89
S	17,70	25,97	29,20	15,22	34,87	25,22	29,09	34,05	38,13	25,55	17,53
A	38,33	41,43	21,79	6,04	26,87	51,69	46,38	42,01	23,24	27,47	43,67
TE	24,77	15,85	2,89	3,94	3,77	11,02	5,53	12,39	14,97	17,85	32,65
E	15,85	6,40	0,00	0,26	0,26	8,66	11,29	1,84	6,14	3,67	5,26
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

¹DRIS = classes de suficiência para Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação (D = deficiente, $\text{DRIS} < -1,33$; TS = tendência a suficiente, $-1,33 \leq \text{DRIS} < -0,66$; S = suficiente, $-0,66 \leq \text{DRIS} < 0$; A = Alto, $0 \leq \text{DRIS} < 0,66$; TE = tendência a excessivo, $0,66 \leq \text{DRIS} < 1,33$; E = excessivo, $\text{DRIS} \geq 1,33$); ²S-A = primeiro semestre; ³S-B = segundo semestre; ⁴Frequência = frequência de talhões em percentagem para cada classe DRIS, sendo os dados extraídos de uma população de 375 e 381 talhões comerciais para o primeiro e segundo semestre, respectivamente, no período de 2010 a 2015.

A percentagem de talhões dentro da faixa suficiente reduziu do primeiro para o segundo semestre para os nutrientes N, P, Ca, S, Cu, Fe e B (Tabela 7), diferente de K, Mg, Zn e Mn em que foi observado aumento.

Para as classes deficiente e tendência a suficiente, observou-se para K, Ca e Mg aumento na percentagem de talhões no primeiro para o segundo semestre, além destes nutrientes serem os que possuem maior percentagem de talhões dentro destas

classes. Entretanto, para esses mesmos nutrientes, foram observadas reduções na percentagem de talhões na classe de suficiência alta, demonstrando a influência que as estações de chuva e seca tem sobre o equilíbrio nutricional.

Com os resultados observados pelo método DRIS, fica evidente que o equilíbrio nutricional de K, Ca e Mg é agravado em períodos de seca, tendo reflexo sobre a produtividade, como observado para os anos de menor pluviosidade 2010 e 2012, que apresentou redução de produtividade no segundo semestre em comparação com o primeiro (Tabela 2).

É preciso destacar, que mesmo se tratando de áreas irrigadas, em períodos de chuva, espera-se que ocorra aumento na disponibilidade e transporte dos íons K^+ (difusão), Ca^{2+} e Mg^{2+} (fluxo de massa) até as raízes, tendo em vista que esses processos são altamente dependentes do conteúdo de água no solo (Ruiz et al., 1999; Rosolem et al., 2003; Oliveira et al., 2004). Além disso, a disponibilidade e absorção destes íons são influenciadas por suas interações.

Concentrações de K muito elevadas na solução do solo podem reduzir a absorção de Ca e Mg e, conseqüentemente, os teores destes na folha (Fonseca e Meurer, 1997; Andreotti et al., 2000; Silva e Trevizam, 2015). A absorção de K^+ pelas raízes é favorecida, por este ser um íon monovalente com menor grau de hidratação, mesmo Ca^{2+} e Mg^{2+} , serem de forma geral, dominantes do complexo de troca (Oliveira et al., 2001; Prado, 2008). Nesse contexto, Silva e Trevizam (2015) destacam a importância de aprimorar as adubações visando ganhos de produtividades, porém, sem esquecer o equilíbrio entre os íons no sistema solo-planta, que pode vir a ser um fator limitante.

O PRA é um método que auxilia na interpretação dos índices DRIS, por meio da comparação de seus valores em módulos com o IBNm, classificando o estado nutricional em cinco classes de probabilidade de resposta à adubação (Wadt et al., 2012).

A frequência de talhões nas diferentes classes de PRA corroboram e complementam os resultados observados para IBKW e DRIS. A maioria dos talhões encontra-se na classe nula (Z) de resposta à adubação, ou seja, para esses talhões não se espera resposta da planta ao aumento de doses do nutriente, sendo Ca a única exceção para ambos dos semestres (Tabela 8).

