

WILLIAN HUGO MENDOZA REYNAGA

**MÉTODO REQUERIMENTO – SUPRIMENTO PARA DETERMINAÇÃO DE
DOSE E COMPOSIÇÃO DO FERTILIZANTE MULTINUTRIENTE PARA
CRESCIMENTO INICIAL DO CAFEIEIRO**

Dissertação 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 *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2017

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

T

M539m
2017

Mendoza Reynaga, Willian Hugo, 1980-
Método requerimento-suprimento para determinação de
dose e composição do fertilizante multinutriente para
crescimento inicial do cafeeiro / Willian Hugo Mendoza
Reynaga. – Viçosa, MG, 2017.
vii, 44f. ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Víctor Hugo Alvarez V..

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.36-39.

1. Cafeeiro. 2. Adubos e fertilizantes. I. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Solos. Programa de
Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas. II. Título.

CDD 22 ed. 633.73

WILLIAN HUGO MENDOZA REYNAGA

MÉTODO REQUERIMENTO – SUPRIMENTO PARA DETERMINAÇÃO DE DOSE E COMPOSIÇÃO DO FERTILIZANTE MULTINUTRIENTE PARA CRESCIMENTO INICIAL DO CAFEIRO

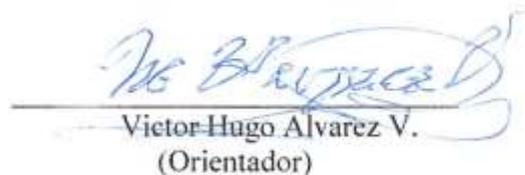
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 25 de maio de 2017.


Hermínia Emília Prieto Martinez


Leonardus Vergütz


Raphael Bragança Alves Fernandes


Victor-Hugo Alvarez V.
(Orientador)

A minha querida família, pela
compreensão carinho e motivação.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa e pelas oportunidade de realizar o curso.

Ao Ministério das Relações Exteriores do Brasil pela bolsa de estudos, outorgada a traves do Programa de Estudante-Convênio de Pós-graduação (PEC-PG).

Ao Prof. Victor Hugo Alvarez V. pela orientação constante, motivação e confiança, pelos ensinamentos transmitidos. Meus mais sincero agradecimento.

Ao Prof. Reinaldo Cantarutti pela crítica e sugestões para a melhoria do projeto.

À Prof.^a Hermínia Emília P. Martinez, ao Prof. Raphael Bragança A. Fernandes e ao Prof. Leonardus Vergütz por aceitarem o convite e participar da banca e pelas contribuições para a melhoria da dissertação.

À todos os Professores do Departamento de Solos/UFV, pela contribuição para minha formação acadêmica.

Aos funcionários do Departamento de Solos, em especial nas pessoas de Carlos Fonseca, Carlinho, e Adriana pelo auxilio no Laboratório de Fertilidade do Solo.

Aos meus amigos Paul Lama e Pedro Mansilla pela motivação de vir ao Brasil.

Aos amigos do DPS Nicolas, Arlindo, Jaqueline, Julia e Josimar pelo convívio e auxilio nas atividades do Laboratório Fertilidade do solo.

Aos amigos em Viçosa Eddie, Demétrio, Diego, Cesar, Henry, Karen, Fabio pelos momentos gratos.

SUMARIO

LISTA DE ABREVIATURAS	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1 INTRODUÇÃO	1
2 MATERIAL E MÉTODOS	4
2.1 Primeira fase do Método Requerimento-Suprimento	4
2.2 Segunda fase do Método Requerimento-Suprimento	4
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	10
4 CONCLUSÕES	35
5 LITERATURA CITADA	36
6 APÊNDICE	40

LISTA DE ABREVIATURAS

Grandezas

m = massa

t = teor

td = teor disponível

d = demanda

tr = taxa de recuperação

c = conteúdo

rq = requerimento

su = suprimento

dr = dose recomendável

qa = quantidade aplicada

nc = nível crítico

Material

MS = matéria seca

Nu_i = nutriente i

Nu_{ik} = nutriente i na dose k

Nu_{i0} = nutriente i na dose 0

Complemento

FMN = Fertilizantes multinutriente

FMN_{-Nui} = Fertilizantes multinutriente com nutriente i faltante

Pl = planta

PA = parte aérea

C_j = compartimento j

F = folha

C = caule

R = raiz

Ex = extrator

Sol = solo

Abk = absorvido pela planta na dose k

$AbFMN_{-Nui}$ = absorvido pela planta no tratamento com nutriente i faltante

Aplic = Aplicação

RESUMO

MENDOZA REYNAGA, Willian Hugo, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2017. **Método Requerimento – Suprimento para determinação de dose e composição do fertilizante multinutriente para crescimento inicial do cafeeiro.** Orientador: Víctor Hugo Álvarez V. Coorientador: Reinaldo Bertola Cantarutti.

O Método Requerimento-Suprimento é uma técnica experimental que permite a recomendação da dose e composição de nutrientes no fertilizante multinutriente (FMN), utilizando os princípios do balanço nutricional. Os objetivos deste trabalho foram avaliar a resposta de doses do FMN, estabelecido pelo Método Requerimento-Suprimento, avaliar os efeitos da omissão de nutrientes; determinar as taxas de recuperação de nutrientes pelos extratores e planta e determinar a dose e composição do novo FMN a ser recomendado para o crescimento inicial do cafeeiro. O método Requerimento-Suprimento compreende duas fases: na primeira, determinou-se a dose e composição do FMN a ser testado e, na segunda, para a otimização do FMN, plantas de café foram submetidas a tratamentos gerados pela matriz experimental fatorial (8 + 8), constituídos de oito doses do FMN e oito tratamentos com nutrientes faltantes. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com quatro repetições. A dose para a produção máxima de matéria seca das plantas encontra-se fora do espaço experimental; a maior limitação nutricional foi pela omissão de macronutrientes, sendo a deficiência de N o mais limitante. Para determinar as taxas de recuperação de nutrientes pelos extratores após cultivo, com dreno solo e planta, a equação modificada é a mais adequada porque considera a absorção de nutriente pela planta. As taxa de recuperação de nutriente pela planta calculadas com a equação modificada, considerando a demanda no tratamento com omissão de nutriente, é a mais adequada porque elimina o efeito da limitação dos demais nutrientes.

ABSTRACT

MENDOZA REYNAGA, Willian Hugo, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa. May, 2017. **Method Requirement - Supply to determine the dose and composition of the multinutrient fertilizer for initial growth of coffee.** Adviser: Víctor Hugo Álvarez V. Co-adviser: Reinaldo Bertola Cantarutti.

The Application-Supply Method is an experimental technique that allows the recommendation of the dose and nutrient composition in the multinutrient fertilizer (FMN), using the principles of nutritional balance. The objectives of this study were to evaluate the dose response of the FMN, established by the Request-Supply Method, to evaluate the effects of the omission of nutrients; determine the rates of nutrient recovery by the extractors and plant and determine the dose and composition of the new FMN to be recommended for the initial growth of the coffee. The requirement-supply method comprises two phases: first, the dose and composition of the FMN to be tested were determined and, in the second, for the optimization of FMN, coffee plants were submitted to treatments generated by the experimental factor matrix (8 + 8), consisting of eight doses of FMN and eight treatments with omission of nutrients. The experimental design was a randomized block design with four replicates. The dose for the maximum production of dry matter of the plants is outside the experimental space; the greatest nutritional limitation was the omission of macronutrients, with N deficiency being the most limiting. To determine the recovery rates of nutrients by extractors after cultivation, with soil and plant drainage, the modified equation is the most adequate because it considers the nutrient absorption by the plant. The plant nutrient recovery rates calculated with the modified equation, considering the demand in the treatment with omission of nutrient, is the most adequate because it eliminates the effect of the limitation of the other nutrients.

1 INTRODUÇÃO

Altas produtividades agrícolas são conseguidas, dentre outros fatores, por meio de uma boa recomendação de fertilizantes. Para isto é importante definir qual nutriente aplicar, qual a dose e a época de aplicação, de forma que os nutrientes estejam em formas disponíveis às plantas em quantidades suficientes e em proporções adequadas durante o ciclo da cultura.

A fertilização de uma cultura deverá passar por um balanço entre o requerimento de nutrientes pela cultura para alcançar determinada produtividade e o suprimento pelo solo e pelos resíduos orgânicos, considerando o critério de sustentabilidade (Novais & Smyth, 1999; Silva et al., 2009); ou seja, da aplicação da Lei da Restituição (Alvarez V. et al., 2014).

A complexidade das relações solo-planta motivou o desenvolvimento da modelagem do balanço nutricional, composto de funções matemáticas que expliquem os processos naturais que determinam a disponibilidade e absorção dos nutrientes (Cantarutti et al., 2007). No Brasil a modelagem baseado no balanço nutricional surgiu com NUTRICALC, desenvolvido para recomendar adubação para a cultura do eucalipto (Barros et al., 1995); e posteriormente com FERTICALC, estabelecido para diversas culturas (Novais & Smyth, 1999; Tomé Junior, 2004). Estes modelos foram desenvolvidos no Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.

A modelagem do FERTICALC permite obter estimativas da produção de matéria seca e o acúmulo de nutrientes nos compartimentos da planta para determinada produtividade, com a finalidade de predizer as necessidades de nutrientes (Kurihara, 2004). Além disso contempla maior número de fatores envolvidos na resposta da cultura às doses e de forma integrada (Oliveira et al., 2005). No entanto uma das características do modelo é mostrar lacunas da pesquisa ou a falta de informações satisfatórias (Novais & Smyth, 1999). Portanto, permite recomendação mais abrangente e passíveis de contínuo aperfeiçoamento, pela fundamentação lógica de sua constituição (Oliveira et al., 2005; Santos et. al., 2008).

A modelagem constata a necessidade de grande quantidade de informação, por conseguinte essa carência de informação permitiu surgir o Método Requerimento-Suprimento. Este método foi proposto por Alvarez V. et al., (2014) como método de pesquisa para recomendação de fertilizantes para culturas novas como plantas

ornamentais, especialmente as flores tropicais. O desenvolvimento do método foi em três tentativas: Orquídea (Santos, 2008), Violeta Africana (Santos, 2011; Matta, 2012)

O Método Requerimento-Suprimento é uma técnica experimental utilizada para a recomendação da dose e da composição de nutrientes no fertilizante multinutriente (FMN) (Alvarez V. et al., 2014), compreendendo duas fases. Na primeira fase determina-se a dose e a composição do FMN utilizando-se os conceitos e métodos do FERTICALC, e consideraram-se o módulo requerimento e o módulo suprimento. A demanda de nutrientes será obtida facilmente da análise de amostras de plantas de qualidade superior, encontradas no comércio. Determinando-se o módulo requerimento com base na demanda e na utilização, inicialmente, de taxas de recuperação de nutrientes pela planta extrapoladas de outras culturas. O módulo suprimento será obtido para sistemas mais homogêneos que os solos, pois se trabalhará com substratos corrigidos; portanto, a recomendação de fertilizantes será para fertilização de manutenção. A dose recomendada de cada nutriente no FMN foi resultado do balanço de requerimento e suprimento. Na segunda fase, para a otimização do FMN, as plantas são submetidas a tratamentos com as doses do FMN e tratamentos com nutrientes faltantes.

O teor disponível no solo indicado na análise química é um índice de disponibilidade e não sua real disponibilidade (Oliveira et al., 2005). Diante disso uma informação importante na modelagem baseada no balanço nutricional é a taxa de recuperação do nutriente pelo extrator, utilizada para estimar a disponibilidade de um nutriente a partir do seu teor disponível no solo. Geralmente, as taxas de recuperação pelos extratores são obtidas em trabalhos de incubação de solos com doses crescentes de nutrientes.

A taxa de recuperação pela planta reflete a eficiência da planta na obtenção do nutriente do fertilizante aplicado no solo, sendo definida como a quantidade de nutriente absorvida por unidade de nutriente aplicado (Craswell & Godwin, 1984). A determinação destas taxas não contempla todos os fatores que influenciam essa variável, como a disponibilidade dos outros nutrientes.

O conhecimento disponível sobre a dinâmica e interação dos nutrientes com o solo e sobre a eficiência de absorção e utilização dos nutrientes pelas plantas, que influencia diretamente a parametrização do modelo, determinam o acerto das recomendações de fertilizantes (Cantarutti et al., 2007).

Diante do exposto, este trabalho teve por objetivo avaliar a resposta de doses do fertilizante multinutriente (FMN), estabelecido pelo Método Requerimento-Suprimento; avaliar os efeitos da omissão de nutrientes; determinar as taxas de recuperação de nutrientes pela planta e extratores e determinar a dose e composição do fertilizante multinutriente (FMN) a ser recomendado para a crescimento inicial do cafeeiro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Procedimento da Técnica Experimental

O Método Requerimento-Suprimento é uma técnica experimental que permite a recomendação da dose e composição dos nutrientes no fertilizante multinutriente (FMN). Este método compreende duas fases, na primeira, se determina a dose e composição do FMN a ser testado, de acordo com o balanço do módulo requerimento e módulo suprimento. Na segunda fase, para a otimização do FMN, as plantas de café foram submetidas aos tratamentos com as doses do FMN e tratamentos com nutrientes faltantes (FMN-Nui).

2.1 Primeira fase do Método Requerimento-Suprimento

Para o crescimento inicial do cafeeiro a dose e composição do FMN testado foi baseada no do trabalho de Ferreira et al., (2015); com os seguintes teores de nutrientes (em %, m/m), 10 N; 6,136 P₂O₅; 2,137 S; 12,791 K₂O; 8,575 Ca; 1,789 Mg; 0,145 B; 0,010 Mo; 0,881 Fe; 0,232 Mn; 0,108 Zn; e 0,100 Cu. A dose recomendada utilizada foi 117,1312 mg/dm³/Aplic do FMN, mas considerando vasos com 4 dm³ de solo, foram utilizados 468,5248 mg/vaso/Aplic do FMN e se realizaram 20 aplicações.

2.2 Segunda fase do Método Requerimento-Suprimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, com sombrite 50 %, com a finalidade de reduzir a temperatura e a luminosidade. Utilizando-se amostra da camada 0-20 cm de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (Quadro 1).

Quadro 1. Caracterização química do solo utilizado

pH ^{1/}	MO	P	S	K	B	Zn	Fe	Mn	Cu	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	Prem
	g/kg	----- mg/dm ³ -----					----- cmol/dm ³ -----			mg/L				
4,45	34,9	1,30	1,20	16,00	0,20	0,72	275,00	39,50	1,58	0,42	0,08	1,40	9,10	10,10

^{1/}Relação solo: água 1:2,5; P, K, Cu, Mn, Fe e Zn - Extrator Mehlich-1; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ - Extrator KCl 1,0 mol/L; H+Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L (pH 7,0); B - água quente; S - Fosfato monocálcico em ácido acético; Prem - Fósforo Remanescente (Alvarez V. et al., 2000). MO - Walkley-Black.

Os tratamentos foram gerados pela matriz experimental fatorial (8 + 8), constituídos de oito tratamentos que correspondem às doses k do FMN: FMN_{0,00}; FMN_{0,10}; FMN_{0,25}; FMN_{0,45}; FMN_{0,75}; FMN_{1,00}; FMN_{1,35} e FMN_{1,75}; sendo a dose k=1,00 a dose recomendada (FMN_{1,00}) e outros oito tratamentos correspondentes à dose recomendada com nutrientes faltantes (FMN-Nui): FMN-N; FMN-P-S; FMN-K; FMN-Ca-Mg; FMN-B-Mo; FMN-Fe-Mn e FMN-Zn-Cu e FMNc; em que a dose FMNc corresponde à dose

recomendada (FMN_{1,00}). O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições. As unidades experimentais (UE) consistiram de vasos com 4 dm³ de solo passado em peneira de 4 mm de malha, com duas plantas de café.

Para a segunda fase do método, três mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) variedade Catuaí foram plantadas na parte central do vaso. No momento do plantio, as raízes das mudas foram lavadas cuidadosamente com água, para remover porções do substrato eventualmente aderidas ao sistema radicular. Após 15 d do transplante, foi retirada uma muda de cada vaso, deixando-se as duas mudas mais uniformes. As mudas foram provenientes do estudo realizado por Ferreira et al. (2015) as quais foram produzidas em saquinhos com 0,5 dm³ de substrato, cultivadas por seis meses e submetidas as doses do FMN e aos tratamentos com nutrientes faltantes (FMN_{-Nui}), mantendo-se os mesmos tratamentos da fase de produção de mudas para este experimento.

