

FÁBIO HENRIQUE TAVARES DE OLIVEIRA

**SISTEMA PARA RECOMENDAÇÃO DE CALAGEM E  
ADUBAÇÃO PARA A CULTURA DA BANANEIRA**

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

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2002

FÁBIO HENRIQUE TAVARES DE OLIVEIRA

**SISTEMA PARA RECOMENDAÇÃO DE CALAGEM E  
ADUBAÇÃO PARA A CULTURA DA BANANEIRA**

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

APROVADA: 10 de outubro de 2002



Prof. Víctor Hugo Álvarez-V.  
(Conselheiro)



Prof. Heinaldo Bertola Cantarutti  
(Conselheiro)



Prof. Paulo César Rezende Fontes



Pesq. Ana Lúcia Borges



Prof. Roberto Ferreira de Novais  
(Orientador)

Aos meus pais João Batista (“*in memoriam*”) e Francisca.

Às minhas irmãs Fabíola e Fabiana.

À minha esposa Elizabete e ao meu filho Daniel.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela sua graça e companhia em todos os momentos.

À toda a minha família, especialmente aos meus pais, irmãos e tios que contribuíram diretamente para minha formação acadêmica.

À minha esposa Elizabete e ao meu filho Daniel, pela companhia e pelo importante apoio emocional durante a realização desse curso.

À Universidade Federal de Viçosa, especialmente ao Departamento de Solos, pela realização do curso.

À Capes, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Prof. Roberto Ferreira de Novais pela sua orientação de qualidade, pelo exemplo de profissional que é e pela amizade e confiança dispensada a minha pessoa. Tê-lo como orientador, foi um privilégio para mim.

Aos meus conselheiros, Prof. Victor Hugo Alavarez V. e Prof. Reinaldo Bertola Cantarutti, pelas importantes colaborações e amizade, bem como ao professor Paulo César Rezende Fontes e à pesquisadora Ana Lúcia Borges, pelas críticas e sugestões.

A todos os professores do Departamento de Solos e demais departamentos da UFV, pelos conhecimentos adquiridos, especialmente àqueles que sempre me atenderam com atenção em seus gabinetes e corredores do Departamento de Solos.

À sociedade brasileira, por ter me proporcionado ensino público e gratuito desde o pré-escolar até o doutorado.

Aos colegas de curso, pela amizade e companheirismo.

Aos irmãos em Cristo da Igreja Evangélica Assembléia de Deus de Viçosa, por seis anos e meio de convívio sadio e edificante.

E, finalmente, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que eu realizasse todas as minhas conquistas.

## **BIOGRAFIA**

FÁBIO HENRIQUE TAVARES DE OLIVEIRA, filho de João Batista de Oliveira e Francisca Barbalho Tavares, nasceu em Açú, RN, em 22 de Julho de 1971.

Graduou-se em Agronomia pela Escola Superior de Agricultura de Mossoró (ESAM) em agosto de 1994, onde também fez aperfeiçoamento, como bolsista do CNPq, de março de 1995 a fevereiro de 1996.

Em março de 1996 ingressou no curso de mestrado em Solos e Nutrição de Plantas no Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em agosto de 1998.

Em outubro de 1998 ingressou no curso de doutorado em Solos e Nutrição de Plantas no Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em outubro de 2002.

## CONTEÚDO

	Página
RESUMO .....	vi
ABSTRACT .....	viii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA .....	4
2.1. Recomendação de calagem .....	4
2.2. Recomendação de adubação .....	5
2.2.1. Requerimento de nutrientes (Subsistema-Requerimento) .....	6
a) <i>Demanda nutricional</i> .....	7
b) <i>Demanda de sustentabilidade</i> .....	14
2.2.2. Suprimento de nutrientes (Subsistema-Suprimento) .....	19
a) Suprimento de nutrientes provenientes do solo .....	20
b) Suprimento de nutrientes provenientes dos resíduos vegetais	21
<i>Primeiro ciclo de produção</i> .....	23
<i>Ciclos posteriores</i> .....	25
3. SIMULAÇÕES COM O SISTEMA .....	31
3.1. Exemplos de cálculos .....	31
3.1.1. Recomendação de calagem .....	31
3.1.2. Recomendação de adubação .....	34
3.2. Simulações e análise de sensibilidade .....	42
3.3. Comparação entre recomendações geradas pelo FERTICALC-Bananeira®	
e outros sistemas .....	58
4. RESUMO E CONCLUSÕES .....	68
5. LITERATURA CITADA .....	70

## RESUMO

OLIVEIRA, Fábio Henrique Tavares de, D.S., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2002. **Sistema para recomendação de calagem e adubação para a cultura da bananeira**. Orientador: Roberto Ferreira de Novais. Conselheiros: Víctor Hugo Alvarez V. e Reinaldo Bertola Cantarutti.

As recomendações de calagem e adubação para a bananeira praticadas no país são baseadas em tabelas com elevado grau de empirismo e que, normalmente, recomendam doses baixas de nutrientes, especialmente quando se pretende atingir produtividades elevadas. Por serem baseadas, principalmente, em experimentos de campo, as recomendações dessas tabelas nem sempre são extrapoláveis para regiões diferentes daquelas para as quais foram concebidas. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema para recomendação de calagem e adubação para a cultura da bananeira, combinando modelos mecanísticos e empíricos, embasados no conhecimento atual sobre solos e a nutrição dessa cultura, tendo em vista uma produtividade esperada. A modelagem do Sistema para Recomendação de Calagem e Adubação para a cultura da bananeira (FERTICALC-Bananeira®) baseou-se no balanço nutricional, considerando o requerimento de nutrientes para a cultura atingir uma produtividade esperada e a capacidade de suprimento desses nutrientes pelo solo. O requerimento de nutrientes depende da demanda nutricional e da de sustentabilidade, enquanto o suprimento é proveniente do solo e dos resíduos vegetais. A demanda nutricional é expressa como a dose do nutriente necessária para a planta produzir as biomassas exportadas e restituídas ao solo, considerando uma produtividade esperada. A

demanda de sustentabilidade baseia-se na reposição, a cada ciclo de cultivo, de uma parte dos nutrientes que serão exportados em um futuro ciclo de produção. O suprimento de nutrientes pelo solo é estimado a partir dos resultados da análise de solo e da quantidade de resíduos produzidos no ciclo anterior. As simulações mostraram que por meio do FERTICALC-Bananeira® recomenda-se maior quantidade de nutrientes no primeiro ciclo, que no segundo, e maior para bananeiras do grupo AAA que do grupo AAB. As recomendações geradas por esse sistema dependeram, principalmente, da produtividade esperada e do teor do nutriente no solo. O fósforo remanescente é utilizado como medida que estima a capacidade tampão do solo, para os nutrientes (P, S e Zn) sensíveis a essa propriedade do solo. Comparando as recomendações do FERTICALC-Bananeira® com as das tabelas em uso no país, perceberam-se falhas das mesmas, principalmente porque estas, geralmente, não consideram a produtividade esperada e porque suas recomendações não diminuem de forma contínua com o aumento do teor do nutriente no solo. Ao contrário do FERTICALC-Bananeira®, as tabelas parecem não considerar que a demanda nutricional no primeiro ciclo depende não somente do acúmulo de nutrientes na planta-mãe, mas do acúmulo de nutrientes na família; e que, a partir do segundo ciclo, a família continua demandando nutrientes para produção e crescimento vegetativo.