Em relação à classe positiva (P), percebe-se, que para a maioria dos nutrientes, menos de 10 % dos talhões apresentam resposta positiva à adubação com

alta probabilidade, com exceção de Ca (45,07 %), K (14,93 %) e Mn (14,93 %) para o primeiro semestre, e Ca (41,99 %), K (24,15 %) e Mg (11,29 %) no segundo semestre.

Com base nesses resultados, fica evidente a necessidade de melhorar o manejo nutricional para os talhões em estudo, inicialmente para o nutriente Ca, que em ambos dos semestres mais de 40 % dos talhões responderia positivamente à adubação, em seguida com K.

Tabela 8. Frequência de talhões de bananeira Prata fertirrigada para classes do Potencial de Resposta à Adubação para o primeiro e segundo semestre no período de 2010 a 2015.

PRA ¹	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Mn	B
S-A ²	----- Frequência ⁴ (%) -----										
P	4,00	0,80	10,13	45,07	7,20	2,93	1,33	0,53	2,13	14,93	10,93
PZ	7,47	5,07	16,80	21,87	12,53	8,80	10,93	3,20	3,20	13,33	10,93
Z	67,73	68,80	53,07	25,60	63,73	78,67	77,60	72,80	61,87	46,13	46,13
NZ	13,33	17,07	12,27	6,40	6,67	6,13	8,27	10,67	16,53	12,80	13,60
N	7,47	8,27	7,73	1,07	9,87	3,47	1,87	12,80	16,27	12,80	18,40
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
S-B ³	----- Frequência (%) -----										
P	0,26	0,79	24,15	41,99	11,29	0,52	3,67	0,79	7,87	8,66	0,00
PZ	2,62	1,84	23,10	31,76	17,59	2,36	8,40	4,72	14,70	14,44	0,00
Z	53,28	71,13	46,72	20,73	66,67	75,33	70,87	76,90	63,25	54,33	57,74
NZ	18,90	12,07	3,15	4,20	3,15	8,92	13,12	9,71	7,35	11,29	29,66
N	24,93	14,17	2,89	1,31	1,31	12,86	3,94	7,87	6,82	11,29	12,60
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

¹PRA = Potencial de Resposta à Adubação (P = positiva; PZ = positiva a nula; Z = nula; NZ = nula a negativa; N = negativa); ²S-A = primeiro semestre; ³S-B = segundo semestre; ⁴Frequência = frequência de talhões em percentagem para cada classe do Potencial de Resposta à Adubação, sendo os dados extraídos de uma população de 375 e 381 talhões comerciais para o primeiro e segundo semestre, respectivamente, no período de 2010 a 2015.

Para talhões com PRA na classe negativa (N), onde a resposta à adubação é negativa com alta probabilidade, caso do B (18,40 %), Zn (16,27 %), Fe (12,80 %) e Mn (12,80 %) no primeiro semestre, e, N (24,93 %), P (14,17 %), S (12,86 %), B (12,60 %) e Mn (11,29 %) no segundo semestre, a quantidade do nutriente aplicada para estes talhões não está sendo convertida em produtividade, podendo, portanto ser dispensada.

Fazendo uma avaliação conjunta dos talhões balanceados ($83 \leq \text{IBKW} < 100$ %) e equilibrados ($-0,66 \leq \text{IDRIS} < 0$) nutricionalmente, observa-se uma variação de 10,0 a 38,7 % dos talhões (Fig. 4) para B e Cu, respectivamente. Os nutrientes Ca e B foram os mais limitantes por apresentar menos de 15 % dos talhões balanceados e equilibrados, enquanto, Cu foi apresentado mais de 25 % dos talhões balanceados e equilibrados em ambos os semestres.

Os nutrientes Cu, P e Fe apresentaram maior percentagem de talhões balanceados e equilibrados no primeiro semestre, enquanto Cu, Zn, Fe e Mn tiveram maior percentagem no segundo semestre.