Realizou-se 20 aplicações em intervalos de 14 d. Para cada aplicação dos oito tratamentos de doses: FMN_{0,00}; FMN_{0,10}; FMN_{0,25}; FMN_{0,45}; FMN_{0,75}; FMN_{1,00}; FMN_{1,35} e FMN_{1,75}; foram realizadas duas diluições, a primeira 5,8566 g/L do FMN (FMN fluido) e, a segunda, para a aplicação, alíquotas de 0, 8, 20, 36, 56, 80, 108 e 140 mL (FMN fluido) e diluídos até 140 mL de solução para aplicação por unidade experimental. A aplicação das doses do FMN implica aplicação de doses variáveis de nutrientes. Para aplicar os tratamentos com nutrientes faltantes (FMN_{-Nui}), foi realizada uma diluição de 3,3464 g/L do FMN_{-Nui}, e aplicado uma alíquota de 140 mL por unidade experimental (Quadro 2). A aplicação foi na superfície dos vasos.

Durante a etapa de crescimento das plantas adicionou-se ao solo diariamente água deionizada, suficiente para manter a umidade em torno de 80 % da capacidade de campo. Cada vaso tinha um prato para evitar drenagem livre. A partir do sexto mês depois do plantio até final do experimento, foi feito o rodízio dos vasos concomitantemente com as aplicações do FMN dentro de cada bloco.

Ao final do experimento, após 290 d, as plantas foram colhidas e divididas em folhas, caule e raiz, e secas em estufa a 65 °C até atingirem massa constante. Foram determinadas as produções de matéria seca de folha (*mMS_F*), de caule (*mMS_C*), de raiz (*mMS_R*), e da planta (*mMS_Pl*). Posteriormente, a matéria seca de folha e de caule foram moídas para a determinação dos teores totais de P, S, K, Ca, Mg, B, Mo, Fe, Mn, Zn e Cu foram submetidas à digestão nítrico-perclórica (3,5:1 v/v) e dosados por

espectrofotometria de emissão ótica em plasma induzido (ICP-OES). O teor de N foi determinado pelo método Kjeldahl.

Quadro 2. Quantidades de nutrientes aplicadas em cada tratamento de doses do FMN e nos tratamentos com nutrientes faltantes (FMN_{-Nui})

Dose FMN ⁽³⁾	Aliq ⁽¹⁾ FMNd ⁽⁴⁾	Nutriente ⁽²⁾											
		N	P	S	K	Ca	Mg	B	Mo	Fe	Mn	Zn	Cu
	mL	mg/vaso/Aplic											
FMN _{0,00}	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FMN _{0,10}	8	4,69	1,26	1,00	4,97	4,02	0,84	0,07	0,00	0,41	0,11	0,05	0,05
FMN _{0,25}	20	11,71	3,14	2,50	12,43	10,04	2,10	0,17	0,01	1,03	0,27	0,13	0,12
FMN _{0,45}	36	21,08	5,65	4,51	22,38	18,08	3,77	0,31	0,02	1,86	0,49	0,23	0,21
FMN _{0,70}	56	32,80	8,79	7,01	34,81	28,12	5,87	0,48	0,03	2,89	0,76	0,35	0,33
FMN _{1,00}	80	46,85	12,55	10,01	49,73	40,18	8,38	0,68	0,05	4,13	1,09	0,51	0,47
FMN _{1,35}	108	63,25	16,94	13,52	67,13	54,24	11,32	0,92	0,06	5,57	1,47	0,68	0,63
FMN _{1,75}	140	81,99	21,97	17,52	87,03	70,31	14,67	1,19	0,08	7,22	1,91	0,89	0,82
FMN _{-Nui} ⁽³⁾	FMNd ⁽⁴⁾	N	P	S	K	Ca	Mg	B	Mo	Fe	Mn	Zn	Cu
	mL	mg/vaso/Aplic											
FMN _{-N}	140	-	12,55	10,01	49,73	40,18	8,38	0,68	0,05	4,13	1,09	0,51	0,47
FMN _{-P-S}	140	46,85	-	-	49,73	40,18	8,38	0,68	0,05	4,13	1,09	0,51	0,47
FMN _{-K}	140	46,85	12,55	10,01	-	40,18	8,38	0,68	0,05	4,13	1,09	0,51	0,47
FMN _{-Ca-Mg}	140	46,85	12,55	10,01	49,73	-	-	0,68	0,05	4,13	1,09	0,51	0,47
FMN _{-B-Mo}	140	46,85	12,55	10,01	49,73	40,18	8,38	-	-	4,13	1,09	0,51	0,47
FMN _{-Fe-Mn}	140	46,85	12,55	10,01	49,73	40,18	8,38	0,68	0,05	-	-	0,51	0,47
FMN _{-Zn-Cu}	140	46,85	12,55	10,01	49,73	40,18	8,38	0,68	0,05	4,13	1,09	-	-
FMN _C	140	46,85	12,55	10,01	49,73	40,18	8,38	0,68	0,05	4,13	1,09	0,51	0,47

⁽¹⁾ Alíquotas usadas do FMN diluído, em função das doses e diluído até 140 mL de solução para aplicação por unidade experimental (4 dm³ de solo). ⁽²⁾ A quantidade de cada nutriente refere-se a uma aplicação por vaso; e foram 20 aplicações. ⁽³⁾ Dose recomendada, 468,5 mg/vaso/Aplic de FMN_{1,00} e FMN_{-Nui} continha, em % (m/m), 10 N; 6,136 P₂O₅; 2,137 S; 12,791 K₂O; 8,575 Ca; 1,789 Mg; 0,145 B; 0,010 Mo; 0,108 Fe; 0,233 Mn; Zn; 0,081; 0,100 Cu. ⁽⁴⁾ Para os tratamentos das doses o FMN diluído foi preparado a partir de um FMN fluido concentrado e para tratamentos com nutriente faltante cada um tinha seu FMN_{-Nui} fluido concentrado.

Após a colheita das plantas, foi retirada uma amostra de solo de cada unidade experimental. Os teores disponíveis no solo de P, K, Cu, Mn, Fe e Zn foram determinados pelos extratores Mehlich-1 (Mehlich, 1953) e Mehlich-3 (Mehlich, 1984). Os teores trocáveis de Ca²⁺ e Mg²⁺ foram determinados com KCl 1 mol/L. Para o S disponível utilizou-se o extrator fosfato monocálcico em ácido acético (Alvarez V. et. al., 2001) e o B foi extraído com água quente.

Foram calculados os conteúdos de nutrientes a partir da massa de matéria seca e dos teores totais de nutrientes em cada compartimento utilizando-se a equação 1. A soma do conteúdo de nutriente na folha (cNui_F) e do conteúdo de nutriente no caule (cNui_C), forneceu a demanda de nutriente na parte aérea (dNui_PA).

$$cNu_i_{C_j} = mMS_{C_j} \times ttNu_i_{C_j} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

$cNu_i_{C_j}$ = conteúdo do nutriente i no compartimento j em mg/pl.

mMS_{C_j} = massa de matéria seca no compartimento j em g/pl.

$ttNu_i_{C_j}$ = teor total do nutriente i no compartimento j em g/kg para macronutriente e mg/kg para micronutriente.

Os dados das variáveis de resposta foram submetidos à análise de variância. Também foram ajustadas equações de regressão para as variáveis de resposta em função das doses do FMN. Os modelos de regressão selecionados foram aqueles que, além de possuírem coeficiente de regressão significativos até o nível de 10 % de probabilidade, apresentassem o maior coeficiente de determinação ajustado. As análises de regressão foram realizadas com auxílio do software Sigma Plot 12,5. O efeito dos tratamentos com nutrientes faltantes (FMN_{-N_{ui}}) nas variáveis de resposta foram desdobrados em sete contrastes ortogonais e em sete contrastes adicionais, considerando-se o nível de significância de 10 %. A equação de regressão para produção de matéria seca das plantas (mMS_{PI}) em função das doses do FMN foi utilizada para a determinação da dose de máxima produção física. Pela substituição da dose para maior produção nas equações de regressão que relacionavam os teores de nutrientes no solo e na folha com as doses do FMN, foram obtidos os níveis críticos deste nutriente no solo e na folha.

Para o cálculo das taxas de recuperação dos extratores ($trNu_i_{Ex}$), foram ajustadas equações dos teores disponíveis de nutrientes no solo em função das doses do FMN. Os nutrientes com ajuste lineal a $trNu_i_{Ex}$ é a declividade da reta e para os nutrientes com ajuste quadrático foi estimada a taxa diferencial de recuperação pelo extrator para o intervalo entre a dose 0 e a dose $k_{>}$ para maior produção. Esta forma de cálculo é válida para determinar a taxa após incubação, sem efeito de cultivo de acordo com a equação:

$$trNu_i_{Ex}^{(1)} = (tdNu_{ik_{>}} - tdNu_{i0}) / qaNu_{ik_{>}} \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

$trNu_i_{Ex}^{(1)}$, = taxa de recuperação do nutriente i pelo extrator, em mg/dm³ / mg/dm³.

$tdNu_{ik_{>}}$ = teor disponível de nutrientes i no solo na dose $k_{>}$ do FMN, em mg/dm³.

$tdNu_i0$ = teor disponível do nutriente i no solo na dose 0, em mg/dm^3 .

$qaNu_ik>$ = quantidade aplicada do nutriente i na dose $k>$ do FMN, em mg/dm^3 .

Além disso, calculou-se a $trNu_i_{Ex}^{(2)}$ modificada para determinar quando o cálculo é feito após cultivo, considerando a absorção pela plantas na equação, e utilizando o teor disponível no tratamento com nutriente faltante; assim determinando-se a real declividade da reta (demonstração da modificação da equação em apêndice 3). Portanto a equação modificada é:

$$trNu_i_{Ex}^{(2)} = (tdNu_ik> - tdNu_i_{FMN-Nui}) / qaNu_ik> - (dNu_ik> - dNu_i_{FMN-Nui}) \quad (Eq. 3)$$

Em que:

$trNu_i_{Ex}^{(2)}$ = taxa de recuperação do nutriente i pelo extrator, em $mg/dm^3 / mg/dm^3$.

$tdNu_ik>$ = teor disponível de nutrientes i no solo na dose $k>$ do FMN, em mg/dm^3 .

$tdNu_i_{FMN-Nui}$ = teor disponível de nutrientes i no tratamento com nutriente i faltante.

$qaNu_ik>$ = quantidade aplicada do nutriente i na dose $k>$ do FMN, em mg/dm^3 .

$dNu_ik>$ = demanda do nutriente i pela parte aérea na dose $k>$ do FMN, em mg/pl .

$dNu_i_{FMN-Nui}$ = demanda do nutriente i pela parte aérea no tratamento com nutriente i faltante (FMN-Nui), em mg/pl .

Para determinar a taxa de recuperação de nutriente pela parte aérea da planta ($trNu_i_{PA}$) foram ajustadas equações de regressão da demanda do nutriente i da parte aérea (dNu_i_{PA}) em função da dose k do FMN e foram estimadas as demandas de nutriente nas doses 0 e $k>$ para maior produção. Portanto, a $trNu_i_{PA}$ foi determinado pela seguinte expressão (Craswell & Godwin, 1984):

$$trNu_i_{PA}^{(1)} = (dNu_ik> - dNu_i0) / qaNu_ik> \quad Eq. 4$$

Além disso, determinou-se a $trNu_i_{PA}^{(2)}$ modificada a partir da equação proposta por (Craswell & Godwin, 1984) e modificada por Alvarez V. et al., (2014), substitui a demanda de nutriente na dose 0 (dNu_i0) pela demanda do tratamento com o nutriente faltante em estudo ($dNu_i_{FMN-Nui}$). Portanto, a fórmula modificada ficaria sendo:

$$trNu_i_PA^{(2)} = (dNu_{i;k_>} - dNu_{i_FMN_Nui}) / qaNu_{i;k_>} \quad (\text{Eq. 5})$$

Em que:

$trNu_i_PA^{(1),(2)}$ = taxa de recuperação do nutriente i pela parte aérea da planta, em mg/pl/mg/pl.

$dNu_{i;k_>}$ = demanda do nutriente i pela parte aérea na dose $k_>$ do FMN, em mg/pl.

$dNu_{i;0}$ = demanda do nutriente i pela parte aérea na dose 0, em mg/pl.

$dNu_{i_FMN_Nui}$ = demanda do nutriente i pela parte aérea da planta no tratamento com nutriente i faltante (FMN- N_{ui}), em mg/pl.

$qaNu_{i;k_>}$ = quantidade aplicada do nutriente i na dose $k_>$ do FMN, em mg/pl.

Para determinar a dose e a composição do novo fertilizantes realizou-se o balanço do requerimento e suprimento a partir dos dados gerados na segunda fase do método requerimento-Suprimento. Primeiro determinou-se a dose recomendada do nutriente i ($drNu_i$) pela seguinte expressão:

$$drNu_i = rqNu_i_PA - suNu_i_Sol \quad (\text{Eq. 6})$$

Em que:

$drNu_i$ = dose recomendada do nutriente i , em mg/vaso.

$rqNu_i_PA$ = requerimento do nutriente i pela parte aérea, em mg/vaso; sendo $rqNu_i_PA = dNu_{i_PA} / trNu_{i_PA}$, em que: dNu_{i_PA} = demanda do nutriente i pela parte aérea na dose $k_>$ do FMN para maior produção de matéria seca, em mg/pl; e $trNu_{i_PA}$ = taxa de recuperação do nutriente i pela parte aérea.

$suNu_i_Sol$ = suprimento de nutriente i pelo solo, em mg/vaso; sendo $suNu_i_Sol = [(tdNu_{i_Sol} / trNu_{i_Ex}) \times 4]$; em que: $tdNu_{i_Sol}$ = teor disponível do nutriente i no solo em mg/dm³; $trNu_{i_Ex}$ = taxa de recuperação de nutriente i pelo extrator; e 4 = volume de solo, em dm³.

A partir da dose recomendada do nutriente i ($drNu_i$), determinou-se o teor de cada nutriente no novo fertilizante multinutriente (tNu_{i_FMN2}) em % e a dose recomendada do novo FMN2 para o crescimento inicial do cafeeiro ($drFMN2$). Para isto assumiu-se como teor de N, no FMN2 o valor de 10 %. Portanto os demais nutrientes foram multiplicado por 10 e dividido pela dose recomendada de N, para obter-se a nova composição do FMN2.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Produção de matéria seca da planta

A produção de matéria seca da planta apresentou resposta positiva às doses do fertilizante multinutriente (FMN) aplicadas (Quadro 3). O aumento da área foliar foi influenciada pelas doses do FMN ajustando-se o modelo linear, enquanto para a produção de matéria seca de folhas (mMS_F), matéria seca de caule (mMS_C), matéria seca de raiz (mMS_R), e matéria seca da planta (mMS_PI) apresentou ajuste quadrático; encontrando-se a dose para produção máxima (k_{max}) fora do espaço experimental. Portanto como dose recomendável foi utilizada a maior dose $FMN_{1,75}$ do espaço experimental, denominada k_s . Pelas equações de regressão ajustadas, a maior produção de mMS_PA obtida na maior dose k_s provoca um incremento na produção de 444 % em relação à dose $FMN_{0,00}$. Também foram obtidos incrementos para a produção de mMS_F (659 %), mMS_C (452 %), mMS_R (317 %) e área foliar (545 %) com a dose k_s em relação a dose $FMN_{0,00}$ (Quadro 4).