## ABSTRACT

OLIVEIRA, Fábio Henrique Tavares de, D.S., Universidade Federal de Viçosa, October 2002. **A system to recommend lime and fertilizer for banana plant cropping**. Adviser: Roberto Ferreira de Novais. Committee members: Víctor Hugo Alvarez V. and Reinaldo Bertola Cantarutti.

In Brazil, the recommendations for liming and fertilization of the banana plant are based on tables provided with a high level of empiricism, that usually recommend low doses of nutrients, especially when the objective is to reach high productivities. Because these tables are based mainly on field experiments, their recommendations not always are extrapolatable for the regions that are different from those for which they were conceived. The objective of this study was to develop a system to recommend lime and fertilizer for banana plant cropping, by combining the mechanistic and empiric models to be based upon the actual knowledge about the soils and this crop nutrition, having in the mind an expected productivity. The modeling of the System to recommend lime and fertilizer for and Fertilization for the banana plant cropping (FERTICALC-Banana plant®) was based on the nutritional balance, by considering the requirement for nutrients in order this crop can reach a expected productivity, as well as the soil capacity to supply those nutrients. The nutrient requirement depends on both the nutritional and sustainable demands, while the nutrient supply depends on the soil and vegetable residues. The nutritional demand is expressed as the nutrient dose that is necessary for the plant to produce the biomass exported from the area and that restored to the soil, considering an expected productivity. The sustainable demand

is based on the partial restoration of the nutrients at each cropping cycle, that will be exported in a further production cycle. The supply of nutrients by the soil is estimated from the results of the soil analysis and the amount of residues produced in the previous cycle. The simulations showed that according to the FERTICALC-Banana plant® one might recommend a higher amount of nutrients at the first cycle than at the second one, as well as a higher amount to the banana plant of the AAA group than of the AAB group. The recommendations generated by this system depended mainly on the expected productivity and on the nutrient content in the soil. The equilibrium phosphorus in solution (remaining-P) is used as a measurement of the buffer capacity of the soil for P, S and Zn which are sensible to this soil property. When comparing the recommendations of the FERTICALC-Banana plant® with those of the tables used in the country, the lacks of the later ones were shown mainly because they generally do not consider the expected productivity. In addition, their recommendations do not continuously decrease with the increase of the nutrient content in the soil. Unlike the FERTICALC-Banana plant®, the tables appear not to consider that at the first cycle the nutritional demand does not depend only on the accumulation of nutrients in the “mother-plant”, but rather on the accumulation of nutrients in the “family”; besides, from the second cycle on, the “family” continues to demand nutrients for yield and vegetative growth.

## 1. INTRODUÇÃO

Entre os diversos fatores que influenciam o crescimento e desenvolvimento da bananeira, a nutrição é decisiva para obtenção de alta produtividade, uma vez que as plantas apresentam crescimento rápido e acumulam quantidades elevadas de nutrientes (Lahav, 1995; López M. & Espinosa M., 1995). Baixas produtividades da bananeira muitas vezes estão associadas à utilização de solos de baixa fertilidade e ao suprimento inadequado de nutrientes durante o ciclo da cultura (planta-mãe, planta-filha e planta-neta) (Borges et al., 1999).

Para obtenção de produtividades elevadas e sustentáveis, geralmente uma pequena parte dos nutrientes acumulados na bananeira é suprida pelo solo e a maior parte pela adubação (Lahav & Turner, 1983). A adubação da bananeira apresenta algumas peculiaridades, pois após o primeiro ciclo de produção, encontram-se no bananal plantas em diferentes estádios de desenvolvimento, o que torna necessário o suprimento constante de nutrientes. Além do mais, cerca de dois terços da biomassa da parte aérea da planta são devolvidos ao solo na forma de pseudocaule e folhas (Borges et al., 1999), o que permite a ciclagem de quantidades elevadas de nutrientes.

A demanda de nutrientes por essa cultura depende não somente da quantidade de nutrientes exportados pela colheita, mas também, da quantidade de nutrientes imobilizados nas demais partes da planta. Segundo Martin-Prével (1985), os cálculos das quantidades de nutrientes a serem aplicados nas adubações devem ser feitos considerando que a partir do segundo ciclo o bananal se beneficiará dos nutrientes provenientes dos resíduos da planta-mãe que foi colhida no ciclo anterior.

Na maioria das vezes, as adubações para a cultura da bananeira, em vários estados brasileiros, têm sido baseadas em tabelas que contêm recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes (Comissão Estadual de Fertilidade do Solo, 1989; Prezotti, 1992; Comissão de Fertilidade do Solo – RS/SC – CFS – RS/SC, 1995; Teixeira et al., 1996; Gonzaga Neto et al., 1998; Souza et al., 1999). Essas tabelas são dotadas de elevado grau de empirismo em sua constituição, o que torna difícil a evolução das mesmas (Novais & Alvarez V., 2000), podendo recomendar doses de nutrientes aquém ou além daquelas tidas como ótimas. Segundo Novais & Smyth (1999), é necessário desenvolver um sistema de recomendação de adubação em bases científicas (modelos) que permita utilização mais ampla e evolução mais segura, sem barreiras geográficas.

Os modelos apresentam uma síntese lógica do conhecimento sobre o sistema de produção e fornecem descrições quantitativas dos processos que acontecem no mesmo. A modelagem pode, desta maneira, revelar lacunas no conhecimento vigente e fornecer direções para futuras pesquisas (Rao et al., 1982; Dourado Neto et al., 1998a; Novais & Smyth, 1999). Dessa forma, a modelagem permite a evolução segura de um sistema de recomendação de adubação, por sugerir mudanças cada vez mais refinadas, pela fundamentação lógica de sua constituição.

Quanto à complexidade, os modelos matemáticos, em geral, são classificados em mecanísticos e empíricos. Nos modelos mecanísticos, os processos são quantificados com base no conhecimento científico atual, tornando-os bastante complexos e demandam dados que, muitas vezes, são dificilmente obtidos na prática. Os modelos empíricos consistem de funções que descrevem relações entre variáveis, sem se referirem aos processos envolvidos. Um bom modelo deve ser resultante de uma combinação ideal entre mecanicidade (complexidade) e empirismo (simplicidade) e deve demandar poucas informações, as quais não devem ser de difícil obtenção na prática. Sua estrutura deve ser flexível o suficiente para permitir a introdução de novas informações ou idéias, à medida que o conhecimento científico for crescendo (Boote et al., 1996; Monteith, 1996; Passioura, 1996; Dourado Neto et al., 1998a,b).