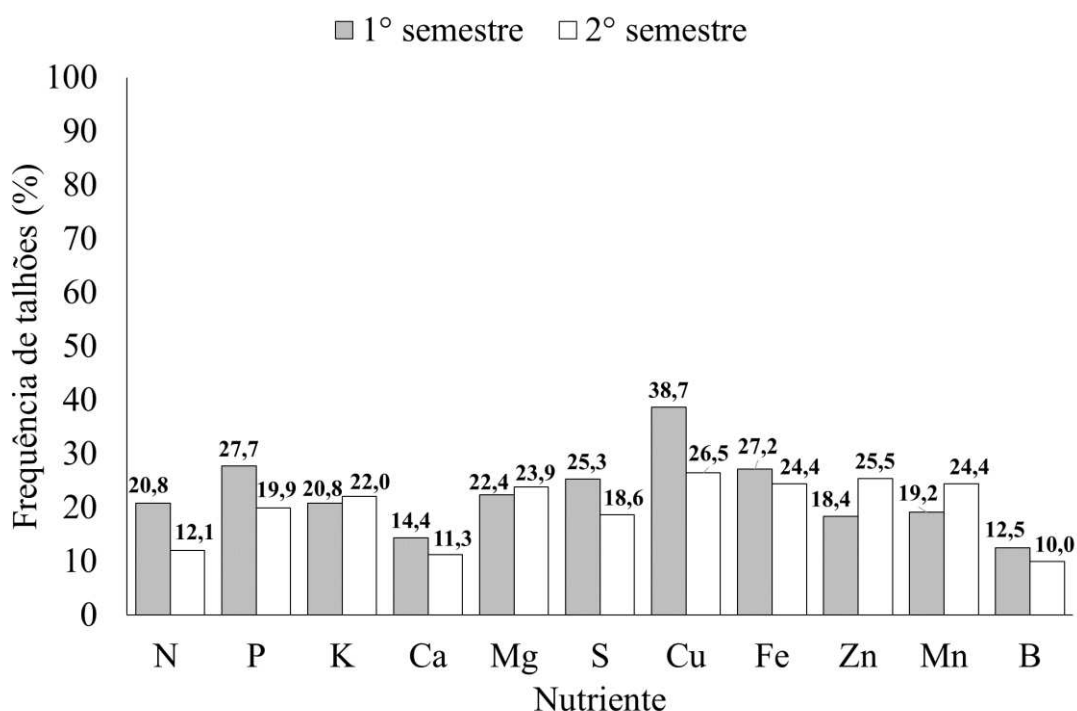


Figura 4. Talhões de bananeira Prata fertirrigada que estão com a nutrição balanceada ($83 \leq \text{IBKW} < 100$ %) e equilibrada ($-0,66 \leq \text{DRIS} < 0$) para o primeiro e segundo semestre no período de 2010 a 2015.

4. CONCLUSÕES

Os teores de micronutrientes influenciam a variação das normas DRIS e IBKW.

O regime pluviométrico da região influencia o grau de balanço e equilíbrio nutricional da bananeira ao longo do ano.

O Ca é o nutriente mais limitante pelo IBKW e DRIS na região estudada.

Os índices DRIS e IBKW podem ser usados para estimar teores ótimos na folha com valores próximos entre si.

5. REFERÊNCIAS

Almeida, E. I. B., Deus, J. A. L., Corrêa, M. C. M., Crisóstomo, L. A., Neves, J. C. L., 2016. Linha de fronteira e chance matemática na determinação do estado nutricional de pitaia. *Revista Ciência Agronômica*, 47(4), 744-754. doi:10.5935/1806-6690.20160089

Almeida, F. T., Bernardo, S., Marinho, C. S., Marin, S. L. D., Sousa, E. F., 2002.

Teores de nutrientes do mamoeiro 'Improved Sunrise Solo 72/12' sob diferentes lâminas de irrigação, no Norte Fluminense. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 24(2), 547-551. doi:10.1590/S0100-29452002000200053

Alvarez, V., V. H., Leite, R. A., 1999. Fundamentos estatísticos das fórmulas usadas para cálculos dos índices DRIS. *Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, 24(1), 20-25.