Quadro 3. Produção de matéria seca de folhas (mMS_F), matéria seca de caule (mMS_C), matéria seca de raiz (mMS_R), matéria seca da planta (mMS_PI), e área foliar (aF_PI) em função das doses do FMN e dos tratamentos com nutrientes faltantes após 290 d

Tratamento	mMS_F	mMS_C	mMS_R	mMS_PI	Área Foliar
	----- g/pl -----				dm ² /pl
FMN _{0,00}	3,95	3,84	5,92	13,70	6,33
FMN _{0,10}	5,11	4,98	7,96	18,04	8,00
FMN _{0,25}	7,11	7,46	10,95	25,52	10,93
FMN _{0,45}	11,11	9,68	12,29	33,08	14,90
FMN _{0,70}	14,77	11,45	15,20	41,42	19,01
FMN _{1,00}	19,30	16,02	21,58	56,90	26,39
FMN _{1,35}	22,06	18,33	21,66	62,06	32,62
FMN _{1,75}	27,41	20,58	26,38	74,37	39,59
FMN _{-N}	4,59	4,30	7,08	15,96	7,81
FMN _{-P-S}	16,55	10,46	12,07	39,07	20,77
FMN _{-K}	18,19	14,34	13,32	45,86	23,55
FMN _{-Ca-Mg}	18,39	14,74	17,01	50,14	26,06
FMN _{-B-Mo}	18,10	16,17	20,46	54,73	24,47
FMN _{-Fe-Mn}	18,46	15,25	19,22	52,94	27,09
FMN _{-Zn-Cu}	19,28	15,46	20,21	54,95	26,79
FMN _C	21,41	17,02	21,85	60,28	29,35

Quadro 4. Equações de regressão da produção (g/pl) de *mMS_F* (1), *mMS_C* (2), *mMS_R* (3), *mMS_Pl* (4) e área foliar (5), em função das doses do FMN

Equação de Regressão	R ²	k _{>} ⁽¹⁾	ŷ _{>} ⁽²⁾
			-- g/pl --
(1) $\hat{y} = 3,576 + 17,2531**x - 2,167363*x^2$	0,996	1,75	27,13
(2) $\hat{y} = 3,757 + 14,1316**x - 2,533947**x^2$	0,994	1,75	20,73
(3) $\hat{y} = 6,242 + 16,1016**x - 2,732719*x^2$	0,979	1,75	26,05
(4) $\hat{y} = 13,575 + 47,4863**x - 7,434029**x^2$	0,994	1,75	73,91
			dm ² /pl
(5) $\hat{y} = 6,1798 + 19,34506**x$	0,998	1,75	40,03

⁽¹⁾ Encontrando-se a produção máxima fora do espaço experimental, assume-se a maior dose FMN_{1,75} como a dose k_> para a maior produção de *mMS_Pl*. ⁽²⁾ Obtida pela substituição da dose k_> nas equações de regressão ajustadas de produção e de área foliar. * e ** Significativo a 5 e 1 % pelo teste de F, respectivamente.

Nutrientes faltantes no crescimento inicial do café

Para avaliar o efeito dos nutrientes faltantes foram estabelecidos contrastes entre cada tratamento com nutriente faltante (FMN_{-Nui}) e o tratamento completo FMNc. A produção de *mMS_F*, *mMS_C*, *mMS_R*, e *mMS_Pl* foram afetadas negativamente quando as plantas foram submetidas à omissão de nutrientes, causando redução de até 73,5 % (Quadro 5). Os nutrientes mais limitantes foram os macronutrientes. Considerando-se a produção de *mMS_Pl*, a ordem de restrição foi N > P e S > K > Ca e Mg, seguindo a mesma tendências de restrição nos compartimentos da planta. Na omissão de micronutriente para a produção de *mMS_F* a ordem de restrição foi B e Mo > Fe e Mn > Zn e Cu. No entanto, para a produção de *mMS_C* e *mMS_R*, os micronutrientes que mais limitaram foram o Fe e Mn > Zn e Cu > B e Mo. Na produção de *mMS_Pl* a ordem de limitação foi Fe e Mn > B e Mo > Zn e Cu. Os micronutrientes que mais reduziram a área foliar foram o B e Mo > Zn e Cu > Fe e Mn (Quadro 6).

A omissão de FMN_{-N} em relação ao tratamento FMNc causou a redução da produção de *mMS_F* em 16,82 g/pl (78,6 %), *mMS_C* em 12,72 g/pl (74,7 %), *mMS_R* em 14,78 g/pl (67,6 %) e *mMS_Pl* em 44,32 g/pl (73,5 %); assim como também reduziu a área foliar em 21,54 dm²/pl (73,4 %) (Quadro 5). A omissão de N resultou em maiores teores de P, S, K, Ca, B, Mo, Fe, Zn e Cu e menores teores de Mg e Mn na folha; entretanto, os conteúdos de todos os nutrientes foram menores no tratamento FMN_{-N} (Quadro 7 e 8). Por outro lado, a omissão de FMN_{-N} aumentou os teores de P, K, Mg, B e Fe e diminuiu os teores de Cu e Mn no caule, mas os conteúdos de P, K, Ca, Mg, S, Cu, Mn, Fe e Zn foram menores em relação ao tratamento FMNc (Quadro 9 e 10). Isso pode

ser explicado pelo efeito de concentração, devido à menor produção de matéria seca. No entanto o conteúdo de B no caule foi maior na deficiência de N (Quadro 10). Conseqüentemente, a omissão de FMN_{-N} diminuiu drasticamente os conteúdos de nutrientes pela parte aérea da planta (Quadro 11).

O cafeeiro apresenta alta exigência nutricional, sendo o N um nutriente muito requerido pela cultura (Malavolta, 1986). O N desempenha papel importante na expansão da área foliar e no crescimento vegetativo (Matiello et al. 2005) e sua ausência reduz a síntese de proteínas e de ácidos nucleicos (Marschner, 2012) e também reduz síntese de clorofila, portanto diminui a capacidade fotossintética da planta (Malavolta, 1986; Dechen & Nachtigall, 2007) e a planta perde funções essenciais, como a absorção de nutrientes (Dechen & Nachtigall, 2007).

No contraste FMN_{-P-S} vs FMNc verificou-se que a omissão P e S reduz a produção de *mMS_F* em 4,86 g/pl (22,7 %), de *mMS_C* em 6,56 g/pl (38,5 %), de *mMS_R* em 9,79 g/pl (44,8 %), de *mMS_Pl* em 21,21 g/pl (35,2 %) e reduziu o área foliar em 8,58 dm²/pl (29,2 %) (Quadro 5). Maiores teores e conteúdos de N e Cu na folha foram observados (Quadro 7 e 8), e aumento significativo dos conteúdos de N e Cu na parte aérea da planta com a omissão de P e S (Quadro 11 e 12). A redução da produção de *mMS_Pl* foi devida principalmente à omissão do P, observando-se uma redução do conteúdo de P na parte aérea em 68,6 % enquanto que o conteúdo de S reduziu-se em 23,7 % em relação ao tratamento FMNc.

O P desempenha papel importante na fotossíntese, respiração, armazenamento e na transferência de energia como parte do trifosfato adenosina (ATP), divisão e crescimento celular (Dechen & Nachtigall, 2007). Plantas em crescimento com deficiência de P mostram menor desenvolvimento do sistema radicular (Malavolta 1980). O S é um elemento importante para a produção de aminoácidos, proteínas, e clorofila (Dechen & Nachtigall, 2007), sua deficiência interrompe a síntese de proteínas e açúcares, resultando em plantas de menor tamanho e número de folhas (Malavolta, 1980). Na deficiência de S, geralmente reduz-se mais o crescimento da parte aérea do que o crescimento das raízes (Marschner, 2012).

A omissão de FMN_{-K} em relação ao tratamento FMNc provocou diminuição mais acentuada na produção de *mMS_R* (39 % de redução), além de reduzir a produção de *mMS_F*, *mMS_C* e *mMS_Pl* em 15; 15,7; 23,9 %, respectivamente (Quadro 5). A

omissão FMN_K aumentou o teor e conteúdo de Mg na folha (Quadro 8 e 9), e os teores e conteúdos de P, Mg e Cu no caule (Quadro 9 e 10). Além disso, aumentou significativamente os conteúdos de Mg em 93 % e o Cu em 7,9 % na parte aérea em relação ao tratamento FMN_C (Quadro 11 e 12). Na deficiência de K há uma relação inversa entre teores de K e Mg (Malavolta, 1980); pela redução da inibição competitiva entre Ca e o Mg (Faquin, 2005). Na deficiência de K ocorre redução da fotossíntese e aumento da respiração da planta, estas condições reduzem o acúmulo de carboidratos, como consequência tem-se redução do crescimento da planta (Dechen & Nachtigall, 2007).

A omissão de FMN_{Ca-Mg} em relação ao tratamento FMN_C reduziu a produção de *mMS_F* em 14,1 %; de *mMS_C* em 13,4 %; de *mMS_R* em 22,2 %, de *mMS_Pl* em 16,8 % e área foliar em 11,2 % (Quadro 5). A deficiência de Ca e Mg provocou maior teor e conteúdo de Mn na folha (Quadro 7 e 8) e de Mo, Mn e Zn no caule (Quadro 9 e 10), além de aumentar o conteúdo de Mn na parte aérea da planta (Quadro 11 e 12).

Quadro 5. Contrastes médios para produção de matéria seca de folhas (*mMS_F*), matéria seca de caule (*mMS_C*), matéria seca de raiz (*mMS_R*), matéria seca da planta (*mMS_Pl*), e área foliar (*aF_Pl*) e produção percentual

Contraste	Contraste médio				
	<i>mMS_F</i>	<i>mMS_C</i>	<i>mMS_R</i>	<i>mMS_Pl</i>	Área Foliar
	----- g/pl -----				-- dm ² /pl --
FMN _N vs FMN _C	16,82 **	12,72 **	14,78 **	44,32 **	21,54 **
FMN _{P-S} vs FMN _C	4,86 **	6,56 **	9,79 **	21,21 **	8,58 **
FMN _K vs FMN _C	3,22 **	2,67 **	8,53 **	14,42 **	5,80 **
FMN _{Ca-Mg} vs FMN _C	3,01 **	2,28 **	4,85 **	10,14 **	3,28 **
FMN _{B-Mo} vs FMN _C	3,31 **	0,84 °	1,40 *	5,55 **	4,88 **
FMN _{Fe-Mn} vs FMN _C	2,95 **	1,77 **	2,63 **	7,34 **	2,26 **
FMN _{Zn-Cu} vs FMN _C	2,13 **	1,56 **	1,65 *	5,33 **	2,56 **
	----- Produção porcentual ⁽¹⁾ -----				
	----- % -----				
FMN _N vs FMN _C	21,4	25,3	32,4	26,5	26,6
FMN _{P-S} vs FMN _C	77,3	61,5	55,2	64,8	70,8
FMN _K vs FMN _C	85,0	84,3	61,0	76,1	80,2
FMN _{Ca-Mg} vs FMN _C	85,9	86,6	77,8	83,2	88,8
FMN _{B-Mo} vs FMN _C	84,5	95,0	93,6	90,8	83,4
FMN _{Fe-Mn} vs FMN _C	86,2	89,6	88,0	87,8	92,3
FMN _{Zn-Cu} vs FMN _C	90,1	90,9	92,5	91,2	91,3

⁽¹⁾ Variação em porcentagem da produção do tratamento com nutriente faltante (FMN_{Nui}) em relação ao tratamento completo FMN_C. °, * e ** Significativo a 10, 5 e 1 % pelo teste de F, respectivamente.

Com relação à omissão de micronutrientes, a omissão de FMN_{B-Mo} reduziu a produção de *mMS_PI* em 9,2 % em comparação ao tratamento FMN_C, e provocou a maior redução de área foliar entre os micronutrientes (16,6 % de redução) (Quadro 5). O B é importante na translocação de açúcares e metabolismo de carboidratos, e sua deficiência interrompe o crescimento e desenvolvimento e a maturação das células, que constitui a segunda fase do desenvolvimento e provoca diminuição da superfície foliar (Dechen & Nachtigall, 2007). Na omissão de FMN_{Fe-Mn} em relação ao tratamento FMN_C, constatarem-se que houve uma queda da produção de *mMS_PI* em 12,2 % (Quadro 5). Possivelmente por efeito do teor natural elevados de Mn no solo, e devido à falta de calagem. Excesso Mn no solo impede a absorção adequada de Fe (Malavolta, 1986). No contraste FMN_{Zn-Cu} vs FMN_C, a omissão de Zn e Cu foi a que menos limitou a produção de *mMS_PI*, causando a redução em 8,8 % (Quadro 5), por outro lado aumentou o teor e conteúdo de Mo na folha e caule (Quadro 8 e 10) e aumentou o conteúdo de Mo na parte aérea da planta em relação ao tratamento FMN_C (Quadro 11 e 12).

Quadro 6. Contrastes médios para produção de matéria seca de folhas (*mMS_F*), matéria seca de caule (*mMS_C*), matéria seca de raiz (*mMS_R*), matéria seca da planta (*mMS_PI*), e área foliar (*aF_PI*); e produção percentual

Contraste	Contraste médio				Área Foliar dm ² /pl
	<i>mMS_F</i>	<i>mMS_C</i>	<i>mMS_R</i>	<i>mMS_PI</i>	
	----- g/pl -----				
FMN _{Nui} vs FMN _C	5,19**	4,06**	6,23**	15,47**	6,98**
FMN _{Macros} vs FMN _{Micros}	4,18**	4,67**	7,59**	16,45**	6,57**
(FMN _N +FMN _{P-S}) vs (FMN _K +FMN _{Ca-Mg})	7,73**	7,16**	5,59**	20,48**	10,52**
FMN _N vs FMN _{P-S}	5,98**	3,08**	2,50**	11,56**	6,48**
FMN _K vs FMN _{Ca-Mg}	0,20 ^{ns}	0,39 ^{ns}	3,69**	4,28**	2,51**
FMN _{B-Mo} vs (FMN _{Fe-Mn} +FMN _{Zn-Cu})	0,78 ^o	-0,82*	-0,74 ^{ns}	-0,79 ^{ns}	2,47**
FMN _{Fe-Mn} vs FMN _{Zn-Cu}	0,82 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,98 ^{ns}	2,01 ^o	-0,31 ^{ns}
	----- % -----				
	Produção percentual ⁽¹⁾				
FMN _{Nui} vs FMN _C	75,8	76,2	71,5	74,3	76,2
FMN _{Macros} vs FMN _{Micros}	77,5	70,1	62,0	69,7	74,9
(FMN _N +FMN _{P-S}) vs (FMN _K +FMN _{Ca-Mg})	57,8	50,7	63,1	57,3	57,6
FMN _N vs FMN _{P-S}	27,7	41,1	58,6	40,8	37,6
FMN _K vs FMN _{Ca-Mg}	98,9	97,3	78,3	91,5	90,4
FMN _{B-Mo} vs (FMN _{Fe-Mn} +FMN _{Zn-Cu})	95,9	105,3	103,8	101,5	90,8
FMN _{Fe-Mn} vs FMN _{Zn-Cu}	95,8	98,6	95,1	96,3	101,1

⁽¹⁾ Variação em porcentagem da produção dos primeiros tratamentos dos contrastes em relação aos segundos. ^{ns}, ^o, * e ** Não significativo e significativo a 10, 5 e 1 % pelo teste de F, respectivamente.