Para o propósito de recomendação de adubação, algumas pressuposições podem ser simplificadas e incorporadas a modelos mecanísticos. Essas simplificações normalmente envolvem diminuição no nível de detalhes e a desconsideração de

processos que quantitativamente são de menor importância, o que diminui bastante a quantidade de informações exigidas para alimentar o modelo (Rao et al., 1982; Geypens & Vandendriessche, 1996). Isso torna o modelo suficientemente simples para permitir seu entendimento e utilização, mas suficientemente complexo para permitir sua utilização mais abrangente (Dourado Neto et al., 1998b).

Um método eficiente e de boa exatidão para estimar a necessidade de adubação de uma cultura, o qual satisfaz os princípios das leis gerais da adubação, é o do balanço nutricional. Esse método tem sido recomendado para calcular a necessidade de adubação nitrogenada para a cultura do milho nos Estados Unidos (Stanford, 1973) e, mais recentemente, no Brasil, para calcular a necessidade de adubação para eucalipto (Barros et al., 1995; Barros & Novais, 2002), milho (Carvalho, 2000), tomate (Mello, 2000), arroz irrigado (Raffaelli, 2000), café (Prezotti, 2001; Novais et al., 2002), cana-de-açúcar (Freire, 2001), soja (Santos, 2002) e coqueiro (Rosa, 2002).

Com este trabalho, objetivou-se desenvolver um sistema de recomendação de calagem e adubação para a cultura da bananeira, por meio de modelagem do requerimento e do suprimento de nutrientes, mediante o uso de relações semi-empíricas embasadas no conhecimento atual sobre solos e a nutrição dessa cultura, tendo em vista a obtenção de uma produtividade esperada. Como conseqüência do desenvolvimento do sistema, procurou-se revelar lacunas do conhecimento atual sobre o tema e apresentar caminhos para futuras pesquisas.

## **2. DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA**

Na modelagem do Sistema para Recomendação de Calagem e Adubação para a Cultura da Bananeira (FERTICALC-Bananeira®), combinou-se modelos mecanísticos e empíricos, de modo a utilizar a menor quantidade possível de informações para alimentá-lo (“inputs”), sem prejudicar a exatidão das recomendações. O FERTICALC-Bananeira® também foi estruturado de modo a permitir sua atualização, na medida em que novos resultados forem publicados na literatura ou produzidos pelo próprio usuário.

### **2.1. Recomendação de calagem**

A bananeira não é muito exigente quanto à reação do solo, podendo produzir em solos com pH entre 4,5 e 8,0, mas as melhores plantações comerciais estão em solos com pH variando de 6 a 7,5 (Soto Ballester, 1992). Os solos tropicais geralmente são ácidos e apresentam baixos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , podendo causar toxidez por Al e, ou, Mn e deficiências de Ca e Mg nas culturas. Problemas de toxidez por Al na bananeira têm sido pouco estudados e nenhum sintoma descrito, sendo que alguns resultados experimentais sugerem que esta cultura tolera saturações por Al elevadas (Delvaux, 1995; Lahav, 1995). Os solos ácidos e deficientes em Ca e Mg podem favorecer o aparecimento da doença denominada de mal-do-Panamá (Malburg et al., 1984; Cordeiro, 1988), embora se tenha verificado recentemente que a calagem para elevar o pH do solo a aproximadamente 7,5 ou a aplicação de doses elevadas de Ca e Mg, isoladamente, não apresentaram efeito positivo no controle dessa doença (Silva Júnior et al. 2000).

Adicionalmente, se a proporção de Mg no solo em relação ao Ca e, principalmente, em relação ao K for pequena, favorece o aparecimento do distúrbio fisiológico denominado de “azul-da-bananeira” (Lichtemberg & Malburg, 1984).

Dentre os objetivos da calagem, destacam-se a correção da toxidez por Al e o fornecimento de Ca e Mg. Com esse objetivo, são utilizados vários métodos no país para determinação da necessidade de calagem em solos cultivados com bananeira (Comissão Estadual de Fertilidade do Solo, 1989; Prezotti, 1992; CFS – RS/SC, 1995; Teixeira et al., 1996; Gonzaga Neto et al., 1998; Souza et al., 1999). Para estimar a necessidade de calagem (NC) para a bananeira, o FERTICALC-Bananeira® recomenda os métodos da neutralização do  $Al^{3+}$  e da elevação dos teores de  $Ca^{2+} + Mg^{2+}$  (Alvarez V. & Ribeiro, 1999) e da saturação por bases (Quaggio & Raij, 1996). No primeiro método, considera-se o valor de Y variável em função da capacidade tampão da acidez do solo,  $X = 3$  e  $m_t = 10\%$ . No segundo, procura-se elevar a saturação por bases do solo a 60% e manter o teor de  $Mg^{2+}$  acima de  $0,9\text{ cmol/dm}^3$  (Teixeira et al., 1996).

No FERTICALC-Bananeira®, estima-se a NC por esses métodos e decide por aquele que der o maior valor, desde que o pH final estimado não ultrapasse 6,5. Assim, pretende-se fornecer Ca e Mg à cultura em quantidade suficiente e evitar possíveis problemas decorrentes da acidez do solo. Para estimar o incremento de pH para cada t/ha de  $CaCO_3$  aplicado, utiliza-se a equação ajustada por Mello (2000):

$$\hat{Y} = -0,0234647 + 1,49415^{**} \left( \frac{1}{X} \right) \quad R^2 = 0,8137 \quad \text{Eq. (1)}$$

em que  $\hat{Y}$  é o incremento estimado no pH para cada t/ha de  $CaCO_3$  adicionado (PRNT 100%) e X é a acidez potencial do solo (H + Al), dada em  $\text{cmol/dm}^3$ . O pH final é obtido multiplicando-se o valor de  $\hat{Y}$  pelo valor de NC e depois somando-se o resultado ao pH inicial. O calcário deve ser aplicado a lanço em toda a superfície do solo e incorporado, com antecedência mínima de trinta a quarenta e cinco dias do plantio.

## 2.2. Recomendação de adubação

As recomendações a partir do FERTICALC-Bananeira® baseiam-se no balanço nutricional entre perdas e ganhos de nutrientes no sistema solo-planta. O balanço nutricional tem sido utilizado para calcular a necessidade de adubação

nitrogenada (Stanford, 1973; Olson & Kurtz, 1982; Osmond & Riha, 1996; Luna et al., 1999; Osmond et al., 2000) e dos demais nutrientes (Barros et al., 1995; Carvalho, 2000; Mello, 2000; Raffaelli, 2000; Prezotti, 2001; Freire, 2001; Santos, 2002; Rosa, 2002). O balanço nutricional é obtido pela diferença entre o requerimento do nutriente pela cultura e seu suprimento pelo solo e pelos resíduos vegetais. Se esta diferença for positiva (requerimento maior que suprimento), recomenda-se a aplicação de fertilizante; se for negativa ou nula (requerimento menor ou igual ao suprimento), não se recomenda a aplicação de fertilizante.