Andreotti, M., Souza, E. C. A., Crusciol, C. A. C., Rodrigues, J. D., Büll, L. T., 2000. Produção de matéria seca e absorção de nutrientes pelo milho em razão da saturação por bases e da adubação potássica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35(12), 2437-2446. doi:10.1590/S0100-204X2000001200015

Barbosa, F. E. L., Lacerda, C. F., Feitosa, H. O., Soares, I., Andrade Filho, F. L., Amorim, A. V., 2013. Crescimento, nutrição e produção da bananeira associados a plantas de cobertura e lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(12), 1271-1277. doi:10.1590/S1415-43662013001200004

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

Blanco-Macías, F., Magallanes-Quintanar, R., Valdez-Cepeda, R. D., Vázquez-Alvarado, R., Olivares-Sáenz, E., Gutiérrez-Ornelas, E., Vidales-Contreras, J. A., Murillo-Amador, B., 2010. Nutritional reference values for *Opuntia ficus-indica* determined by means of the boundary-line approach. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 173(6), 927-934. doi:10.1002/jpln.200900147

Borges, A. L., Silva, J. T. A., 2012. Diagnose foliar na cultura da banana. In: Prado, R. M. (Ed.), *Nutrição de Plantas: diagnose foliar em frutíferas*. FCAV/CAPES/FAPESP/CNPq, Jaboticabal, pp. 199-226.

Camacho, M. A., Silveira, M. V., Camargo, R. A., Natale, W., 2012. Faixas normais de nutrientes pelos métodos ChM, DRIS e CND e nível crítico pelo método de distribuição normal reduzida para laranjeira-pera. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36(1), 193-200. doi:10.1590/S0100-06832012000100020

Costa, S. C., Soares, A. A., Sedyama, G. C., Viana, T. V. A., Moreira, F. V. O., 2009a. Comportamento dos parâmetros indicativos de produção da bananeira Pacovan submetida a diferentes lâminas de irrigação e doses de potássio na Chapada do Apodi – Limoeiro do Norte-CE. *Revista Caatinga*, 22(4), 46-52.

Costa, J. P. V., Barros, Nairam, F., Bastos, A. L., Albuquerque, A. W., 2009b. Fluxo difusivo de potássio em solos sob diferentes níveis de umidade e de compactação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13(1), 56-62. doi:10.1590/S1415-43662009000100008

Dias, J. R. M., Perez, D. V., Silva, L. M., Lemos, C. O., Wadt, P. G. S., 2010. Normas DRIS para cupuaçuzeiro cultivado em monocultivo e em sistemas agroflorestais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45(1), 64-71. doi:10.1590/S0100-204X2010000100009

Deus, J. A. L., Barreto, J. H. B., Soares, I., Souza, N. C. S., Sales, J. A. F., Oliveira Filho, J. S., 2012. Chance matemática na determinação do estado nutricional do amendoim. *Bioscience Journal*, 28(3), 351-357.

DNPM (Departamento Nacional da Produção Mineral), 1996. Projeto avaliação hidrogeológica da Bacia Sedimentar do Araripe. Programa Nacional de Estudos dos Distritos Mineiros. Disponível em: <<http://www.dnpm-pe.gov.br/Trabalhos/Araripe.pdf>>. Acesso em: 19 mai. 2016

Fernández-Escobar, R., Parra, M. A., Navarro, C., Arquero, O., 2009. Foliar diagnosis as a guide to olive fertilization. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 7(1), 212-223. doi: 10.5424/sjar/2009071-413

Figueiredo, F. P., Mantovani, E. C., Soares, A. A., Costa, L. C., Ramos, M. M., Oliveira, F. G., 2006. Produtividade e qualidade da banana prata anã, influenciada por lâminas de água, cultivada no Norte de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10(4), 798-803. doi:10.1590/S1415-43662006000400003

Fonseca, J. A., Meurer, E. J., 1997. Inibição da absorção de magnésio pelo potássio em plântulas de milho em solução nutritiva. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 21(1), 47-50.

FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos), 2016. Série histórica de chuvas. Disponível em: <http://www.funceme.br/produtos/script/chuvas/Download_de_series_historicas/downloadHistoricos/postos/91.txt>. Acesso em: 05 mai. 2016.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), 2016. Banco de Dados meteorológicos para Ensino e Pesquisa – Série Histórica – Dados Mensais. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/form_mapas_mensal.php>. Acesso em: 03 mai. 2016.

Gott, R. M., Aquino, L. A., Carvalho, A. M. X., Santos, L. P. D., Nunes, P. H. M. P., Coelho, B. S., 2014. Índices diagnósticos para interpretação de análise foliar do milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(11), 1110-1115. doi:10.1590/1807-1929/agriambi.v18n11p1110-1115

Jones, C. A., 1981. Proposed modifications of the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for interpreting plant analyses. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 12(8), 785–794. doi:10.1080/00103628109367194

Kenworthy, A. L., 1961. Interpreting the balance of nutrient-elements in leaves of fruit trees. In: Reuther, W. (Ed.), *Plant analysis and fertilizers problems*. American Institute of Biological Science, Washington, pp. 28-43.