Quadro 7. Teores de nutrientes na folha (tNu_i_F) e conteúdos de nutrientes nas folhas (cNu_i_F) em função das doses do FMN e dos tratamentos com nutrientes faltantes após 290 d

Tratamento	Teores de nutrientes na folha (tNu_i_F)											
	N	P	S	K	Ca	Mg	B	Mo	Fe	Mn	Zn	Cu
	g/kg						mg/kg					
FMN _{0,00}	12,16	0,94	1,29	11,28	13,24	2,64	97,08	0,08	245,52	851,59	9,91	8,07
FMN _{0,10}	12,72	0,86	1,28	13,36	12,99	2,37	100,66	0,27	238,09	804,45	9,44	8,02
FMN _{0,25}	12,83	0,95	1,40	14,26	12,90	2,29	107,35	0,25	229,99	909,12	8,56	7,55
FMN _{0,45}	14,04	0,98	1,36	16,04	11,38	2,18	112,75	0,29	202,55	970,54	7,88	7,51
FMN _{0,70}	15,30	0,97	1,36	18,21	10,58	2,08	112,98	0,32	203,28	758,62	7,88	7,80
FMN _{1,00}	16,39	0,98	1,39	18,78	10,59	2,17	139,78	0,28	219,75	792,86	7,50	8,25
FMN _{1,35}	16,84	1,03	1,43	20,29	10,27	2,15	155,25	0,28	226,14	728,51	7,88	8,62
FMN _{1,75}	18,53	1,02	1,39	21,07	10,23	2,12	164,13	0,27	203,06	715,11	7,82	9,53
FMN _{-N}	11,59	1,76	1,80	25,81	11,71	1,83	190,58	0,54	255,16	495,12	9,23	10,44
FMN _{-P-S}	24,55	0,54	1,41	17,87	9,76	2,34	131,13	0,17	193,63	544,31	8,81	13,06
FMN _{-K}	20,34	1,38	1,49	3,97	11,93	5,25	117,99	0,21	194,79	680,44	7,58	9,06
FMN _{-Ca-Mg}	17,41	1,25	1,48	18,48	9,00	1,58	124,91	0,16	212,45	2 539,19	8,51	9,21
FMN _{-B-Mo}	16,25	1,20	1,43	15,89	11,30	2,15	44,37	0,24	203,56	688,08	7,71	7,43
FMN _{-Fe-Mn}	16,43	1,10	1,41	18,30	10,90	2,06	131,41	0,23	228,03	657,38	7,97	8,20
FMN _{-Zn-Cu}	16,00	1,25	1,44	17,94	11,29	2,32	140,44	0,40	251,11	697,41	8,41	7,58
FMN _C	16,68	1,22	1,44	17,58	11,24	2,27	132,89	0,29	241,03	841,43	8,52	7,96
	Conteúdo de nutrientes nas folhas (cNu_i_F)											
	mg/pl											
	N	P	S	K	Ca	Mg	B	Mo	Fe	Mn	Zn	Cu
FMN _{0,00}	48,18	3,72	5,14	44,33	52,59	10,55	0,38	0,0003	0,97	3,37	0,040	0,03
FMN _{0,10}	64,86	4,38	6,52	67,81	66,80	12,18	0,51	0,0014	1,21	4,16	0,048	0,04
FMN _{0,25}	91,21	6,75	9,93	101,57	91,63	16,25	0,76	0,0018	1,63	6,45	0,061	0,05
FMN _{0,45}	155,21	10,81	15,13	176,94	127,05	24,15	1,27	0,0032	2,24	10,85	0,087	0,08
FMN _{0,70}	226,33	14,35	20,07	269,41	156,33	30,67	1,67	0,0049	3,00	11,22	0,116	0,12
FMN _{1,00}	316,32	18,87	26,78	362,64	204,41	42,23	2,70	0,0053	4,24	15,34	0,145	0,16
FMN _{1,35}	370,75	22,65	31,53	447,02	226,32	47,43	3,41	0,0063	4,97	16,23	0,174	0,19
FMN _{1,75}	507,37	27,82	38,16	578,18	280,15	58,20	4,49	0,0076	5,57	19,69	0,216	0,26
FMN _{-N}	53,22	8,04	8,25	118,11	53,60	8,38	0,87	0,0025	1,17	2,27	0,042	0,05
FMN _{-P-S}	406,83	8,93	23,31	296,79	161,98	38,76	2,17	0,0030	3,22	9,06	0,146	0,22
FMN _{-K}	370,93	25,00	27,00	72,39	217,57	95,92	2,14	0,0039	3,53	12,46	0,138	0,16
FMN _{-Ca-Mg}	320,09	22,98	27,11	338,88	165,64	28,96	2,30	0,0030	3,89	46,50	0,157	0,17
FMN _{-B-Mo}	293,36	21,72	25,78	287,13	203,13	38,83	0,80	0,0042	3,67	12,39	0,139	0,13
FMN _{-Fe-Mn}	303,84	20,24	25,91	338,23	200,75	38,14	2,42	0,0043	4,20	12,21	0,147	0,15
FMN _{-Zn-Cu}	308,85	24,05	27,71	346,42	217,50	44,81	2,70	0,0077	4,83	13,50	0,163	0,15
FMN _C	357,44	26,19	30,64	379,34	239,05	48,71	2,83	0,0060	5,13	18,41	0,181	0,17

Quadro 8. Contrastes médios para os teores de nutrientes na folha (*ttNu_i_F*) e conteúdos de nutrientes nas folhas (*cNu_i_F*),

Contraste	Contraste médio de teores de nutrientes na folha											
	N	P	S	K	Ca	Mg	B	Mo	Fe	Mn	Zn	Cu
	g/kg						mg/kg					
FMN _{-N} vs FMN _C	5,08 **	-0,54 **	-0,36 **	-8,24 **	-0,47 °	0,44 **	-57,70 **	-0,25 **	-14,12 °	346,31 **	-0,71 *	-2,48 **
FMN _{-P-S} vs FMN _C	-7,87 **	0,69 **	0,03 ns	-0,30 ns	1,48 **	-0,07 ns	1,75 ns	0,12 *	47,40 **	297,12 **	-0,29 ns	-5,09 **
FMN _{-K} vs FMN _C	-3,66 **	-0,15 **	-0,05 ns	13,61 **	-0,69 *	-2,98 **	14,89 **	0,08 ns	46,24 **	161,00 **	0,94 **	-1,09 **
FMN _{-Ca-Mg} vs FMN _C	-0,74 **	-0,03 ns	-0,04 ns	-0,90 *	2,23 *	0,69 **	7,97 **	0,13 *	28,58 **	-1697,75 **	0,01 ns	-1,25 **
FMN _{-B-Mo} vs FMN _C	0,42 °	0,02 ns	0,01 ns	1,68 **	-0,06 ns	0,12 *	88,51 **	0,05 ns	37,47 **	153,35 **	0,81 *	0,54 *
FMN _{-Fe-Mn} vs FMN _C	0,25 ns	0,13 **	0,03 ns	-0,72 °	0,34 ns	0,21 **	1,47 ns	0,06 ns	13,00 ns	184,05 **	0,55 °	-0,23 ns
FMN _{-Zn-Cu} vs FMN _C	0,68 **	-0,02 ns	0,00 ns	-0,36 ns	-0,05 ns	-0,05 ns	-7,56 **	-0,11 °	-10,08 ns	144,03 **	0,11 ns	0,39 °
	Contraste médio de conteúdo de nutrientes nas folhas											
	mg/pl											
FMN _{-N} vs FMN _C	304,22 **	18,15 **	22,39 **	261,22 **	185,44 **	40,33 **	1,96 **	0,003 **	3,96 **	16,15 **	0,14 **	0,12 **
FMN _{-P-S} vs FMN _C	-49,39 **	17,26 **	7,34 **	82,55 **	77,07 **	9,95 **	0,66 **	0,003 **	1,91 **	9,36 **	0,03 **	-0,05 **
FMN _{-K} vs FMN _C	-13,48 ns	1,18 °	3,64 **	306,94 **	21,47 **	-47,21 **	0,69 **	0,002 *	1,60 **	5,95 **	0,04 **	0,00 ns
FMN _{-Ca-Mg} vs FMN _C	37,36 **	3,21 **	3,53 **	40,45 **	73,40 **	19,75 **	0,53 **	0,003 **	1,24 **	-28,09 **	0,02 **	0,00 ns
FMN _{-B-Mo} vs FMN _C	64,08 **	4,47 **	4,87 **	92,21 **	35,92 **	9,88 **	2,03 **	0,002 °	1,46 **	6,02 **	0,04 **	0,03 **
FMN _{-Fe-Mn} vs FMN _C	53,61 **	5,95 **	4,74 **	41,11 **	38,29 **	10,57 **	0,41 **	0,002 °	0,93 **	6,20 **	0,03 **	0,02 **
FMN _{-Zn-Cu} vs FMN _C	48,59 **	2,14 **	2,93 **	32,92 **	21,54 **	3,90 *	0,13 °	-0,002 °	0,30 *	4,91 **	0,02 **	0,02 **

^{ns}, °, * e ** Não significativo e significativo a 10, 5 e 1 % pelo teste de F, respectivamente.

Quadro 9. Teores de nutrientes no caule (*ttNu_i_C*) e Conteúdos de nutrientes no caule (*cNu_i_C*), em função das doses do FMN e dos tratamentos com nutrientes faltantes após 290 d

Tratamento	Teores de nutrientes no caule (<i>ttNu_i_C</i>)											
	N	P	S	K	Ca	Mg	B	Mo	Fe	Mn	Zn	Cu
	----- g/kg -----						----- mg/kg -----					
FMN _{0,00}	4,45	0,47	0,44	6,19	3,56	1,08	9,04	0,09	69,57	146,10	4,23	6,21
FMN _{0,10}	4,69	0,45	0,45	7,29	3,69	0,97	10,11	0,13	40,13	137,04	3,99	6,06
FMN _{0,25}	4,58	0,48	0,46	8,14	3,75	0,90	9,40	0,13	36,85	165,79	3,12	5,75
FMN _{0,45}	4,94	0,55	0,47	8,62	3,72	0,86	10,09	0,03	40,47	204,50	3,56	6,84
FMN _{0,70}	5,08	0,51	0,47	8,91	3,49	0,84	10,22	0,15	35,58	173,58	3,19	6,96
FMN _{1,00}	5,16	0,50	0,49	8,91	3,56	0,82	10,95	0,13	61,03	199,70	3,21	7,14
FMN _{1,35}	4,94	0,57	0,49	9,11	3,37	0,81	10,45	0,13	41,63	181,54	3,47	7,92
FMN _{1,75}	5,18	0,51	0,50	8,81	3,19	0,81	9,24	0,19	38,18	163,63	4,30	8,37
FMN _{-N}	4,65	0,89	0,46	10,47	3,42	0,97	11,86	0,11	43,16	72,04	4,02	6,63
FMN _{-P-S}	7,05	0,27	0,57	9,89	3,64	1,29	11,80	0,09	70,68	123,23	4,93	9,39
FMN _{-K}	6,57	0,92	0,56	3,49	3,18	1,76	8,47	0,13	38,11	161,03	4,36	10,44
FMN _{-Ca-Mg}	5,50	0,71	0,48	8,38	2,64	0,48	8,05	0,21	36,89	511,57	6,54	8,19
FMN _{-B-Mo}	5,23	0,67	0,46	8,16	3,41	0,81	6,41	0,01	33,97	163,83	3,42	6,91
FMN _{-Fe-Mn}	5,46	0,58	0,46	8,62	3,50	0,80	8,00	0,11	37,94	172,78	4,32	7,29
FMN _{-Zn-Cu}	5,26	0,71	0,49	8,27	3,23	0,91	7,69	0,22	38,52	166,08	2,64	6,64
FMN _C	5,30	0,65	0,46	8,02	3,25	0,82	9,69	0,04	32,28	179,36	3,74	7,16
	----- mg/pl -----											
FMN _{0,00}	17,15	1,80	1,68	23,56	13,65	4,14	0,008	0,000	0,27	0,56	0,016	0,02
FMN _{0,10}	23,11	2,22	2,24	35,71	18,31	4,79	0,009	0,001	0,20	0,69	0,020	0,03
FMN _{0,25}	34,08	3,58	3,46	60,88	28,04	6,76	0,008	0,001	0,28	1,24	0,023	0,04
FMN _{0,45}	47,75	5,33	4,55	83,04	35,81	8,29	0,011	0,000	0,39	1,99	0,035	0,07
FMN _{0,70}	58,05	5,79	5,34	101,53	39,80	9,53	0,010	0,002	0,41	2,03	0,037	0,08
FMN _{1,00}	82,04	7,95	7,78	141,73	56,63	13,02	0,010	0,002	1,03	3,18	0,052	0,11
FMN _{1,35}	90,57	10,24	8,96	166,18	61,97	14,83	0,011	0,002	0,77	3,36	0,064	0,14
FMN _{1,75}	106,16	10,31	10,13	179,24	65,41	16,34	0,009	0,004	0,79	3,36	0,091	0,17
FMN _{-N}	19,99	3,82	1,99	44,97	14,66	4,15	0,020	0,000	0,18	0,31	0,017	0,03
FMN _{-P-S}	73,69	2,78	6,00	103,17	38,01	13,44	0,006	0,001	0,72	1,29	0,052	0,10
FMN _{-K}	93,97	13,27	7,99	50,21	45,45	25,07	0,015	0,002	0,55	2,29	0,062	0,15
FMN _{-Ca-Mg}	80,82	10,25	7,06	122,92	39,02	7,03	0,011	0,004	0,54	7,56	0,095	0,12
FMN _{-B-Mo}	84,32	10,85	7,43	131,84	54,98	13,10	0,007	0,000	0,55	2,64	0,055	0,11
FMN _{-Fe-Mn}	82,65	8,85	7,02	130,96	52,95	12,04	0,009	0,002	0,58	2,61	0,066	0,11
FMN _{-Zn-Cu}	81,21	10,91	7,48	126,81	49,55	13,97	0,010	0,003	0,59	2,57	0,041	0,10
FMN _C	90,38	11,12	7,80	136,29	55,25	13,89	0,011	0,001	0,55	3,09	0,064	0,12

Quadro 10. Contrastes médios para teores de nutrientes no caule (*t*Nu_{i_C}) e conteúdos de nutrientes no caule (*c*Nu_{i_C})

Contraste	Contraste médio de teores de nutrientes no caule											
	N	P	S	K	Ca	Mg	B	Mo	Fe	Mn	Zn	Cu
	g/kg						mg/kg					
FMN _N vs FMN _C	0,65 **	-0,24 **	-0,01 ns	-2,45 **	-0,17 ns	-0,15 **	-2,17 **	-0,08 ns	-10,88 °	107,31 **	-0,28 ns	0,53 °
FMN _{P-S} vs FMN _C	-1,75 **	0,39 **	-0,12 **	-1,86 **	-0,38 **	-0,47 **	-2,10 **	-0,05 ns	-38,40 **	56,13 **	-1,18 **	-2,22 **
FMN _K vs FMN _C	-1,27 **	-0,27 **	-0,10 **	4,53 **	0,07 ns	-0,94 **	1,22 *	-0,09 °	-5,83 ns	18,33 *	-0,62 *	-3,28 **
FMN _{Ca-Mg} vs FMN _C	-0,20 ns	-0,05 *	-0,02 *	-0,36 ns	0,62 **	0,34 **	1,64 **	-0,18 **	-4,61 ns	-332,21 **	-2,80 **	-1,02 **
FMN _{B-Mo} vs FMN _C	0,08 ns	-0,02 ns	0,00 ns	-0,14 ns	-0,16 ns	0,01 ns	3,28 **	0,03 ns	-1,69 ns	15,52 °	0,32 ns	0,26 ns
FMN _{Fe-Mn} vs FMN _C	-0,15 ns	0,07 **	-0,01 ns	-0,60 *	-0,25 *	0,02 ns	1,70 **	-0,07 ns	-5,66 ns	6,57 ns	-0,58 °	-0,13 ns
FMN _{Zn-Cu} vs FMN _C	0,04 ns	-0,05 *	-0,03 *	-0,25 ns	0,02 ns	-0,09 *	2,00 **	-0,19 **	-6,25 ns	13,28 ns	1,10 **	0,52 °
	Contraste médio de conteúdo de nutrientes no caule											
	mg/pl											
FMN _N vs FMN _C	70,39 **	7,29 **	5,81 **	91,33 **	40,58 **	9,74 **	-0,008 **	0,000 ns	0,36 **	2,79 **	0,047 **	0,094 **
FMN _{P-S} vs FMN _C	16,69 **	8,34 **	1,80 **	33,12 **	17,23 **	0,45 ns	0,005 **	0,000 ns	-0,17 °	1,80 **	0,012 *	0,024 **
FMN _K vs FMN _C	-3,59 ns	-2,16 **	-0,19 ns	86,08 **	9,79 **	-11,18 **	-0,004 **	-0,001 ns	0,00 ns	0,81 **	0,002 ns	-0,028 **
FMN _{Ca-Mg} vs FMN _C	9,56 **	0,86 *	0,74 **	13,37 **	16,22 **	6,86 **	0,000 ns	-0,003 **	0,01 ns	-4,47 **	-0,032 **	0,003 ns
FMN _{B-Mo} vs FMN _C	6,06 *	0,27 ns	0,37 °	4,46 ns	0,27 ns	0,79 °	0,004 **	0,001 ns	0,00 ns	0,46 *	0,008 ns	0,010 *
FMN _{Fe-Mn} vs FMN _C	7,73 **	2,27 **	0,78 **	5,33 ns	2,30 ns	1,85 **	0,002 °	-0,001 ns	-0,03 ns	0,49 **	-0,003 ns	0,011 **
FMN _{Zn-Cu} vs FMN _C	9,17 **	0,20 ns	0,32 °	9,48 **	5,69 **	-0,08 ns	0,001 ns	-0,003 **	-0,04 ns	0,52 **	0,023 **	0,020 **

ns, °, * e ** Não significativo e significativo a 10, 5 e 1 % pelo teste de F, respectivamente.