O requerimento de cada nutriente é calculado com base na demanda da cultura para atingir determinada produtividade, evitar o esgotamento do solo e sustentar uma produtividade mínima esperada em um futuro ciclo de produção. O suprimento de cada nutriente durante o primeiro ciclo da bananeira é calculado a partir do teor do nutriente revelado pela análise de solo e da mineralização dos resíduos da cultura anterior, se houver, e, a partir do segundo ciclo, da mineralização dos resíduos da própria bananeira. O FERTICALC-Bananeira® expressa tanto o requerimento (REQ) quanto o suprimento do nutriente (SUP) em termos de dose, sendo que a diferença entre ambos será igual à dose recomendada (DR) do nutriente via fertilizante:

$$DR = REQ - SUP \quad \text{Eq. (2)}$$

O objetivo final do FERTICALC-Bananeira® é a resolução da equação 2, sendo que o valor de REQ é estimado pelo Subsistema-Requerimento e o de SUP pelo Subsistema-Suprimento.

### **2.2.1. Requerimento de nutrientes (Subsistema-Requerimento)**

A bananeira é uma planta perene que apresenta perfilhamento, de modo que, geralmente, são conduzidos, simultaneamente, em cada touceira, três indivíduos (mãe-filho-neto) compondo uma “família”. Com a colheita do cacho da planta-mãe, encerra-se o primeiro ciclo de produção. Depois, a planta-filha terminará seu crescimento e, com a colheita de seu cacho, encerra-se o segundo ciclo<sup>(1)</sup>. Com a colheita do cacho da planta-neta, obtém-se a produção do terceiro ciclo e, assim, sucessivamente (Alves & Oliveira, 1999; Souto et al., 1999). Dessa

---

<sup>(1)</sup> No FERTICALC-Bananeira, considera-se que a partir da colheita do primeiro cacho da touceira, um ciclo de produção terá a duração de tempo compreendido entre a colheita de dois cachos consecutivos em uma mesma touceira, e não o período entre a emissão de um perfilho e a sua colheita.

forma, as recomendações de adubação geradas pelo FERTICALC-Bananeira® são diferenciadas entre o primeiro ciclo e os demais (Martin-Prével, 1985).

### **a) Demanda nutricional**

Para desenvolver o Subsistema-Requerimento, buscaram-se, na literatura, dados de crescimento e acumulação de nutrientes nas diversas partes da planta. Para a bananeira crescer, desenvolver e produzir, ela terá que acumular quantidades elevadas de nutrientes nos tecidos vegetativos e reprodutivos. Por ocasião da colheita, parte dos nutrientes imobilizados nessa biomassa é exportada (“ráquis feminina” + engaço + frutos), mas a restante (rizoma + pseudocaule + folhas + coração + “ráquis masculina”) é restituída ao solo após a decomposição dos resíduos. A discriminação da planta em biomassa exportada e restituída ao solo é fundamental, não somente porque as quantidades de nutrientes acumuladas nestas partes das plantas são diferentes, mas também, pelo fato da biomassa restituída ao solo após a colheita ser uma importante fonte de nutrientes para as plantas que permanecem na área e para a manutenção da fertilidade do solo. Os dados encontrados na literatura fornecem informações apenas sobre a parte da planta-mãe exportada e a restituída ao solo, por ocasião da colheita (Quadro 1). No FERTICALC-Bananeira® não se contabiliza as quantidades de nutrientes imobilizados nos perfilhos desbastados, por considerar que, quantitativamente, esses valores são pequenos e que esses nutrientes voltarão ao solo e depois serão contabilizados na análise de solo.

Uma vez que o crescimento e o acúmulo de nutrientes pela bananeira dependem do grupo genômico da cultivar (Quadro 1), o Subsistema-Requerimento considerou separadamente dois grupos de cultivares: AAA e AAB. Para este fim, cultivares tetraplóides do grupo AAAB foram consideradas como pertencentes ao grupo AAB<sup>(2)</sup>. Para estimar a demanda nutricional da cultura, o Subsistema-Requerimento depende de informações sobre a produtividade esperada e o coeficiente de utilização biológica desse nutriente (Figura 1).

---

<sup>(2)</sup> As bananeiras comestíveis são originadas, principalmente, da combinação de duas espécies selvagens diplóides: *Musa acuminata* (AA) e *Musa balbisiana* (BB). Assim, cada cultivar contém combinações variadas desses genomas, resultando nos grupos genômicos diplóides (AA, BB e AB), triplóides (AAA, AAB e ABB) e tetraplóides (AAAA, AAAB, AABB e ABBB). Alguns genótipos apresentam grande mutabilidade, de modo que quando as mutações apresentam efeitos importantes quanto ao seu uso e, ou, comercialização, utiliza-se o termo “subgrupo” (Dantas et al., 1999).

Quadro 1 – Acúmulo de matéria seca e de nutrientes em diversas partes de uma “planta-mãe” de bananeira dos grupos AAA, AAB e AAAB