Kurihara, C. H., 2004. Demanda de nutrientes pela soja e diagnose de seu estado nutricional. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais (Tese de Doutorado)

Lima, R. L. S., Siquira, D. L., Cazetta, J. O., Ferreira, G. B., Weber, O. B., 2007.

Variação sazonal da concentração de macronutrientes em folhas de diferentes genótipos de aceroleira. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 29(3), 652-656. doi:10.1590/S0100-29452007000300043

Maia, C. E., 2012. Época de amostragem foliar para diagnóstico nutricional em bananeira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36(3), 859-864. doi:10.1590/S0100-06832012000300016

Martin-Prével, P., 1984. Bananier. In: Martin-Prével, P., Gagnard, J., Gautier, P. (Eds.), *L'analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales*. Tec & Doc, Paris, pp.715-51.

Nachtigall, G. R., Dechen, A. R., 2007. DRIS norms for evaluating the nutritional state of apple tree. *Scientia Agricola*, 64(3), 282-287. doi:10.1590/S0103-90162007000300011

Natale, W., Rodrigues, M. G. V., 2006. Fertirrigação em Bananeira. In: Boaretto, A. E., Villas Boas, R. L., Souza, W. F., Parra, L. R. V. (Eds.), *Fertirrigação: teoria e prática*. Piracicaba, pp. 396-439.

Oliveira, F. A., Carmello, Q. A. C., Mascarenhas, H. A. A., 2001. Disponibilidade de potássio e suas relações com cálcio e magnésio em soja cultivada em casa-de-vegetação. *Scientia Agricola*, 58(2), 329-335. doi:10.1590/S0103-90162001000200016

Oliveira, R. H., Rosolem, C. A., Trigueiro, R. M., 2004. Importância do fluxo de massa e difusão no suprimento de potássio ao algodoeiro como variável de água e potássio no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28(3), 439-445. doi:10.1590/S0100-06832004000300005

Partelli, F. L., Vieira, H. D., Costa, A. N., 2005. Diagnóstico nutricional em cafeeiro conilon orgânico e convencional no Espírito Santo, utilizando o DRIS. *Ciência Rural*, 35(6), 1456–1460. doi:10.1590/S0103-84782005000600038

Partelli, F. L., Vieira, H. D., Monnerat, P. H., Viana, A. P., 2006. Estabelecimento de normas DRIS em cafeeiro conilon orgânico ou convencional no estado do Espírito Santo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30(3), 443-451. doi:10.1590/S0100-06832006000300006

Prado, R. M., 2008. *Nutrição de Plantas*. 1ª ed., Editora UNESP, São Paulo.

Rocha, A. C., Leandro, W. M., Rocha, A. O., Santana, J. G., Andrade, J. W. S., 2007. Normas DRIS para cultura do milho semeado em espaçamento reduzido na região de Hidrolândia, GO, Brasil. *Bioscience Journal*, v. 23(4), 50–60.

Ruiz, H. A., Miranda, J., Conceição, J. C. S., 1999. Contribuição dos mecanismos de fluxo de massa e de difusão para o suprimento de K, Ca e Mg a plantas de arroz. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 23(4), 1015-1018. doi:10.1590/S0100-06831999000400029