Quadro 11. Demanda de nutrientes na parte aérea pela planta (dNu_i_{PA}), em função das doses do FMN e dos tratamentos com nutrientes faltantes após 290 d

Tratamento	N	P	S	K	Ca	Mg	B	Mo	Fe	Mn	Zn	Cu
----- mg/pl -----												
FMN _{0,00}	65,33	5,52	6,82	67,89	66,24	14,69	0,39	0,0006	1,24	3,93	0,06	0,06
FMN _{0,10}	87,96	6,61	8,76	103,52	85,11	16,98	0,52	0,0020	1,40	4,85	0,07	0,07
FMN _{0,25}	125,29	10,33	13,39	162,46	119,66	23,01	0,77	0,0028	1,91	7,69	0,08	0,10
FMN _{0,45}	202,96	16,14	19,68	259,98	162,86	32,44	1,28	0,0035	2,64	12,84	0,12	0,15
FMN _{0,70}	284,39	20,15	25,41	370,94	196,13	40,20	1,68	0,0067	3,41	13,24	0,15	0,19
FMN _{1,00}	398,37	26,82	34,56	504,37	261,04	55,25	2,71	0,0070	5,27	18,52	0,20	0,27
FMN _{1,35}	461,33	32,89	40,49	613,20	288,29	62,26	3,42	0,0086	5,74	19,60	0,24	0,33
FMN _{1,75}	613,53	38,12	48,29	757,41	345,56	74,54	4,50	0,0117	6,36	23,05	0,31	0,43
FMN _{-N}	73,21	11,87	10,24	163,08	68,26	12,53	0,89	0,0030	1,35	2,58	0,06	0,08
FMN _{-P-S}	480,52	11,71	29,31	399,96	199,99	52,20	2,18	0,0039	3,94	10,35	0,20	0,31
FMN _{-K}	464,89	38,28	34,99	122,60	263,02	120,99	2,16	0,0058	4,08	14,75	0,20	0,31
FMN _{-Ca-Mg}	400,91	33,23	34,17	461,81	204,66	35,98	2,31	0,0066	4,43	54,06	0,25	0,29
FMN _{-B-Mo}	377,68	32,57	33,20	418,97	258,10	51,93	0,80	0,0043	4,22	15,03	0,19	0,25
FMN _{-Fe-Mn}	386,49	29,09	32,93	469,19	253,70	50,18	2,43	0,0058	4,78	14,82	0,21	0,26
FMN _{-Zn-Cu}	390,06	34,97	35,19	473,23	267,05	58,78	2,71	0,0112	5,41	16,07	0,20	0,25
FMN _C	447,82	37,31	38,44	515,63	294,29	62,60	2,84	0,0066	5,68	21,51	0,24	0,29

Quadro 12. Contrastes médios para demanda de nutrientes na parte aérea da planta (dNu_i_{PA}), dos tratamentos com nutrientes faltante vs o tratamento FMNc após 290 d

Contraste	Contraste Medio											
	N	P	S	K	Ca	Mg	B	Mo	Fe	Mn	Zn	Cu
	----- mg/pl -----											
FMN _N vs FMN _C	374,61 **	25,44 **	28,20 **	352,55 **	226,03 **	50,07 **	1,95 **	0,0037 **	4,32 **	18,93 **	0,185 **	0,21 **
FMN _{P-S} vs FMN _C	-32,70 **	25,60 **	9,13 **	115,67 **	94,30 **	10,40 **	0,67 **	0,0027 *	1,74 **	11,16 **	0,047 **	-0,02 **
FMN _K vs FMN _C	-17,07 ^{ns}	-0,97 ^{ns}	3,45 **	393,03 **	31,27 **	-58,39 **	0,69 **	0,0009 ^{ns}	1,59 **	6,76 **	0,044 **	-0,02 **
FMN _{Ca-Mg} vs FMN _C	46,92 **	4,07 **	4,27 **	53,82 **	89,63 **	26,62 **	0,53 **	0,0001 ^{ns}	1,24 **	-32,55 **	-0,008 ^{ns}	0,00 ^{ns}
FMN _{B-Mo} vs FMN _C	70,14 **	4,73 **	5,24 **	96,66 **	36,19 **	10,67 **	2,04 **	0,0023 °	1,46 **	6,48 **	0,050 **	0,04 **
FMN _{Fe-Mn} vs FMN _C	61,34 **	8,21 **	5,51 **	46,44 **	40,59 **	12,42 **	0,41 **	0,0008 ^{ns}	0,90 **	6,69 **	0,031 **	0,03 **
FMN _{Zn-Cu} vs FMN _C	57,76 **	2,34 ^{ns}	3,25 **	42,40 **	27,24 **	3,82 *	0,13 °	-0,0046 **	0,26 ^{ns}	5,43 **	0,041 **	0,04 **

^{ns}, °, * e ** Não significativo e significativo a 10, 5 e 1 % pelo teste de F, respectivamente.

No contraste FMN_{Nui} vs FMNc verifica-se que, em média os tratamentos com omissão de nutrientes resultaram em menores conteúdos na folha de todos os nutrientes em estudo (Quadro 13); diminuindo os conteúdos de N, P, S, K, Ca, Mg, B, Fe, Mn, Zn e Cu na parte aérea da planta em comparação ao tratamento FMNc (Quadro 15), a diminuição do conteúdo de Cu devido principalmente ao tratamento com omissão de N. Verificando-se uma redução significativa na produção de *mMS_F*, *mMS_C*, *mMS_R*. e *mMS_Pl* em 24,2; 23,8; 28,5 e 25,7 % respectivamente (Quadro 6).

Comparando FMN_{macros} vs FMN_{micros}, na omissão média dos macronutrientes houve maior conteúdo de Mg na folha (Quadro 13) e de B, Mo, Fe, e Zn na parte aérea da planta (Quadro 15); isto provocou uma redução significativa da produção de *mMS_Pl* em 30,3 % em relação à omissão de micronutriente (Quadro 6).

A omissão média de macronutrientes aniônicos (FMN_{N+FMN-P-S}) reduziu o conteúdo de Ca, Mg, B, Cu, Mn, Fe e Zn na parte aérea em relação à omissão média de macronutrientes catiônico (FMN_{K+FMN-Ca-Mg}) (Quadro 15); provocando uma queda de 42,7 % na produção *mMS_Pl* (Quadro 6). A omissão de FMN_N em relação à omissão FMN_{P-S} provocou diminuição dos conteúdos de K, Ca, Mg, S, B, Cu, Mn, Fe e Zn na parte aérea (Quadro 15) provocando uma redução 59,2 % na produção de *mMS_Pl* (Quadro 6).

Na ausência de FMN_K em relação à ausência de FMN_{Ca-Mg} houve aumento no conteúdo de N e P na folha e caule, também os conteúdos de S e Cu no caule aumentaram (Quadro 13 e 14). Houve aumento dos conteúdos de N, P e Cu e redução dos conteúdos de B, Fe, Mn e Zn na parte aérea da planta (Quadro 15); assim houve redução da produção de *mMS_Pl* em 8,5 %, principalmente pela redução significativa na produção de *mMS_R* em 21,7 % (Quadro 6).

A omissão média de micronutriente aniônico (FMN_{B-Mo}) em relação à omissão média de micronutriente catiônico (FMN_{Fe-Mn+FMN-Zn-Cu}), diminuiu o conteúdo de K na parte aérea da planta (Quadro 15), assim reduziu a produção de *mMS_F* em 4,1 % e aumentou a produção de *mMS_C* em 5,3 %; e o efeito na produção de *mMS_Pl* não foi significativo (Quadro 6). Na omissão de FMN_{Fe-Mn} em comparação ao tratamento com omissão de FMN_{Zn-Cu}; os conteúdos de P, Mg e B na folha e caule foram menores, e o conteúdo de Ca no caule maiores (Quadro 13 e 14); e houve menores conteúdos de P, S, Ca, Mg, B e Mo na parte aérea da planta (Quadro 15), provocando menor produção de *mMS_Pl* em 3,7 % (Quadro 6).

Quadro 13. Contrastes médios para os teores de nutrientes na folha (ttNui_F) e conteúdo de nutrientes nas folhas (cNu_i_F)

Contraste	Contraste médio de teores de nutrientes na folha											
	N	P	S	K	Ca	Mg	B	Mo	Fe	Mn	Zn	Cu
	g/kg						mg/kg					
FMN _{-Nui} vs FMN _C	-0,83 **	0,01 ns	-0,06 *	0,68 *	0,40 °	-0,23 **	7,05 **	0,01 ns	21,21 **	-58,84 °	0,20 ns	-1,32 **
FMN _{-Macros} vs FMN _{-Micros}	-2,25 **	-0,05 **	-0,12 **	0,84 **	0,56 **	-0,57 **	-35,74 **	0,02 ns	13,56 **	-383,81 **	-0,50 **	-2,71 **
(FMN _{-N} +FMN _{-P-S}) vs (FMN _{-K} +FMN _{-Ca-Mg})	0,80 **	0,17 **	-0,12 **	-10,62 **	-0,27 ns	1,33 **	-39,41 **	-0,17 **	-20,77 **	1090,09 **	-0,98 **	-2,62 **
FMN _{-N} vs FMN _{-P-S}	6,48 **	-0,61 **	-0,19 **	-3,97 **	-0,98 **	0,25 **	-29,72 **	-0,18 **	-30,76 **	24,59 ns	-0,21 ns	1,31 **
FMN _{-K} vs FMN _{-Ca-Mg}	-2,92 **	-0,12 **	-0,01 ns	14,51 **	-2,92 **	-3,67 **	6,92 *	-0,05 ns	17,65 *	1858,75 **	0,93 **	0,15 ns
FMN _{-B-Mo} vs (FMN _{-Fe-Mn} +FMN _{-Zn-Cu})	-0,04 ns	-0,03 ns	-0,01 ns	2,22 **	-0,21 ns	0,04 ns	91,55 **	0,07 ns	36,01 **	-10,69 ns	0,48 °	0,46 *
FMN _{-Fe-Mn} vs FMN _{-Zn-Cu}	-0,43 °	0,15 **	0,03 ns	-0,36 ns	0,39 ns	0,26 **	9,03 **	0,17 **	23,08 **	40,03 ns	0,44 ns	-0,62 **
	Contraste médio de conteúdo de nutrientes nas folhas											
	mg/pl											
FMN _{-Nui} vs FMN _C	63,57 **	7,48 **	7,06 **	122,49 **	64,73 **	6,74 **	0,92 **	0,002 *	1,63 **	2,93 **	0,048 **	0,02 **
FMN _{-Macros} vs FMN _{-Micros}	14,25 **	5,77 **	5,05 **	117,38 **	57,43 **	-2,41 **	0,10 *	0,002 **	1,28 **	-4,87 **	0,029 **	-0,01 *
(FMN _{-N} +FMN _{-P-S}) vs (FMN _{-K} +FMN _{-Ca-Mg})	115,48 **	15,51 **	11,28 **	-1,81 ns	83,81 **	38,86 **	0,70 **	0,001 ns	1,52 **	23,82 **	0,053 **	0,03 **
FMN _{-N} vs FMN _{-P-S}	176,80 **	0,44 ns	7,53 **	89,34 **	54,19 **	15,19 **	0,65 **	0,000 ns	1,02 **	3,39 **	0,052 **	0,08 **
FMN _{-K} vs FMN _{-Ca-Mg}	-50,84 **	-2,02 **	0,11 ns	266,49 **	-51,93 **	-66,96 **	0,16 *	-0,001 ns	0,36 *	34,04 **	0,019 **	0,00 ns
FMN _{-B-Mo} vs (FMN _{-Fe-Mn} +FMN _{-Zn-Cu})	12,98 ns	0,43 ns	1,03 °	55,19 **	6,00 ns	2,64 °	1,77 **	0,002 *	0,84 **	0,46 ns	0,016 **	0,01 **
FMN _{-Fe-Mn} vs FMN _{-Zn-Cu}	5,02 ns	3,81 **	1,81 **	8,19 ns	16,75 **	6,67 **	0,28 **	0,003 **	0,63 **	1,29 ns	0,016 **	0,00 ns

ns, °, * e ** Não significativo e significativo a 10, 5 e 1 % pelo teste de F, respectivamente.

Quadro 14. Contrastes médios para os teores de nutrientes no caule ($ttNu_i_C$) e conteúdo de nutrientes no caule (cNu_i_C)

Contraste	Contraste médio de teores de nutrientes no caule											
	N	P	S	K	Ca	Mg	B	Mo	Fe	Mn	Zn	Cu
	----- g/kg -----						----- mg/kg -----					
FMN _{-Nui} vs FMN _C	-0,37 **	-0,03 ns	-0,04 **	-0,16 ns	-0,04 ns	-0,18 **	0,79 °	-0,09 *	-10,47 *	-16,44 *	-0,58 *	-0,76 **
FMN _{-Macros} vs FMN _{-Micros}	-0,63 **	-0,04 **	-0,05 **	0,29 *	0,16 *	-0,28 **	-2,68 **	-0,02 ns	-10,40 **	-49,40 **	-1,50 **	-1,72 **
(FMN _{-N} +FMN _{-P-S}) vs (FMN _{-K} +FMN _{-Ca-Mg})	0,18 °	0,24 **	0,00 ns	-4,24 **	-0,62 **	-0,01 ns	-3,57 **	0,07 °	-19,42 **	238,66 **	0,98 **	1,30 **
FMN _{-N} vs FMN _{-P-S}	1,20 **	-0,31 **	0,06 **	-0,29 ns	0,11 ns	0,16 **	-0,03 ns	-0,01 ns	13,76 *	25,59 **	0,45 °	1,38 **
FMN _{-K} vs FMN _{-Ca-Mg}	-1,07 **	-0,21 **	-0,08 **	4,89 **	-0,55 **	-1,28 **	-0,42 ns	0,09 ns	-1,23 ns	350,54 **	2,18 **	-2,26 **
FMN _{-B-Mo} vs (FMN _{-Fe-Mn} +FMN _{-Zn-Cu})	0,13 ns	-0,02 ns	0,01 ns	0,28 ns	-0,05 ns	0,04 ns	1,43 **	0,16 **	4,26 ns	5,60 ns	0,05 ns	0,06 ns
FMN _{-Fe-Mn} vs FMN _{-Zn-Cu}	-0,19 ns	0,12 **	0,02 °	-0,35 ns	-0,27 *	0,11 **	-0,30 ns	0,12 *	0,59 ns	-6,70 ns	-1,68 **	-0,65 *
	----- mg/pl -----											
FMN _{-Nui} vs FMN _C	16,6 **	2,44 **	1,38 **	34,7 **	13,2 **	1,2 **	-0,0001 ns	-0,0010 °	0,02 ns	0,34 *	0,01 *	0,019 **
FMN _{-Macros} vs FMN _{-Micros}	15,6 **	2,67 **	1,55 **	49,6 **	18,2 **	0,6 *	-0,0041 **	0,0000 ns	0,07 ns	-0,26 *	0,00 ns	0,009 **
(FMN _{-N} +FMN _{-P-S}) vs (FMN _{-K} +FMN _{-Ca-Mg})	40,6 **	8,46 **	3,53 **	12,5 **	15,9 **	7,3 **	0,0006 ns	0,0021 **	0,09 ns	4,12 **	0,04 **	0,071 **
FMN _{-N} vs FMN _{-P-S}	26,9 **	-0,52 ns	2,01 **	29,1 **	11,7 **	4,6 **	-0,0068 **	0,0002 ns	0,27 **	0,49 **	0,02 **	0,035 **
FMN _{-K} vs FMN _{-Ca-Mg}	-13,1 **	-3,02 **	-0,93 **	72,7 **	-6,4 **	-18,0 **	-0,0042 **	0,0017 *	-0,01 ns	5,27 **	0,03 **	-0,031 **
FMN _{-B-Mo} vs (FMN _{-Fe-Mn} +FMN _{-Zn-Cu})	-2,4 ns	-0,97 **	-0,18 ns	-3,0 ns	-3,7 *	-0,1 ns	0,0022 *	0,0024 **	0,04 ns	-0,05 ns	0,00 ns	-0,005 ns
FMN _{-Fe-Mn} vs FMN _{-Zn-Cu}	-1,4 ns	2,06 **	0,45 *	-4,2 ns	-3,4 *	1,9 **	0,0016 ns	0,0019 *	0,01 ns	-0,04 ns	-0,03 **	-0,009 *

ns, °, * e ** Não significativo e significativo a 10, 5 e 1 % pelo teste de F, respectivamente.