Grupo	Subgrupo	Cultivar	Produtividade <sup>(1)</sup> t/ha	Parte da planta <sup>(1)</sup>	Matéria seca	kg/ha										Fonte	
						N	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Cu	Fe		Mn
AAA	Cavendish	Nanica	16,5	Exportada	2.531	34,6	3,3	60,0	4,1	4,8	-	-	-	-	-	-	Borges & Silva (1995) <sup>(2)</sup>
				Restituída	1.286	14,1	1,3	133,5	11,2	9,8	-	-	-	-	-	-	
				Total	3.817	48,7	4,6	193,5	15,3	14,6	-	-	-	-	-	-	
AAA	Cavendish	Grande Naine	21,2	Exportada	3.225	48,5	4,4	135,3	3,1	4,9	2,9	77,8	58,1	8,0	-	-	Faria (1997)
				Restituída	2.457	38,4	2,1	137,4	25,5	23,1	1,7	78,4	38,2	12,0	-	-	
				Total	5.682	86,9	6,5	272,7	28,5	28,0	4,7	156,2	96,3	20,0	-	-	
AAA	Cavendish	Grande Naine	69,2	Exportada	12.598	110,0	13,2	346,4	8,3	17,3	13,2	-	-	-	-	-	Marchal & Mallessard (1979)
				Restituída	13.944	158,6	15,1	663,8	146,8	41,5	13,4	-	-	-	-	-	
				Total	26.542	268,1	28,2	1.010,2	155,1	58,8	26,6	-	-	-	-	-	
AAA	Cavendish	Nanicão	16,8	Exportada	4.937	63,9	6,6	117,8	5,6	8,7	-	-	-	-	-	-	Borges & Silva (1995) <sup>(2)</sup>
				Restituída	4.622	43,7	4,6	141,8	26,0	30,9	-	-	-	-	-	-	
				Total	9.559	107,6	11,2	259,6	31,6	39,6	-	-	-	-	-	-	
AAA	Cavendish	Nanicão	77,0	Exportada	14.505	148,0	20,4	633,0	21,0	21,7	4,9	165,0	139,0	69,0	707,0	813,0	Gallo et al. (1972) <sup>(2)(3)</sup>
				Restituída	13.378	135,8	14,1	525,7	146,7	53,7	7,6	238,2	422,5	63,9	5.229,4	8.065,5	
				Total	27.883	283,8	34,5	1.158,7	167,7	75,4	12,5	403,2	561,5	132,9	5.936,4	8.878,5	
AAA	Cavendish	Robusta	67,0	Exportada	10.978	76,0	14,3	247,0	8,5	16,8	23,0	103,3	48,3	34,2	165,0	694,2	Twyford & Walmsley (1973, 1974a,b) e Walmsley & Twyford (1976)
				Restituída	27.035	227,3	31,3	755,0	162,0	115,0	68,3	319,2	341,7	95,8	2.317,5	19.970,8	
				Total	38.013	303,3	45,6	1.002,0	170,5	131,8	91,3	422,5	390,0	130,0	2.482,5	20.665,0	
AAA	Cavendish	Robusta	30,0	Exportada	4.692	33,5	6,8	127,5	6,5	8,5	-	-	-	-	-	-	Twyford & Walmsley (1973, 1974a,b)
				Restituída	9.108	67,8	15,7	239,5	82,5	106,0	-	-	-	-	-	-	
				Total	13.800	101,3	22,5	367,0	89,0	114,5	-	-	-	-	-	-	
AAA	Cavendish	Robusta	31,2	Exportada	5.374	67,8	9,3	156,6	12,3	14,1	-	-	-	-	-	-	Twyford & Walmsley (1973, 1974a,b)
				Restituída	19.298	169,8	19,5	297,9	237,9	171,0	-	-	-	-	-	-	
				Total	24.672	237,6	28,8	454,5	250,2	185,1	-	-	-	-	-	-	
AAA	Cavendish	Robusta	32,3	Exportada	5.139	41,8	5,0	128,5	9,0	8,3	-	-	-	-	-	-	Twyford & Walmsley (1973, 1974a,b)
				Restituída	11.181	115,3	13,0	245,3	148,5	43,8	-	-	-	-	-	-	
				Total	16.320	157,0	18,0	373,8	157,5	52,0	-	-	-	-	-	-	
AAA	Cavendish	Americani	74,8	Exportada	13.716	120,0	16,2	423,9	15,9	19,8	18,9	-	-	-	-	-	Marchal & Mallessard (1979)
				Restituída	14.842	134,2	16,0	696,9	156,8	45,5	13,9	-	-	-	-	-	
				Total	28.558	254,2	32,2	1.120,8	172,7	65,3	32,8	-	-	-	-	-	
AAA	Gros Michel	Gros Michel	26,0	Exportada	4.326	54,6	7,7	157,9	6,6	6,9	-	-	-	-	-	-	Martin-Prével et al. (1968)
				Restituída	13.892	129,6	19,9	629,5	170,5	33,9	-	-	-	-	-	-	
				Total	18.218	184,2	27,6	787,4	177,1	40,8	-	-	-	-	-	-	
AAA	-	Caipira	24,7	Exportada	4.950	52,9	3,9	124,9	2,8	5,3	3,1	98,8	40,5	11,7	-	-	Faria (1997)
				Restituída	10.181	94,0	5,9	189,2	50,4	52,8	6,3	198,0	92,3	40,4	-	-	
				Total	15.131	146,9	9,8	314,1	53,2	58,1	9,3	296,9	132,8	52,1	-	-	

Continua...

Quadro 1, Continuação...

Grupo	Subgrupo	Cultivar	Produtividade <sup>(1)</sup> t/ha	Parte da planta <sup>(1)</sup>	Matéria seca	kg/ha						g/ha					Fonte
						N	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Cu	Fe	Mn	
AAB	Prata	Prata	9,4	Exportada	2.228	18,1	2,0	32,2	3,0	3,4	-	-	-	-	-	-	Borges & Silva (1995) <sup>(2)</sup>
				Restituída	9.418	52,8	5,9	127,9	49,0	34,5	-	-	-	-	-		
				Total	11.646	70,9	7,9	160,1	52,0	37,9	-	-	-	-	-		
AAB	Prata	Pacovan	14,7	Exportada	2.957	23,7	3,1	47,8	2,3	4,4	-	-	-	-	-	Borges & Silva (1995) <sup>(2)</sup>	
				Restituída	8.409	72,6	5,6	211,4	43,8	55,3	-	-	-	-	-		
				Total	11.366	96,3	8,7	259,2	46,1	59,7	-	-	-	-	-		
AAB	Prata	Pacovan	33,1	Exportada	6.976	71,1	11,0	224,2	15,3	9,8	-	-	-	-	-	Neves et al. (1991) <sup>(2)</sup>	
				Restituída	15.897	130,3	20,0	614,9	181,8	62,1	-	-	-	-	-		
				Total	22.873	201,4	31,0	839,1	197,1	71,9	-	-	-	-	-		
AAB	Terra	Terra	39,0	Exportada	9.508 <sup>(4)</sup>	67,5	6,7	171,3	6,6	8,6	15,9	132,3	324,2	155,4	413,8	68,2	Borges & Silva (2000)
				Restituída	15.038 <sup>(4)</sup>	160,4	9,0	287,9	124,4	184,6	20,0	350,1	337,8	84,5	911,4	477,9	
				Total	24.546	227,9	15,7	459,2	131,0	193,2	35,9	482,7	662,0	239,9	1.325,2	546,1	
AAB	-	Prata Anã	19,5	Exportada	3.689	44,4	4,7	107,2	5,5	7,1	2,4	70,1	52,4	5,4	-	-	Faria (1997)
				Restituída	8.071	29,7	5,5	311,5	66,1	54,7	3,3	239,4	95,7	21,5	-	-	
				Total	11.760	74,1	10,2	418,7	71,6	61,8	5,7	309,5	148,2	26,9	-	-	
AAB	-	Mysore	19,4	Exportada	5.949	55,2	7,4	103,3	-	10,3	-	-	-	-	-	Borges & Silva (1995) <sup>(2)</sup>	
				Restituída	7.215	48,7	4,8	118,2	-	26,7	-	-	-	-	-		
				Total	13.164	103,9	12,3	221,5	-	37,0	-	-	-	-	-		
AAAB	-	Pioneira	16,0	Exportada	2.803	29,7	3,2	100,0	3,6	5,1	1,2	50,3	33,2	4,9	-	-	Faria (1997)
				Restituída	9.042	87,0	5,3	271,1	69,7	65,9	4,1	172,0	87,5	25,2	-	-	
				Total	11.845	116,7	8,5	371,1	73,3	70,9	5,3	222,3	120,6	30,1	-	-	
AAAB	-	FHIA-18	26,9	Exportada	4.691	50,9	5,2	142,4	4,8	7,1	2,8	81,9	43,5	10,2	-	-	Faria (1997)
				Restituída	8.299	93,2	6,0	240,1	69,4	57,5	4,7	155,9	72,3	24,5	-	-	
				Total	12.990	144,1	11,2	382,5	74,2	64,6	7,5	237,7	115,9	34,7	-	-	

<sup>(1)</sup> A "planta-mãe" de uma família (mãe-filho-neto) de bananeira foi discriminada em biomassa exportada ("râquis feminina" + engaço + frutos) e restituída (rizoma + pseudocaule + folhas + coração + "râquis masculina") ao solo por ocasião da colheita. O termo produtividade refere-se ao peso da biomassa fresca exportada. <sup>(2)</sup> Trabalhos em que não se amostrou o rizoma; porém, os valores de matéria seca e os conteúdos de nutrientes para esta parte da planta foram estimados a partir dos dados dos outros trabalhos nos quais o rizoma foi amostrado; verificou-se que a matéria seca do rizoma representava 20,7 % do total acumulado na parte da planta restituída ao solo. Para N, P, K, Ca, Mg e S, os percentuais foram, respectivamente, 14,6; 15,0; 20,1; 5,9; 23,3 e 16,2 %. <sup>(3)</sup> Os conteúdos de micronutrientes no rizoma foram estimados a partir dos dados de Walmsley & Twyford (1976) e Borges & Silva (2000); verificou-se que o B do rizoma representava 15,2 % do total acumulado na parte da planta restituída ao solo. Para Zn, Cu, Fe, e Mn, os valores foram, respectivamente, 48,4; 20,2; 55,1 e 25,2 %. <sup>(4)</sup> Informação pessoal da pesquisadora Ana Lúcia Borges (Embrapa Mandioca e Fruticultura).