- Rosolem, C. A., Mateus, G. P., Godoy, L. J. G., Feltran, J. C., Brancalião, S. R., 2003. Morfologia radicular e suprimento de potássio às raízes de milho de acordo com a disponibilidade de água e potássio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27(5), 875-884. doi:10.1590/S0100-06832003000500012
- Saldanha, E. C. M., Silva Júnior, M. L., Okumura, R. S., Wadt, Paulo Guilherme S., 2015. Normas DRIS para a cultura do coqueiro híbrido no estado do Pará. *Revista Caatinga*, 28(4), 99-109. doi:10.1590/1983-21252015v28n411rc
- Santos, A. L., Monnerat, P. H., Carvalho, A. J. C., 2004. Estabelecimento de normas DRIS para o diagnóstico nutricional do coqueiro-anão verde na região Norte Fluminense. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 26(2), 330-334. doi:10.1590/S0100-29452004000200035
- Silva, J. T. A., Carvalho, J. G., 2006. Estabelecimento de normas DRIS para bananeira 'Prata Anã' (AAB) sob irrigação. *Ciência e Agrotecnologia*, 30(1), 43-51. doi:10.1590/S1413-70542006000100006
- Silva, G. G. C., Neves, J. C. L., Alvarez V., V. H., Leite, F. P., 2005. Avaliação da universalidade das normas DRIS, M-DRIS e CND. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29(5), 755-761. doi:10.1590/S0100-06832005000500011
- Silva, M. L. S., Trevizam, A. R., 2015. Interações iônicas e seus efeitos na nutrição das plantas. *Informações Agronômicas* n° 149. IPNI - Brasil, Piracicaba, São Paulo.
- Teixeira, L. A. J., Zambrosi, F. C. B., Bettiol Neto, J. E., 2007. Avaliação do estado nutricional de bananeiras do subgrupo Cavendish no estado de São Paulo: normas DRIS e níveis críticos de nutrientes. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 29(3), 613-620. doi:10.1590/S0100-29452007000300037
- Wadt, P. G. S., 1996. Os métodos da chance matemática e do Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação (DRIS) na avaliação nutricional de plantios de eucalipto. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais (Tese de Doutorado)
- Wadt, P. G. S., 2005. Relationships between soil class and nutritional status of coffee plantations. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29(2), 227-234. doi:10.1590/S0100-06832005000200008
- Wadt, P. G. S., Dias, J. R. M., 2012. Normas DRIS regionais e inter-regionais na avaliação nutricional de café Conilon. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47(6), 822-830. doi:10.1590/S0100-204X2012000600013
- Wadt, P. G. S., Dias, J. R. M., Perez, D. V., Lemos, C. O., 2012. Interpretação de índices DRIS para a cultura do cupuaçu. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36(1), 125-135. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000100014>
- Wadt, P. G. S., Novais, R. F., Alvarez, V. H., Barros, N. F., Dias, L. E., 1999. Variations on the nutritional status of eucalypt as influenced by the genetic material and age of tree. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 34(10), 1796-1803. doi:10.1590/S0100-204X1999001000005

CONCLUSÕES GERAIS

Os diferentes órgãos da bananeira possuem comportamentos diferentes no ganho da massa de matéria seca (mMS), sendo necessário modelos de estimativa distintos para cada órgão. Foi observado elevada perda de informação entre os modelos preditivos para cada órgão, demonstrando a necessidade do uso de avaliadores estatísticos para a seleção e classificação de modelos. Porém, para uma adequada interpretação dos resultados, deve-se analisar separadamente critérios estatísticos que utiliza teoria da informação de testes de hipótese.

A partição de nutrientes nos diferentes órgãos da bananeira variou em função da produtividade de frutos, sendo observado maiores acúmulo de N, P, K e Mg no fruto para as maiores produtividades, sugerindo que a bananeira possui um padrão de partição ou “compartimentalização ideal” de nutrientes que promove maiores produtividades. Nos programas de adubação para a cultura é importante considerar os nutrientes presentes nos órgãos da planta que permaneceram na área após a colheita, por ser uma importante fonte de nutrientes, além da planta-filha representar um dreno importante no período da colheita.

A análise foliar é uma ferramenta que pode ser utilizada de forma direta no ajuste de doses dos nutrientes recomendáveis em programas de adubação para bananeira. O método Diagrama de Quadrantes do Relacionamento Planta-Solo (DQRps) possibilita relacionar de forma mais adequada os teores dos nutrientes na folha diagnóstico com os teores no solo, além de identificar, se eventuais limitações na produtividade são de ordens nutricionais ou não nutricionais.

Foi observado uma sazonalidade do estado nutricional da bananeira que teve o balanço e equilíbrio nutricional variando em função do regime pluviométrico da região, mesmo tratando-se de áreas irrigadas. Os teores ótimos de nutriente na folha diagnóstico podem ser estimados pelos índices DRIS e IBKW que apresentaram valores próximos entre si.