Quadro 15. Contrastes médios para demanda de nutrientes na parte aérea pela planta (dNu_i_{PA})

Contraste	Contraste Medio											
	N	P	S	K	Ca	Mg	B	Mo	Fe	Mn	Zn	Cu
	----- mg/pl -----											
FMN _{-Nui} vs FMN _C	80,14 **	9,92 **	8,44 **	157,22 **	77,89 **	7,94 **	0,92 **	0,0008 ^{ns}	1,65 **	3,27 **	0,056 **	0,04 **
FMN _{-Macros} vs FMN _{-Micros}	29,86 **	8,44 **	6,60 **	166,93 **	75,63 **	-1,80 ^o	0,10 **	0,0023 **	1,35 **	-5,13 **	0,026 **	0,00 ^{ns}
(FMN _{-N} +FMN _{-P-S}) vs (FMN _{-K} +FMN _{-Ca-Mg})	156,03 **	23,97 **	14,80 **	10,69 ^{ns}	99,72 **	46,12 **	0,70 **	0,0027 **	1,61 **	27,94 **	0,098 **	0,11 **
FMN _{-N} vs FMN _{-P-S}	203,65 **	-0,08 ^{ns}	9,53 **	118,44 **	65,86 **	19,84 **	0,64 **	0,0005 ^{ns}	1,29 **	3,89 **	0,069 **	0,12 **
FMN _{-K} vs FMN _{-Ca-Mg}	-63,99 **	-5,04 **	-0,82 ^{ns}	339,20 **	-58,36 **	-85,00 **	0,15 **	0,0008 ^{ns}	0,35 ^o	39,31 **	0,052 **	-0,03 **
FMN _{-B-Mo} vs (FMN _{-Fe-Mn} +FMN _{-Zn-Cu})	10,59 ^{ns}	-0,54 ^{ns}	0,86 ^{ns}	52,24 **	2,27 ^{ns}	2,55 ^{ns}	1,77 **	0,0042 **	0,88 **	0,41 ^{ns}	0,014 ^{ns}	0,01 ^{ns}
FMN _{-Fe-Mn} vs FMN _{-Zn-Cu}	3,58 ^{ns}	5,87 **	2,26 **	4,04 ^{ns}	13,35 *	8,60 **	0,28 **	0,0054 **	0,64 **	1,26 ^{ns}	-0,009 ^{ns}	-0,01 ^o

^{ns}, ^o, * e ** Não significativo e significativo a 10, 5 e 1 % pelo teste de F, respectivamente.

Taxas de recuperação de nutrientes pelos extratores

O teores disponíveis de P extraídos pelo Mehlich-1 (M1) e Mehlich-3 (M3), S, Ca, Mg e Zn (M3) em função das doses do FMN apresentam ajuste curvilíneo. Os teores disponíveis de K (M1 e M3), B, Mn (M1), Zn (M1) e Cu (M1 e M3) relacionaram-se linearmente com as doses do FMN. Por sua vez os teores disponíveis de Fe (M1 e M3) e Mn (M3) não foram influenciadas pelas doses do FMN (Quadro 16 e 17); possivelmente porque a disponibilidade natural no solo utilizado foi alta para Fe e Mn (Quadro 1). A recuperação de P e Cu pelo extrator M1 foi maior do que pelo extrator M3, enquanto que a recuperação de K, Fe, Mn e Zn pelo extrator M1 foi menor do que pelo extrator M3. Para P encontrou-se maior capacidade de extração por M1 em comparação com M3; o que também foi constatado por Reis (2016) ao trabalhar com 12 solos submetidos a doses de P. O extrator M1 apresenta capacidade de solubilizar formas de P-Ca presentes no solo, dada sua gênese ou utilização prévia de fosfatos naturais de baixa reatividade (Novais et al., 2007).

Os níveis críticos de nutrientes no solo ($ncNu_i_{Sol}$) foram estimados ao final do experimento após de 290 d de cultivo, pela substituição da dose k_s do FMN para maior produção nas equações (Quadro 17) que relacionam os teores disponíveis de nutriente no solo ($tdNu_i_{Sol}$) com a doses do FMN aplicado. Os $ncNu_i_{Sol}$ para P, K, Mn, Zn e Cu (mg/dm^3) pelo extrator M1 foram 3,46; 36,96; 153,66; 3,61; 8,38 respectivamente, e para P, K, Zn e Cu (mg/dm^3) pelo extrator Mehlich-3 foram 1,58; 46,54; 3,92; 6,30 respectivamente. Por outro lado não se encontrou ajuste da equação para Fe (M1 e M3) e Mn (M3). Os $ncNu_i_{Sol}$ para Ca e Mg foram de 1,85 e 0,17 $cmol_c/dm^3$; para S e B foram de 11,04 e 1,32 mg/dm^3 (Quadro 17).

Os $ncNu_i_{Sol}$ para P, K e Zn foram menores, e os $ncNu_i_{Sol}$ dos micronutrientes B, Mn e Cu foram maiores em comparação aos níveis críticos no solo estabelecido para cafeeiro e apresentados por Guimarães et. al., (1999). Os $ncNu_i_{Sol}$ para Ca e Mg foram menores em comparação aos níveis críticos no solo apresentados por Alvarez V. et. al., (1999).

As taxas de recuperação de nutrientes pelos extratores ($trNu_i_{Ex}$), foram determinadas a partir do teor disponível de nutriente no solo ao final do experimento (após 290 d de cultivo) e calculadas pelas equações 2 e 3 (Quadro 18). Não encontrou-se ajuste nas equação de regressão para determinar as $trNu_i_{Ex}$ para Fe (M1 e M3) e Mn (M3) pela

equação 2 (Quadro 17). Para Mn (M1) a $trNu_i_Ex$ foi muito alta, devido a que os teores de Mn no solo serem naturalmente altos (Quadro 16).

As $trNu_i_Ex$ calculadas pela equação 2 são muito baixas principalmente para K, Ca e Mg devido, a que a equação 2 é válida para determinar a $trNu_i_Ex$ após incubação do nutriente com o solo, sem considerar o cultivo; ou seja, não se leva em consideração a absorção do nutriente pela planta, a qual diminuiu os teores disponíveis de nutrientes no solo em maior proporção a medida que aumentou a doses de nutrientes, por tanto, diminuiu a declividade da equação de regressão (menores $trNu_i_Ex$). Assim, no presente estudo foi proposta a equação 3, uma modificação da equação de cálculo da $trNu_i_Ex$ a partir dos teores disponíveis de nutrientes no solo ao final de um ciclo de cultivo e considerando a absorção de nutrientes pela planta; por conseguinte a equação 3 é adequada para determinar as $trNu_i_Ex$ ao final do ciclo de cultivo.

As taxas de recuperação para P e S são muito baixas e indicam a alta capacidade de adsorção de P e S pelo solo. Para P (M1 e M3) 89 e 91 % do P foi adsorvido pelo solo, do mesmo modo 78 % do S foi adsorvido pelo solo. Possivelmente a adsorção de P e S foram favorecida pelo longo período de cultivo (290 d) e a forma de aplicação parcelada e em solução nutritiva. Para os nutrientes do fertilizante existem dois drenos (solo e planta); com predomínio do solo sobre a planta para nutrientes aniônicos como fosfato e em menor grau, para o sulfato; essa condição caracteriza valores de poder tampão do solo elevados (Novais & Mello, 2007), como o solo utilizado (10.1 de P-rem).

Quadro 16. Teores disponíveis de nutrientes no solo ($tdNu_i$ _Sol) em função das doses do FMN e dos tratamentos com nutrientes faltantes após do cultivo (290 d)

Tratamento	P-M1	P-M3	S	K-M1	K-M3	B	Fe-M1	Fe-M3	Mn-M1	Mn-M3	Zn-M1	Zn-M3	Cu-M1	Cu-M3	Ca	Mg
	mg/dm ³														-- cmol/dm ³ --	
FMN _{10,00}	1,48	0,64	3,68	11,42	17,29	0,11	106,51	140,91	104,44	385,69	1,13	2,50	6,42	4,85	1,37	0,17
FMN _{10,10}	1,50	0,66	3,46	13,66	19,90	0,15	113,67	140,30	110,63	378,55	1,29	2,12	6,46	4,99	1,37	0,16
FMN _{10,25}	1,63	0,66	3,92	15,92	22,51	0,21	107,76	145,67	114,71	380,55	1,42	1,85	6,76	4,85	1,36	0,14
FMN _{10,45}	1,73	0,78	4,87	18,91	26,24	0,33	109,09	140,57	108,39	365,76	1,61	2,15	6,74	5,08	1,42	0,13
FMN _{10,70}	1,90	0,77	5,30	23,41	31,47	0,56	108,97	148,08	128,87	394,15	2,09	2,42	7,19	5,45	1,52	0,14
FMN _{11,00}	2,03	0,84	6,76	30,91	38,93	0,70	110,98	142,04	142,46	385,22	2,36	2,80	7,49	5,73	1,55	0,15
FMN _{11,35}	2,68	1,21	8,31	30,92	40,05	1,03	115,14	144,30	150,27	382,17	3,05	3,20	8,18	5,92	1,71	0,15
FMN _{11,75}	3,49	1,58	11,12	34,65	43,78	1,38	100,33	147,32	143,92	388,52	3,72	3,84	8,24	6,31	1,84	0,16
FMN _N	3,43	1,64	14,87	132,13	146,02	0,87	103,72	138,77	125,79	388,44	2,40	2,79	7,74	5,71	1,95	0,35
FMN _{P-S}	1,36	0,86	2,56	50,41	62,81	0,77	104,11	139,50	126,12	405,70	2,51	3,00	7,74	5,57	1,98	0,32
FMN _K	3,52	1,69	7,28	10,67	18,41	0,77	105,47	132,63	125,20	373,66	2,32	2,65	7,70	5,38	1,72	0,11
FMN _{Ca-Mg}	3,78	1,78	10,90	19,67	26,24	0,82	106,66	135,15	116,82	341,64	1,76	2,54	7,92	5,90	1,02	0,06
FMN _{B-Mo}	3,34	1,39	11,80	28,67	37,81	0,07	94,24	143,48	121,17	395,33	2,20	3,08	7,61	5,62	1,66	0,14
FMN _{Fe-Mn}	2,55	1,19	12,31	29,41	40,80	0,66	98,53	132,25	122,78	366,25	2,33	2,95	7,76	5,87	1,60	0,13
FMN _{Zn-Cu}	3,37	1,42	13,89	26,41	35,20	0,65	105,90	138,26	123,80	359,69	1,20	2,05	6,96	4,78	1,61	0,13
FMN _C	4,16	2,19	13,28	27,92	31,84	0,75	114,91	142,92	140,41	378,55	2,68	2,96	7,80	5,80	1,65	0,12

Extratores utilizados: P, K, Cu, Mn, Fe e Zn - Extrator Mehlich-1 e Mehlich-3; Ca²⁺, Mg²⁺ - Extrator KCl 1,0 mol/L; B - água quente; S - Fosfato monocálcico em ácido acético.

Quadro 17. Equações de regressão dos teores disponíveis de nutrientes no solo ($tdNu_i_{Sol}$) em função das doses do FMN, e nível crítico de nutriente no solo ($ncNu_i_{Sol}$) ao final do experimento

Nutriente	Equação	R ²	$ncNui_{Sol}^{(1)}$
			mg/dm ³
P-Mehlich 1	$\hat{y} = 1,529 + 0,0071^{ns}x + 0,626300*x^2$	0,990	3,46
P-Mehlich 3	$\hat{y} = 0,670 - 0,1041^{ns}x + 0,356119^o x^2$	0,978	1,58
S	$\hat{y} = 3,528 + 1,5898^{ns}x + 1,545869^o x^2$	0,995	11,04
K-Mehlich 1	$\hat{y} = 12,818 + 13,7982**x$	0,950	36,96
K-Mehlich 3	$\hat{y} = 19,010 + 15,7318**x$	0,956	46,54
B	$\hat{y} = 0,050 + 0,7278**x$	0,989	1,32
Fe-Mehlich 1	$\hat{y} = \bar{y} = 109,06$	-	<109,06
Fe-Mehlich 3	$\hat{y} = \bar{y} = 143,65$	-	<143,65
Mn-Mehlich 1	$\hat{y} = 106,662 + 26,8563**x$	0,847	153,66
Mn-Mehlich 3	$\hat{y} = \bar{y} = 385,58$	-	<385,58
Zn-Mehlich 1	$\hat{y} = 1,064 + 1,4575**x$	0,990	3,61
Zn-Mehlich 3	$\hat{y} = 2,207 - 0,2645^{ns}x + 0,710156**x^2$	0,918	3,92
Cu-Mehlich 1	$\hat{y} = 6,387 + 1,1401**x$	0,967	8,38
Cu-Mehlich 3	$\hat{y} = 4,792 + 0,8637**x$	0,971	6,30
			cmol _c /dm ³
Ca	$\hat{y} = 1,352 + 0,13238^o x + 0,087323*x^2$	0,983	1,85
Mg	$\hat{y} = 0,1625 - 0,0643**x + 0,037894**x^2$	0,648	0,17

P, K, Cu, Mn, Fe e Zn - Extrator Mehlich-1 e Mehlich-3; Ca²⁺, Mg²⁺ - Extrator KCl 1,0 mol/L; B - água quente; S - Fosfato monocálcico em ácido acético. ⁽¹⁾ Nível crítico de nutriente no solo para a maior produção de matéria seca na planta, determinadas com a dose k_s (FMN_{1,75}) nas equações ajustadas.

^{ns}, ^o, * e ** Não significativo e significativo a 10, 5 e 1 % pelo teste de F, respectivamente.

Quadro 18. Taxas de recuperação de nutrientes pelos extratores ($trNu_i_Ex$)

Variável	Unidade	P-M1	P-M3	S	K-M1	K-M3	Ca	Mg	B	Fe-M1	Fe-M3	Mn-M1	Mn-M3	Zn-M1	Zn-M3	Cu-M1	Cu-M3
$tdNu_{i,k>}$	mg/dm ³	3,46	1,58	11,04	36,96	46,54	370,23	20,17	1,32	109,06	143,65	153,66	385,58	3,61	3,92	8,38	6,30
$tdNu_{i0}$	mg/dm ³	1,53	0,67	3,53	12,82	19,01	270,41	19,75	0,05	109,06	143,65	106,66	385,58	1,06	2,21	6,39	4,79
$tdNu_{i_FMN_Nui}$	mg/dm ³	1,36	0,86	2,56	10,67	18,41	204,85	7,03	0,07	98,53	132,25	122,78	366,25	1,20	2,05	6,96	4,78
$qaNu_{i,k>}$	mg/dm ³	109,83	109,83	87,61	435,13	435,13	351,54	73,34	5,94	36,12	36,12	9,55	9,55	4,43	4,43	4,10	4,10
$dNu_{i,k>}$	mg	19,17	19,17	24,14	378,48	378,48	171,08	37,26	2,25	3,25	3,25	11,32	11,32	0,15	0,15	0,21	0,21
$dNu_{i_FMN_Nui}$	mg	5,85	5,85	14,65	61,30	61,30	102,33	17,99	0,40	2,39	2,39	7,41	7,41	0,10	0,10	0,12	0,12
$trNu_{i_Ex}^{(1)}$		0,018	0,008	0,086	0,055	0,063	0,284	0,006	0,214	0,000	0,000	4,920	0,000	0,576	0,387	0,487	0,369
$trNu_{i_Ex}^{(2)}$		0,022	0,007	0,109	0,223	0,239	0,585	0,243	0,305	0,299	0,323	5,471	3,425	0,551	0,426	0,356	0,380

P, K, Fe, Mn, Zn e Cu - Extrator Mehlich-1 (M1) e Mehlich-3 (M3); Ca²⁺, Mg²⁺ - Extrator KCl 1,0 mol/L; B - água quente; S - Fosfato monocálcico em ácido acético. Equações que foram utilizadas para cálculo: ⁽¹⁾ $trNu_{i_Ex} = (tdNu_{i,k>} - tdNu_{i0}) / qaNu_{i,k>}$; ⁽²⁾ $trNu_{i_Ex} = (tdNu_{i,k>} - tdNu_{i_FMN_Nui}) / qaNu_{i,k>} - (dNu_{i,k>} - dNu_{i_FMN_Nui})$, em que: $trNu_{i_Ex}$ = taxa de recuperação do nutriente i pelo extrator; $tdNu_{i,k>}$ = teor disponível de nutrientes i no solo na dose k>; $tdNu_{i0}$ = teor disponível do nutriente i no solo na dose 0; $tdNu_{i_FMN_Nui}$ = teor disponível de nutrientes i no tratamento com nutriente i faltante; $qaNu_{i,k>}$ = quantidade aplicada do nutriente i na dose k> do FMN, em mg/dm³; $dNu_{i,k>}$ = demanda do nutriente i pela parte aérea na dose k> e $dNu_{i_FMN_Nui}$ = demanda do nutriente i pela parte aérea no tratamento com nutriente i faltante (FMN-Nui).