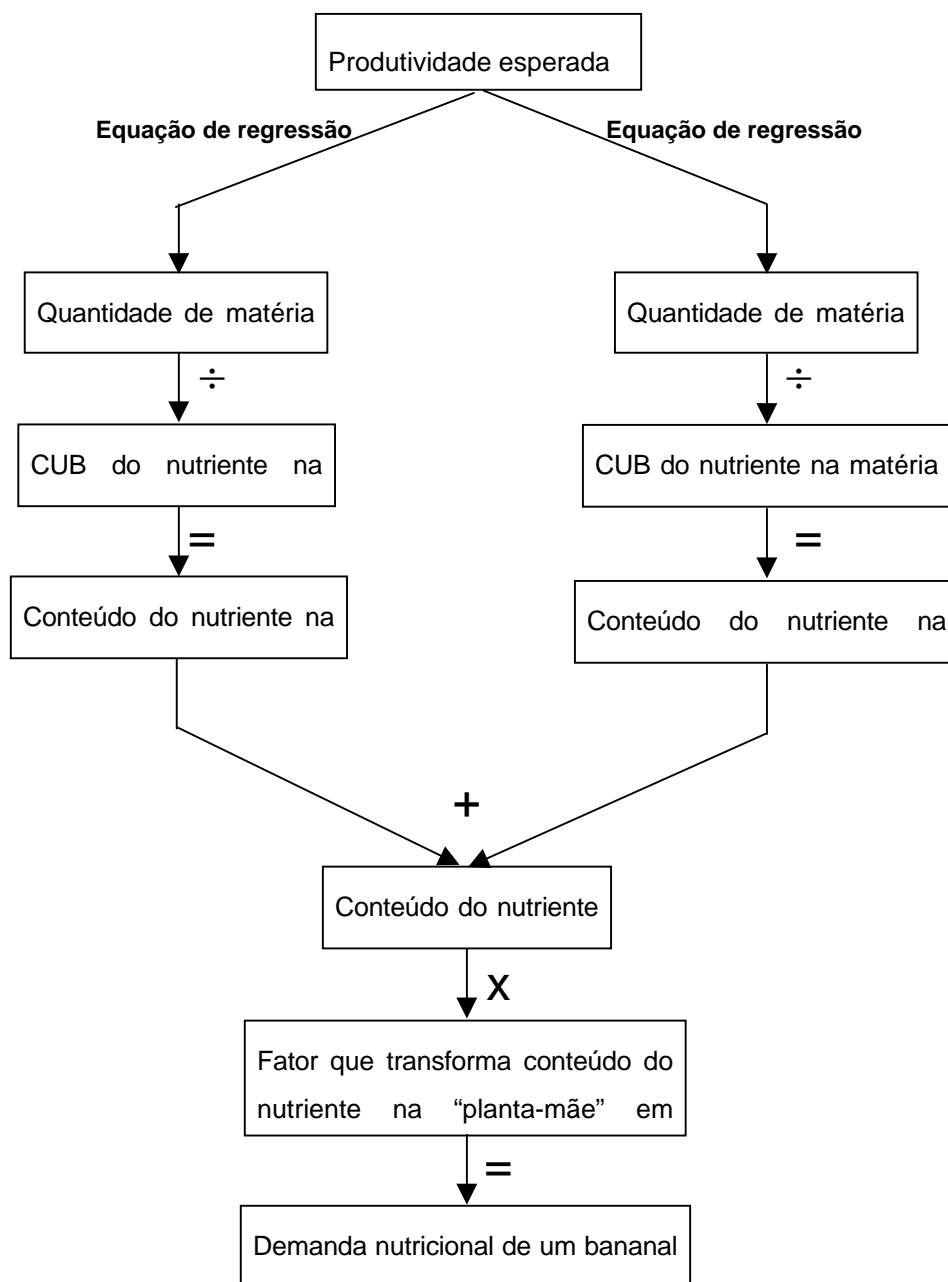


Figura 1 – Fluxograma que integra o Subsistema-Requerimento, e indica como se estima a demanda nutricional de um bananal por um nutriente no primeiro ciclo de produção, no qual se conduz, em cada touceira, uma “família” (mãe-filha-neta) de plantas (matéria seca exportada = “ráquis feminina” + engaço + frutos; matéria seca restituída ao solo = rizoma + pseudocaule + folhas + coração + “ráquis masculina”; CUB = coeficiente de utilização biológica, que é a quantidade de matéria seca produzida por unidade de nutriente acumulado).

Após definir o grupo genômico da cultivar, é preciso indicar a produtividade esperada, visto que a demanda de nutrientes aumenta com a produtividade da cultura. Assim, as quantidades recomendadas de nutrientes devem variar com a produtividade esperada, embora isso ainda não tenha sido considerado nas tabelas de recomendação de adubação em uso no país (Comissão Estadual de Fertilidade do Solo, 1989; Prezotti, 1992; CFS – RS/SC, 1995; Gonzaga Neto et al., 1998; Souza et al., 1999), com exceção apenas daquela do estado de São Paulo (Teixeira et al., 1996). Mesmo assim, em São Paulo, consideram-se faixas de produtividades esperadas e não uma variação contínua que relacione a demanda de nutrientes com a produtividade da cultura.

Estabelecida a produtividade esperada, no Subsistema-Requerimento estima-se a quantidade de matéria seca da parte da planta que será exportada e da que será restituída ao solo (Quadro 2). A quantidade de matéria seca produzida por unidade de nutriente acumulado, denominada eficiência de uso do nutriente (Baligar & Fageria, 1997), coeficiente de utilização (Muniz et al., 1985) ou coeficiente de utilização biológica (CUB) (Barros et al., 1986), tem sido utilizada em modelagem da recomendação de adubação para estimar a demanda de nutrientes das culturas (Novais & Smyth, 1999; Carvalho, 2000; Mello, 2000; Raffaeli, 2000; Prezotti, 2001; Freire, 2001; Santos, 2002; Rosa, 2002), sendo, essencialmente, o inverso da concentração do nutriente na matéria seca.