Taxas de recuperação de nutrientes pela planta

As doses do FMN provocaram acréscimo linear nos teores de N, P, S, B e Mn na folha; enquanto que para os teores de K, Ca, Cu, Mg, Zn e Mo houve resposta positiva às doses do FMN com ajuste curvilíneo (Quadro 19).

Os níveis críticos de nutrientes na folha de café ($ncNu_i_F$) foram estimados substituindo-se a dose k_0 nas equações de regressão ajustada (Quadro 19). Os $ncNu_i_F$ dos macronutrientes N, P, S, K, Ca e Mg (g/kg) foram de 18,66; 1,04; 1,43; 20,88; 10,31 e 2,15 respectivamente, e para os micronutrientes B, Mo, Fe, Mn, Zn e Cu os $ncNu_i_F$ (mg/kg) foram de 166,18; 0,26; 203,94; 713,17; 7,76 e 9,59 respectivamente. Os níveis críticos de nutrientes na folha de café ($ncNu_i_F$) obtido no crescimento inicial do café foram menores em comparação aos apresentados por Martinez et. al. (1999), para N, P, Ca, Mg e Cu; não obstante os $ncNu_i_F$ de B, Fe, Mn, e Zn foram maiores, e os $ncNu_i_F$ de S e K foram semelhantes.

Quadro 19. Equações de regressão dos teores de nutrientes na folha ($ttNu_i_F$) em função das doses do FMN; e nível crítico do nutriente na folha ($ncNu_i_F$)

Nutriente	Equação	R ²	$ncNu_i_F$
			-- g/kg --
N	$\hat{y} = 12,316 + 3,6229^{**}x$	0,980	18,66
P	$\hat{y} = 0,919 + 0,0669^{*}x$	0,649	1,04
S	$\hat{y} = 1,321 + 0,0617^{*}x$	0,534	1,43
K	$\hat{y} = 11,834 + 10,5500^{**}x - 3,076005^{**}x^2$	0,986	20,88
Ca	$\hat{y} = 13,423 - 4,6928^{**}x + 1,666055^{**}x^2$	0,949	10,31
Mg	$\hat{y} = 2,638 - 0,9733^{**}\sqrt{x} + 0,454555^{**}x$	0,961	2,15
			-- mg/kg --
B	$\hat{y} = 95,455 + 40,4155^{**}x$	0,963	166,18
Mo	$\hat{y} = 0,0969 + 0,48039^{\circ}\sqrt{x} - 0,271898^{ns}x$	0,894	0,26
Fe	$\hat{y} = 251,162 - 178,6794^{**}x + 222,15966^{**}x^2 - 77,414674^{*}x^3$	0,884	203,94
Mn	$\hat{y} = 885,137 - 98,2675^{**}x$	0,474	713,17
Zn	$\hat{y} = 10,122 - 4,1688^{**}\sqrt{x} + 1,803944^{\circ}x$	0,921	7,76
Cu	$\hat{y} = 7,967 - 1,0653^{ns}x + 1,140059^{**}x^2$	0,943	9,59

⁽¹⁾ Nível crítico de nutriente na folha para a maior produção de matéria seca na planta, determinadas pela substituição da dose k_0 (FMN_{1,75}) nas equações ajustadas; a folha analisada foi uma média de todas as folhas da planta. ^{ns}, [°], * e ** Não significativo e significativo a 10, 5 e 1 % pelo teste de F, respectivamente.

A demanda de nutriente pela parte aérea da planta (dNu_i_{PA}) aumentou com as doses do FMN aplicado, para N, Mo, Zn e Cu apresentou ajuste linear, e a de P, S, K, Ca, Mg, B, Fe e Mn apresentou resposta curvilínea (Quadro 20). Esse incremento ocorre devida à maior produção de matéria seca. A ordem de acúmulo de nutrientes pela parte aérea da planta foram: K > N > Ca > Mg > S > P > Mn > Fe > B > Cu > Zn > Mo.

As taxas de recuperação de nutrientes pela parte aérea da planta ($trNui_PA$) calculadas considerando a demanda do nutriente na dose 0 (Equação 4), foram maiores em comparação às $trNui_PA$ considerando-se a demanda de nutriente no tratamento com nutriente faltante (Equação 5), para N, K e B com 2-10 % de variação; P, Mg e Mo com 20-37 % de variação e S, Ca, Fe, Mn, Zn e Cu com 50-69 % de variação (Quadro 21).

A determinação das $trNui_PA$ utilizando a equação 4 proposta por Craswell & Godwin (1984) considerando a demanda de nutriente na dose 0 (dNu_i0) verifica-se que, a eficiência da planta em extrair nutrientes está limitada pela deficiência dos demais nutrientes; em consequência obtém-se superestimação das $trNui_PA$. Portanto a determinação das $trNui_PA$ utilizando a equação 5 modificada por Alvarez V. et. al. (2014) que considera a demanda do tratamento com nutriente faltante ($dNu_i_{FMN-Nui}$) pode ser considerada a mais adequada; porque se aproxima mais da determinação da eficiência da planta em extrair nutriente do solo quando os demais nutrientes estão na dose recomendada. Segundo Craswell & Godwin (1984) a taxa de recuperação de nutriente pela planta reflete a eficiência da planta na obtenção de nutrientes do fertilizantes aplicado no solo. As $trNui_PA$ determinadas (Equação 5) para o crescimento inicial do café são muito maiores (2-7 vezes em macronutrientes e 1-14 vezes em micronutrientes) em comparação aos obtidos por Ferreira (2017) na produção de mudas de café utilizando o mesmo tipo de solo. A eficiência da planta na absorção do nutriente varia de acordo com a idade da planta (Stahringer, 2013), devido principalmente à variação do volume radicular com a idade da planta.

Quadro 20. Equações de regressão da demanda de nutrientes pela parte aérea da planta (dNu_i_PA) em função das doses do FMN e demanda de nutriente pela parte aérea para a maior produção ($dNu_i k_s$)

Nutriente	Equação	R ²	$dNu_i k_s^{(1)}$ mg/pl
N	$\hat{y} = 59,9057 + 314,2693^{**}x$	0,924	609,877
P	$\hat{y} = 4,7607 + 25,3238^{**}x - 3,508305x^2$	0,994	38,333
S	$\hat{y} = 6,1536 + 31,4829^{**}x - 4,232145^{**}x^2$	0,991	48,288
K	$\hat{y} = 58,0475 + 476,5312^{**}x - 44,088594x^2$	0,997	756,956
Ca	$\hat{y} = 66,0453 + 220,5400^{**}x - 35,863443^{**}x^2$	0,992	342,159
Mg	$\hat{y} = 13,3016 + 44,4525^{**}x - 5,411661x^2$	0,989	74,520
B	$\hat{y} = 0,4078 - 0,68222x\sqrt{x} + 2,851127^{**}x$	0,997	4,495
Mo	$\hat{y} = 0,0012 + 0,00593x$	0,971	0,012
Fe	$\hat{y} = 0,9730 + 4,5436^{**}x - 0,789445x^2$	0,983	6,507
Mn	$\hat{y} = 3,7410 + 18,2053^{**}x - 4,234500x^2$	0,981	22,632
Zn	$\hat{y} = 0,0536 + 0,1420^{**}x$	0,989	0,302
Cu	$\hat{y} = 0,0497 + 0,2156^{**}x$	0,993	0,427

⁽¹⁾ Obtido pela substituição da dose k_s nas equações de regressão ajustadas. °, * e ** Significativo a 10, 5 e 1 % pelo teste de F, respectivamente.

Quadro 21. Taxas de recuperação de nutrientes pela parte aérea da Planta ($trNu_i_{PA}$) após 290 d

Variável	Unidade	N	P	S	K	Ca	Mg	B	Mo	Fe	Mn	Zn	Cu
$dNu_{ik>}$	mg/pl	609,877	38,333	48,288	756,956	342,159	74,520	4,495	0,012	6,507	22,632	0,302	0,427
dNu_{i0}	mg/pl	59,906	4,761	6,154	58,048	66,045	13,302	0,408	0,001	0,973	3,741	0,054	0,050
$dNu_{i_FMN_Nui}$	mg/pl	73,215	11,706	29,308	122,603	204,662	35,984	0,804	0,004	4,777	14,816	0,204	0,249
$qaNu_{ik>}$	mg/pl	819,919	219,656	175,217	870,262	703,080	146,683	11,889	0,820	72,235	19,104	8,855	8,199
$trNu_{i_PI}^{(1)}$		0,671	0,153	0,240	0,803	0,393	0,417	0,344	0,013	0,077	0,989	0,028	0,046
$trNu_{i_PI}^{(2)}$		0,655	0,121	0,108	0,729	0,196	0,263	0,310	0,009	0,024	0,409	0,011	0,022

Equação utilizada para cálculo: $^{(1)} trNu_{i_PA} = (dNu_{ik>} - dNu_{i0}) / qaNu_{ik>}$; e $^{(2)} trNu_{i_PA} = (dNu_{ik>} - dNu_{i_FMN1_Nui}) / qaNu_{ik>}$; em que: $trNu_{i_PA}$ = taxa de recuperação de nutriente parte aérea da planta; $dNu_{ik>}$ = demandas do nutriente para maior produção de matéria seca; dNu_{i0} = demandas do nutriente na dose 0, calculadas nas equações de regressão ajustadas; $dNu_{i_FMN_Nui}$ = demanda no tratamento com o nutriente i faltante; $qaNu_{ik>}$ = quantidade aplicada de nutriente na dose ($k_{>}$) do FMN para maior produção de matéria seca.

Novo fertilizante multinutriente (FMN2)

A partir dos dados gerados na segunda fase do Método Requerimento-Suprimento é necessário ajustar a composição do FMN. Para isso realizou-se um novo balanço de nutriente. O módulo requerimento obtido a partir da demanda de nutriente na parte aérea (dNu_i_{PA}) necessária para obter a maior produção (Quadro 20), que corrigidas pela taxa de recuperação pela parte aérea da planta ($trNu_i_{PA}$) obtidas pela equação 5 (Quadro 21), indica o requerimento de nutriente ($rqNu_i$). No módulo Suprimento utilizaram-se os teores disponíveis do solo utilizado inicialmente (Quadro 1), corrigidas pelas taxas de recuperação de nutriente pelo extrator ($trNu_i_{Ex}$) determinadas pela equação 3 (Quadro 18).

A dose recomendada do novo FMN2 para a produção alcançada com a maior dose no crescimento inicial do café é 16,2943 g/vaso, com a seguinte composição de nutriente (em % m/m): 10 N; 5,531 P₂O₅; 4,674 S; 13,238 K₂O; 17,949 Ca; 2,5 Mg; 0,162 B; 0,016 Mo; 0,302 Zn; e 0,132 Cu.

A composição de Mo no FMN2 foi determinada a partir do requerimento da planta, sem considerar suprimento do solo pela falta de um método de análise adequado. O suprimento de Fe e Mn pelo solo foi maior ao requerimento, devido aos teores disponíveis natural do solo são muito altos, não sendo necessário na composição do FMN2.

Quadro 22. Demanda, requerimento, suprimento e composição do novo FMN2

Variável ⁽¹⁾	Unidade	N	P	S	K	Ca	Mg	B	Mo	Fe	Mn	Zn	Cu
<i>dNu_ik_s</i>	mg/vaso	1219,75	76,67	96,58	1513,91	684,32	149,04	8,99	0,02	13,01	45,26	0,60	0,85
<i>trNu_i_PA</i>		0,65	0,12	0,11	0,73	0,20	0,26	0,31	0,01	0,02	0,41	0,01	0,02
<i>rqNu_i_PA</i>	mg/vaso	1863,55	632,45	891,58	2076,92	3499,21	567,30	28,96	2,62	543,34	110,64	54,44	39,29
<i>tdNu_i_Sol</i>	mg/dm ³	⁽²⁾ 58,53	1,30	3,53	16,00	84,00	9,72	0,20	-	275,00	39,50	0,72	1,58
<i>trNu_i_Ex</i>		⁽²⁾ 1,00	0,02	0,11	0,22	0,58	0,24	0,30	-	0,30	⁽³⁾ 0,88	0,55	0,36
<i>suNu_i_Sol</i>	mg/vaso	234,12	238,97	130,06	287,12	574,55	159,92	2,62	-	3682,65	178,73	5,22	17,77
<i>drNu_i</i>	mg/vaso	1 629,43	393,48	761,52	1 789,80	2 924,66	407,38	26,33	2,62	-3139,31	-68,09	49,21	21,52
<i>tNu_i_FMN2</i>	%	10,000	2,415	4,674	10,985	17,949	2,500	0,162	0,016	-	-	0,302	0,132

⁽¹⁾ *dNu_ik_s* = demandas de nutriente na parte aérea para maior produção de matéria seca; *trNu_i_PA* = taxa de recuperação de nutriente pela parte aérea da planta; *rqNu_i_PA* = requerimento do nutriente *i* pela parte aérea; *tdNu_i_Sol* = teor disponível do nutriente *i* no solo; *trNu_i_Ex* = taxa de recuperação do nutriente *i* pelo extrator; *suNu_i_Sol* = suprimento do nutriente *i* pelo solo; *drNu_i* = dose recomendada do nutriente *i*; *tNu_i_FMN2* = composição de nutrientes no FMN2, assumiu-se como teor de N no FMN2 o valor de 10 %; portanto os demais nutrientes foram multiplicado por 10 e dividido por a dose recomendada de nitrogênio. ⁽²⁾ Como não foi analisado N, valor obtido a partir da MOS determinado pelo Método desenvolvido por Stanford & Smith (1972), adaptado para condições de solos tropicais com base no trabalho de Gonçalves et. al., (2001). ⁽³⁾ Extraído de Aspiazú (2004).

4 CONCLUSÕES

A produção de matéria seca das plantas no crescimento inicial do café aumenta com as doses do FMN, encontrando-se a dose para produção máxima fora do espaço experimental.

Para o crescimento inicial do café a maior limitação nutricional foi pela omissão de macronutrientes, sendo a deficiência de N o mais limitante, a ordem de limitação pela omissão de nutrientes foi: $N > P$ e $S > K > Ca$ e $Mg > Fe$ e $Mn > B$ e $Mo > Zn$ e Cu .

Para determinar as taxas de recuperação de nutrientes pelos extratores após cultivo, com dreno solo e planta, a equação modificada é a mais adequada porque considera a absorção de nutriente pela planta.

As taxa de recuperação de nutriente pela planta calculadas com a equação modificada, considerando a demanda no tratamento com omissão de nutriente é a mais adequada porque elimina o efeito da limitação dos demais nutrientes.

A dose recomendada do novo fertilizante multinutriente para a produção alcançada com a maior dose, no crescimento inicial do café é 16,294 g/vaso, com a seguinte composição de nutriente (em % m/m): 10 N; 5,531 P_2O_5 ; 4,674 S; 13,238 K_2O ; 17,949 Ca; 2,5 Mg; 0,162 B; 0,016 Mo; 0,302 Zn; e 0,132 Cu.

5 LITERATURA CITADA

- ALVAREZ V., V.H.; DIAS, L.E.; RIBEIRO JR., E.S.; SOUZA, R.B. & FONSECA, C.A. Métodos de análises de enxofre em solos e plantas. Viçosa: UFV, 2001. 131p.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B.; LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 289-302.
- ALVAREZ V., V.H.; SANTOS, A.F.; SANTOS, G.L.A.A. & MATTA, P.M. Fertilização de plantas ornamentais pelo Método Requerimento-Suprimento: Proposição de técnica experimental. R. Bras. Ci. Solo, 38: 532-540, 2014.
- ALVAREZ V., V.H. & FERREIRA, J.G. Método Requerimento-Suprimento na produção de mudas de cafeeiro. In: Anais do XX Congreso Latinoamericano y XVI Congreso Peruano de la Ciencia del Suelo. Lima, Perú: SLCS/SPCS, 2014.
- ASPIAZÚ, I. Extração de ferro e manganês por Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA em solos de Minas Gerais e da Bahia. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2004. 46p. (Tese de Mestrado)
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; TEIXEIRA, J.L. & FERNANDES FILHO, E.I. NUTRICALC 2.0 - Sistema para cálculo del balance nutricional y recomendación de fertilizantes para el cultivo de eucalipto. Bosque, 16:129-131, 1995.
- BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e plantas. Rev. Ceres, v.21, n.113, p.73-85, 1974.
- CANTARUTTI, R.B.; BARROS, N.F.; MARTINEZ, H.E.P.; NOVAIS, R.F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. Fertilidade do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo. p.769-850. 2007.
- CRASWELL, E.T. & GODWIN, D.C. The efficiency of nitrogen fertilizers applied to cereals in different climates. In: TINKER, P.B. & LAUCHLI, A., eds. Advances in plant nutrition. New York, Praeger Scientific, 1984. v.1. p.1-55.

- DECHEN, A.R. & NACHTIGALL, G.R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. Fertilidade do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo. p.91-132, 2007.
- DEFELIPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. Análise química do solo (metodologia). 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 1997. 26p. (Boletim de extensão 29).
- FAQUIN, V. Nutrição mineral de plantas. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 183 p.
- FERREIRA, J.G. Recomendação de nutrientes para a produção de mudas de cafeeiro pelo Método Requerimento – Suprimento. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2017. 86p. (Dissertação de Mestrado).
- FERREIRA, J.G.; ALVAREZ V., V. H. & REIS, J.V. Produção de mudas de cafeeiro em resposta a doses do fertilizante multinutriente estabelecido pelo Método Requerimento-Suprimento. In: Anais do III Simpósio Mineiro de Ciência do Solo. Viçosa, Brasil: SMCS, 2015.
- GONÇALVES, J.L.M.; MENDES, K.C.F.S. & SASAKI, C.M. Mineralização de nitrogênio em ecossistemas florestais naturais e implantados do Estado de São Paulo. R. Bras. Ci. Solo, 25:601-616, 2001.
- GUIMARÃES, P.T.G.; GARCIA, A.O.W.R.; ALVAREZ V., V.H.; PREZOTTI, L.C.; VIANA, A.S.; MIGUEL, A.E.; MALAVOLTA, E.; CORRÊA, J.B.; LOPES, A.S.; NOGUEIRA, F.D.; MONTEIRO, A.V.C.; OLIVEIRA, J.A. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 289-302.
- KURIHARA, C.H. Demanda de nutrientes pela soja e diagnose de seu estado nutricional. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2004. 101p. (Tese de Doutorado).
- MALAVOLTA, E. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafos, 1986. p. 136-274.
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Ceres, 1980. 251p.

- MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A.W.R.; ALMEIDA, S.R.; FERNANDES, D.R. Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendações. 2.ed. rev. ampl. Rio de Janeiro: MAPA: Procafé, 2005. 438p.
- MARTINEZ, H.E.P.; CARVALHO, J.G. & SOUZA, R.B. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 289-302.
- MATTA, P.M. Recomendação de fertilizantes para violeta africana baseada na demanda nutricional da planta. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2012. 74p. (Dissertação de Mestrado)
- MARSCHNER P. Marchner's mineral nutrition of higher plants. 3rd ed. New York, Academic Press. 2012. 651p.
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J.; NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. Fertilidade do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo. p.91-132, 2007.
- NOVAIS, R.F. & MELLO, J.W.V. Relação solo-planta. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.276-374.
- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG: UFV, DPS,1999. 399 p.
- OLIVEIRA, F.H.T.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & CANTARUTTI, R.B. Desenvolvimento de um sistema para recomendação de adubação para a cultura da bananeira. R. Bras. Ci. Solo, 29:131-143, 2005.
- SANTOS, A.F. Composição mineral do meio de cultura para crescimento in vitro de *Cattleya walquiriana*. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2008. 24p. (Dissertação de Mestrado)
- SANTOS, G.L.A.A. Adubação com macro e micronutrientes ajustada à demanda nutricional da violeta africana. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2011. 30p. (Dissertação de Mestrado).

- REIS, J.V. Potencial do extrator Mehlich-3 na avaliação da disponibilidade de fósforo de diferentes solos. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2016. 66p. (Dissertação de Mestrado).
- SANTOS F.C., NEVES J.C.L., NOVAIS R.F., ALVAREZ V V.H., SEDIYAMA C.S. Modelagem da recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja. R Bras Ci Solo. 2008;32:1661-74.
- SILVA, A.P.; ALVAREZ V., V.H.; SOUZA, A.P.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F. & DANTAS, J.P. Sistema de recomendação de fertilizantes e corretivos para a cultura do abacaxi – FERTICALC-Abacaxi. R Bras Ci Solo. 2009; 33:1269-80.
- STAHRRINGER, N.I. Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da laranja com base no balanço nutricional (FERTICALC - Laranja). Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2013. 120p. (Dissertação de Mestrado).
- STANFORD, G. & SMITH, S.J. Nitrogen mineralization potential of soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 36:465-472, 1972.
- TOMÉ JUNIOR, J.B. Uma nova abordagem nas recomendações de adubação. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2004. 133 p. (Tese de Doutorado).

6 APÊNDICE

Apêndice 1. Composição do fertilizante multinutriente (FMN) estabelecido pelo Método Requerimento-Suprimento para produção de mudas

Variavel	mMS	N	P	S	K	Ca	Mg	B	Mo	Fe	Mn	Zn	Cu
Modulo Requerimento ⁽¹⁾													
Teor de nutriente por compartimento (<i>tNu_i_C_j</i>)													
	g/pl	----- g/kg -----						----- mg/kg -----					
<i>tNu_i_Folha</i>	1,595	28,31	2,74	1,78	27,10	13,65	3,10	67,50	-	263,50	77,00	32,00	25,98
<i>tNu_i_Caule</i>	0,373	13,33	1,95	1,10	23,00	4,55	1,83	32,86	-	119,00	28,00	27,00	21,58
<i>tNu_i_Raiz</i>	0,344	15,26	1,80	2,77	14,39	8,76	4,07	34,96	-	384,00	33,00	25,00	16,27
Conteúdo de nutriente por compartimento (<i>trNu_i_C_j</i>)													
		mg/pl											
<i>cNu_i_Folha</i>		45,154	4,370	2,839	43,225	21,772	4,945	0,108	-	0,420	0,123	0,051	0,041
<i>cNu_i_Caule</i>		4,978	0,728	0,411	8,587	1,699	0,682	0,012	-	0,044	0,010	0,010	0,008
<i>cNu_i_Raiz</i>		5,256	0,620	0,954	4,955	3,018	1,401	0,012	-	0,132	0,011	0,009	0,006
<i>dNu_i_Pl</i>		55,388	5,718	4,204	56,766	26,488	7,028	0,132	-	0,597	0,145	0,070	0,055
<i>trNu_i_Pl⁽²⁾</i>		0,690	0,240	0,210	0,570	0,330	0,400	0,100	-	0,065	0,055	0,066	0,061
<i>rqNu_i_Pl</i>		80,272	23,825	20,017	99,590	80,266	17,569	1,320	0,070	9,184	2,630	1,056	0,903
Modulo Suprimento													
		mg/dm ³											
<i>tdNu_i_Sol</i>		28,00	1,30	1,20	16,00	84,00	9,60	0,20	-	275,00	39,50	0,72	1,58
<i>trNu_i_Ex⁽³⁾</i>		1,00	0,30	0,45	0,85	0,63	0,63	0,45	-	0,35	0,40	0,39	0,40
<i>qdNu_i_Sol</i>		28,00	4,33	2,67	18,82	133,33	15,24	0,44	-	785,71	98,75	1,85	3,95
<i>sustNu_i_Sol</i>		21,33	0,67	1,00	6,33	120,84	11,91	0,35	-	784,71	98,42	1,75	3,88
<i>suNu_i_Sol</i>		6,67	3,67	1,67	12,50	12,50	3,33	0,10	-	1,00	0,33	0,10	0,07
<i>suNu_i_Fc</i>		13,33	6,33	8,33	37,50	27,50	6,67	0,50	-	5,00	1,67	0,50	0,33
<i>suNui_Solc</i>		20,00	10,00	10,00	50,00	40,00	10,00	0,60	-	6,00	2,00	0,60	0,40
Fertilizante multinutriente (FMN)													
		mg/pl = mg/0,5dm ³											
<i>rqNu_i_Pl</i>		80,27	23,83	20,02	99,59	80,27	17,57	1,320	0,070	9,184	2,630	1,056	0,903
<i>suNu_i_Solc</i>		10,00	5,00	5,00	25,00	20,00	5,00	0,300	-	3,000	1,000	0,300	0,200
<i>drNu_i</i>		70,27	18,83	15,02	74,59	60,27	12,57	1,020	0,070	6,184	1,630	0,756	0,703
<i>tNu_i_FMN⁽⁴⁾</i>	%	10,00	2,68	2,14	10,61	8,58	1,79	0,145	0,010	0,880	0,232	0,108	0,100

t=teor; *Nui*=nutriente i; *c*=conteúdo; *d*=demanda; *tr*=taxa de recuperação; *rq*=requerimento; *td*=teor disponível; *qd*=quantidade disponibilizada; *sust*=sustentabilidade; *su*=suprimento; *dr*=dose recomendada; *Pl*=planta; *Sol*=solo; *Ex*=extrator; *Fc*=fertilização de correção; *Solc*=solo corrigido. ⁽¹⁾ Modulo requerimento obtido a partir de três amostras de 20 mudas comerciais produzidas em saquinhos de 0,5 dm³ e de cinco pares de folhas. ^{(2); (3)} Extraído de Santos (2011), Da Matta (2012) e Stahringer (2013); ⁽⁴⁾ Composição do fertilizante multinutriente se obteve utilizando como valor de referência o N: *tNu_i_FMN* = 10 x *drNu_i/drN*, por tanto a *drFMN* para produção de mudas foi 1405,456 mg/dm³ parcelado em 12 aplicações de 117,1312 mg/dm³/Aplicação.

Fonte: Alvarez V. & Ferreira (2014) e Ferreira et. al. (2015).

Apêndice 2. Reagentes utilizados para a formulação do fertilizante multinutriente (FMN)

Reagente	Fórmula molecular
Monoamônio fosfato	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$
Cloreto de potássio	KCl
Sulfato de potássio	K_2SO_4
Sulfato de magnésio	MgSO_4
Nitrato de cálcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$
Uréia	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$
Carbonato de cálcio	CaCO_3
Carbonato de magnésio	MgCO_3
Molibidato de amônio	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Cloreto de cobre(II)	$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Ácido bórico	H_3BO_3
Cloreto de manganês	$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Cloreto de zinco	
Ácido etilenodiamino tetra-acético disódico	$\text{Na}_2\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{N}_2\text{O}_8$
Sulfato de ferro(II)	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Apêndice 3. Demonstração de que a taxa de recuperação do nutriente i após cultivo ($trNu_i_{Ex}^{(2)}$; Eq 3) é modificação da taxa de recuperação do nutriente i após incubação e sem cultivo ($trNu_i_{Ex}^{(1)}$; Eq 2).

$$trNu_i_{Ex}^{(1)} = \frac{\Delta tdNui}{\Delta qaNui}$$

$$trNu_i_{Ex}^{(1)} = \frac{(tdNui_{k>} - tdNui_{k0})}{(qaNui_{k>} - qaNui_{k0})}$$

Em que: tr = taxa de recuperação; Nu_i = nutriente i ; td = teor disponível obtido com determinado extrator (Ex); $k>$ = maior dose; $k0$ = dose 0; qa = quantidade adicionada.

$$trNu_i_{Ex}^{(1)} = \frac{(td_1Nui_{k>} - td_1Nui_{k0})}{qaNui_{k>}} \quad (Eq. 2)$$

A equação 2 é válida para determinar a taxa de recuperação pelo extrator ($trNu_i_{Ex}^{(1)}$) após incubação e sem efeito de cultivo (unicamente dreno solo).

Quando se determina a taxa de recuperação pelo extrator após cultivo ($trNu_i_{Ex}^{(2)}$), os teores disponível ($td_2Nu_i_{k0}$ e $td_2Nu_i_{k>}$) ficam subestimados, não se detecta o efeito do dreno planta ($td_2Nu_i_{Ab}$).

Considerando que o td_2 , com efeito de cultivo, é o td_1 , sem efeito de cultivo, este fica diminuído pelo efeito da absorção de nutrientes durante o cultivo (Ab).

$$\text{Assim: } td_2Nu_i_{k} = td_1Nu_i_{k} - td_2Nu_i_{Abk}$$

$$\text{Por tanto: } td_1Nu_i_{k} = td_2Nu_i_{k} + td_2Nu_i_{Abk}$$

Substituindo na equação 2 o valor de $td_1Nu_i_{k}$ por $td_2Nu_i_{k} + td_2Nu_i_{Abk}$ tem-se a $trNu_i_{Ex}^{(2)}$.

$$trNu_i_{Ex}^{(2)} = \frac{(td_2Nu_i_{k>} + td_2Nu_i_{Abk>}) - (td_2Nu_i_{k0} + td_2Nu_i_{Abk0})}{qaNui_{k>}} \quad (Eq 2.1)$$

Se o $td_2Nu_i_{Abk} = 0$, retorna-se à equação 2. Mas se $td_2Nu_i_{Abk} > 0$ o $trNu_i_{Ex}^{(2)}$ será maior do que $trNu_i_{Ex}^{(1)}$. E será tanto maior quanto o Nu_i for absorvido e acumulado na planta durante o cultivo.

Como $td_2Nu_i_{Abk}$ está na escala de demanda (d) é necessário passar d para a escala de teor disponível td .

$$td_2Nu_i_{Abk} = dNu_i_{k} \times trNu_i_{Ex}^{(2)}; \text{ que ao ser substituído na equação 2 se tem:}$$

$$trNu_i_{Ex}^{(2)} = \frac{[td_2Nu_i_{k>} + (dNu_i_{k>} \times trNu_i_{Ex}^{(2)})] - [td_2Nu_i_{k0} + (dNu_i_{k0} \times trNu_i_{Ex}^{(2)})]}{qaNui_{k>}} \quad (Eq 2.2)$$

A $trNu_i_Ex^{(2)}$ (Eq 2.2) inicialmente é calculada com a equação 2 ($trNu_i_Ex^{(1)}$) (quando se considera que $td_2Nu_i_Abk = 0$). Para se chegar a $trNu_i_Ex^{(2)}$ é necessário utilizar processo iterativo.

Também, na $trNu_i_Ex^{(2)}$ considera-se mais adequado utilizar o teor disponível do Nu_i obtido no tratamento do FMN sem o Nu_i ($td_2Nu_i_FMN_Nu_i$) em lugar de $td_2Nu_i_k0$. Assim:

$$trNu_i_Ex^{(2)} = \frac{[td_2Nu_i_k_> + (dNu_i_k_> \times trNu_i_Ex)] - [td_2Nu_i_FMN_Nu_i + (dNu_i_FMN_Nu_i \times trNu_i_Ex)]}{qaNu_i_k_>}$$

$$trNu_i_Ex^{(2)} = \frac{(td_2Nu_i_k_> - td_2Nu_i_FMN_Nu_i) + [(dNu_i_k_> \times trNu_i_Ex) - (dNu_i_FMN_Nu_i \times trNu_i_Ex)]}{qaNu_i_k_>}$$

$$trNu_i_Ex^{(2)} = \frac{[(td_2Nu_i_k_> - td_2Nu_i_FMN_Nu_i) + trNu_i_Ex (dNu_i_k_> - dNu_i_FMN_Nu_i)]}{qaNu_i_k_>}$$

$$trNu_i_Ex^{(2)} \times qaNu_i_k_> = [(td_2Nu_i_k_> - td_2Nu_i_FMN_Nu_i) + trNu_i_Ex (dNu_i_k_> - dNu_i_FMN_Nu_i)]$$

$$trNu_i_Ex^{(2)} \times qaNu_i_k_> - trNu_i_Ex (dNu_i_k_> - dNu_i_FMN_Nu_i) = (td_2Nu_i_k_> - td_2Nu_i_FMN_Nu_i)$$

$$trNu_i_Ex^{(2)} [qaNu_i_k_> - (dNu_i_k_> - dNu_i_FMN_Nu_i)] = (td_2Nu_i_k_> - td_2Nu_i_FMN_Nu_i)$$

$$trNu_i_Ex^{(2)} = \frac{(td_2Nu_i_k_> - td_2Nu_i_FMN_Nu_i)}{qaNu_i_k_> - (dNu_i_k_> - dNu_i_FMN_Nu_i)} \quad (Eq 3)$$