Dentre muitos fatores que podem afetar os valores de CUB (Fageria, 1992; Baligar & Fageria, 1997), destacam-se alguns relacionados com o solo (suprimento de nutrientes, capacidade tampão, interação entre os nutrientes, umidade), com a planta (acúmulo de matéria seca, cultivar, órgão da planta e sua idade, condições fitossanitárias), com o clima (pluviosidade, temperatura, luminosidade) e o manejo (irrigação, parcelamento, dose, fonte e localização do fertilizante). A partir dos dados de acúmulo de matéria seca e de nutrientes em diversas partes da bananeira (Quadro 1), calcularam-se os valores de CUB para cada nutriente considerando as partes da planta exportada e restituída ao solo (Quadro 3). Por meio de análises gráficas e de regressão, não foi possível verificar relação entre os valores de CUB de cada parte da planta com a produtividade de frutos, não

Quadro 2 - Equações de regressão que estimam as quantidades de matéria seca exportada e restituídas ao solo (kg/ha), em função da produtividade esperada (t/ha), para cultivares dos grupos AAA e AAB

Grupo	Equação	R <sup>2</sup>	n <sup>(1)</sup>
<b>Matéria seca exportada<sup>(2)</sup></b>			
AAA	$\hat{Y} = -31,001 + 179,46^{**}X, \forall 16,5 \leq X \leq 77,0 \text{ t/ha}$ $\hat{Y} = 2.930, \forall X < 16,5 \text{ t/ha}$ e $\hat{Y} = 13.787, \forall X > 77,0 \text{ t/ha}$	0,9654	12
AAB	$\hat{Y} = -296,95 + 231,33^{**}X, \forall 9,4 \leq X \leq 39,0 \text{ t/ha}$ $\hat{Y} = 1.878, \forall X < 9,4 \text{ t/ha}$ e $\hat{Y} = -296,95 + 231,33^{**}X, \forall X > 39,0 \text{ t/ha}$	0,8583	8
<b>Matéria seca restituída<sup>(3)</sup></b>			
AAA	$\hat{Y} = -10.314 + 777,73^{**}X, \forall 16,5 \leq X \leq 32,3 \text{ t/ha}$ $\hat{Y} = 2.519, \forall X < 16,5 \text{ t/ha}$ e $\hat{Y} = 14.807, \forall X > 32,3 \text{ t/ha}$	0,6375	8
AAB	$\hat{Y} = -1.273,2 + 441,52^{**}X, \forall 19,4 \leq X \leq 39,0 \text{ t/ha}$ $\hat{Y} = 7.292, \forall X < 19,4 \text{ t/ha}$ e $\hat{Y} = 15.946, \forall X > 39,0 \text{ t/ha}$	0,8124	5

<sup>(1)</sup>Inicialmente, tinham-se doze pares de dados para o grupo AAA e oito para o grupo AAB. No ajuste das equações para a matéria seca restituída, eliminaram-se quatro pares de dados do grupo AAA (os de maiores valores de produtividade) e três do grupo AAB (os de menores valores de produtividade), por terem sido considerados "outliers". <sup>(2)</sup>Matéria seca exportada = "ráquis feminina" + engajo + frutos. <sup>(3)</sup>Matéria seca restituída ao solo = rizoma + pseudocaule + folhas + coração + "ráquis masculina".

\* e \*\* Significativo a 5 e a 1%, respectivamente.

permitindo observar efeito de diluição. Diante disso, optou-se por usar a média dos valores de CUB (Quadro 3) para a realização dos cálculos que constituem o Subsistema-Requerimento (Figura 1). As informações apresentadas nos trabalhos consultados (Quadro 1) não foram suficientes para avaliar outras relações entre o CUB e demais características de solo, clima e planta. Entretanto, os valores dos coeficientes de variação encontrados (Quadro 3) evidenciam a elevada variabilidade do CUB, o que deve estar relacionado ao (s) efeito (s) dessa (s) característica (s). Futuros trabalhos com a cultura da bananeira deverão dar mais atenção a essa questão, no sentido de modelar as variações do CUB com essas características.

Quadro 3 – Peso da matéria seca das biomassas exportadas e restituídas ao solo e seus respectivos coeficientes de utilização biológica de nutrientes, para bananeiras dos grupos AAA e AAB

Grupo	Produtividade <sup>(1)</sup> t/ha	Matéria Seca kg/ha	Coeficiente de utilização biológica (CUB)										
			N	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Cu	Fe	Mn
			kg/kg										
<b>Biomassa exportada<sup>(1)</sup></b>													
AAA	16,5	2.531	73,2	759,3	42,2	615,7	529,8	-	-	-	-	-	-
AAA	21,2	3.225	66,5	733,2	23,8	1.052,0	653,9	1.099,8	41.449	55.940	403.226	-	-
AAA	69,2	12.598	115,0	957,7	36,4	1.511,9	728,8	957,7	-	-	-	-	-
AAA	16,8	4.937	77,3	753,2	41,9	888,8	569,7	-	-	-	-	-	-
AAA	77,0	14.505	98,0	711,0	22,9	690,7	668,4	2.945,2	87.909	104.353	210.217	20.516	17.841
AAA	67,0	10.978	144,4	770,4	44,4	1.291,5	655,4	477,3	106.234	227.121	321.293	66.530	15.814
AAA	30,0	4.692	140,1	687,4	36,8	721,8	552,0	-	-	-	-	-	-
AAA	31,2	5.374	79,3	577,8	34,3	436,9	381,1	-	-	-	-	-	-
AAA	32,3	5.139	123,1	1.027,9	40,0	571,0	622,9	-	-	-	-	-	-
AAA	74,8	13.716	114,3	844,4	32,4	862,4	692,3	724,2	-	-	-	-	-
AAA	26,0	4.326	79,3	562,7	27,4	655,1	623,3	-	-	-	-	-	-
AAA	24,7	4.950	93,5	1.280,4	39,6	1.768,1	928,3	1.614,4	50.087	122.072	423.077	-	-
<b>Média</b>	<b>40,6</b>	<b>7.248</b>	<b>100,3</b>	<b>805,5</b>	<b>35,2</b>	<b>922,2</b>	<b>633,8</b>	<b>1.303,1</b>	<b>71.420</b>	<b>127.372</b>	<b>339.453</b>	<b>43.523</b>	<b>16.827</b>
<b>C.V (%)</b>	<b>58,9</b>	<b>60,2</b>	<b>26,5</b>	<b>25,0</b>	<b>20,6</b>	<b>44,3</b>	<b>20,6</b>	<b>68,4</b>	<b>43,1</b>	<b>56,6</b>	<b>28,5</b>	<b>74,8</b>	<b>8,5</b>
AAB	9,4	2.228	123,0	1.113,9	69,1	742,6	646,8	-	-	-	-	-	-
AAB	14,7	2.958	125,0	950,7	61,9	1.267,6	665,5	-	-	-	-	-	-
AAB	33,1	6.976	98,1	634,4	31,1	455,1	709,7	-	-	-	-	-	-
AAB	39,0	9.508	140,8	1.426,3	55,5	1.450,5	1.111,4	598,5	71.704	29.327	61.184	22.977	139.413
AAB	19,5	3.689	83,1	790,7	34,4	675,0	522,2	1.537,6	52.646	70.351	683.187	-	-
AAB	19,4	5.949	107,7	799,3	57,6	-	575,8	-	-	-	-	-	-
AAB	16,0	2.803	94,3	876,2	28,0	778,8	553,4	2.336,4	55.674	84.552	574.536	-	-
AAB	26,9	4.691	92,1	902,4	33,0	977,6	664,0	1.675,8	57.288	107.786	459.911	-	-
<b>Média</b>	<b>22,3</b>	<b>4.850</b>	<b>108,0</b>	<b>936,7</b>	<b>46,3</b>	<b>906,7</b>	<b>681,1</b>	<b>1.537,1</b>	<b>59.328</b>	<b>73.004</b>	<b>444.705</b>	<b>22.977</b>	<b>139.413</b>
<b>C.V (%)</b>	<b>44,8</b>	<b>51,4</b>	<b>18,3</b>	<b>25,8</b>	<b>35,2</b>	<b>38,5</b>	<b>27,2</b>	<b>46,6</b>	<b>14,3</b>	<b>45,1</b>	<b>61,0</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>Biomassa restituída<sup>(1)</sup></b>													
AAA	16,5	1.286	91,5	984,0	9,6	114,7	130,6	-	-	-	-	-	-
AAA	21,2	2.457	64,0	1.151,9	17,9	96,5	106,5	1.417,7	31.347	64.291	204.801	-	-
AAA	69,2	13.944	87,9	924,3	21,0	95,0	335,6	1.038,8	-	-	-	-	-
AAA	16,8	4.622	105,7	1.010,3	32,6	177,9	149,8	-	-	-	-	-	-
AAA	77,0	13.378	98,5	990,1	26,6	95,3	260,2	1.760,3	56.163	31.664	209.358	2.558	1.659
AAA	67,0	27.035	119,0	865,1	35,8	166,9	235,1	395,8	84.705	79.127	282.104	11.666	1.354
AAA	30,0	9.108	134,4	581,1	38,0	110,4	85,9	-	-	-	-	-	-
AAA	31,2	19.298	113,7	989,6	64,8	81,1	112,9	-	-	-	-	-	-
AAA	32,3	11.181	97,0	860,1	45,6	75,3	255,6	-	-	-	-	-	-
AAA	74,8	14.842	110,6	930,1	21,3	94,7	326,0	1.070,1	-	-	-	-	-
AAA	26,0	13.892	107,2	699,4	22,1	81,5	410,0	-	-	-	-	-	-
AAA	24,7	10.181	108,3	1.735,8	53,8	202,1	192,9	1.625,0	51.411	110.307	252.005	-	-
<b>Média</b>	<b>40,6</b>	<b>11.769</b>	<b>103,2</b>	<b>973,4</b>	<b>32,3</b>	<b>115,6</b>	<b>207,5</b>	<b>1.218,0</b>	<b>55.906</b>	<b>71.347</b>	<b>237.067</b>	<b>7.112</b>	<b>1.507</b>
<b>C.V (%)</b>	<b>58,9</b>	<b>61,1</b>	<b>17,1</b>	<b>28,9</b>	<b>49,9</b>	<b>36,7</b>	<b>50,6</b>	<b>40,7</b>	<b>39,4</b>	<b>45,8</b>	<b>15,5</b>	<b>90,6</b>	<b>14,3</b>
AAB	9,4	9.418	178,3	1.601,1	73,6	192,2	273,2	-	-	-	-	-	-
AAB	14,7	8.409	115,8	1.496,1	39,8	192,0	152,0	-	-	-	-	-	-
AAB	33,1	15.897	122,0	795,1	25,9	87,4	255,9	-	-	-	-	-	-
AAB	39,0	15.038	93,7	1.671,1	52,2	120,9	81,4	752,0	42.954	44.518	177.966	16.500	31.467
AAB	19,5	8.071	271,5	1.476,8	25,9	122,1	147,7	2.421,9	33.708	84.316	375.391	-	-
AAB	19,4	7.215	148,3	1.491,9	61,0	-	270,7	-	-	-	-	-	-
AAB	16,0	9.042	103,9	1.695,8	33,3	129,7	137,3	2.188,1	52.583	103.387	358.141	-	-
AAB	26,9	8.299	89,1	1.383,6	34,6	119,5	144,5	1.778,9	53.250	114.744	338.745	-	-
<b>Média</b>	<b>22,3</b>	<b>10.174</b>	<b>140,3</b>	<b>1.451,4</b>	<b>43,3</b>	<b>137,7</b>	<b>182,8</b>	<b>1.785,2</b>	<b>45.624</b>	<b>86.741</b>	<b>312.561</b>	<b>16.500</b>	<b>31.467</b>
<b>C.V (%)</b>	<b>44,8</b>	<b>32,8</b>	<b>43,2</b>	<b>19,7</b>	<b>40,1</b>	<b>28,7</b>	<b>39,9</b>	<b>41,4</b>	<b>20,2</b>	<b>35,5</b>	<b>29,1</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

Fonte: Adaptado de Martin-Prével et al. (1968), Gallo et al. (1972), Twyford & Walmsley (1973, 1974a,b), Walmsley & Twyford (1976), Marchal & Mallessard (1979), Neves et al. (1991), Borges & Silva (1995), Faria (1997) e Borges & Silva (2000). <sup>(1)</sup>A "planta-mãe" de uma família (mãe-filho-neto) de bananeira foi discriminada em biomassas exportada ("râquis feminina" + engaço + frutos) e restituída (rizoma + pseudocaule + folhas + coração + "râquis masculina") ao solo por ocasião da colheita. O termo produtividade refere-se ao peso da biomassa fresca exportada (cacho).

Dividindo-se as quantidades de matéria seca exportada e restituída ao solo pelos respectivos valores de CUB do nutriente, tem-se o conteúdo do nutriente em cada uma dessas partes. Somando-se esses dois valores, obtém-se o conteúdo do nutriente nas “plantas-mãe”. Em seguida, estima-se a demanda do nutriente pelas “famílias” (mãe-filha-neta) do bananal (Figura 1), visto que no campo, geralmente, são conduzidas, em cada touceira, três plantas em diferentes estádios de desenvolvimento (uma “família”). Para isso, multiplica-se o conteúdo do nutriente nas “plantas-mãe” por um fator  $K_1$  (Quadro 4), dando como resultado a demanda nutricional de um bananal para cada nutriente no primeiro ciclo (Figura 1). Tendo-se o valor da demanda nutricional, o próximo passo é calcular a demanda de sustentabilidade.

### ***b) Demanda de sustentabilidade***

Se no cálculo do balanço nutricional (Equação 2) fosse considerado que o requerimento de um nutriente dependesse apenas da demanda nutricional do bananal e seu suprimento pelo solo, a tendência, a médio e a longo prazo, poderia ser o esgotamento das reservas deste nutriente no solo, o que poderia limitar a produtividade em futuros ciclos da cultura. Para Tomé Júnior & Novais (2000), esse problema pode ser evitado mediante o estabelecimento de teores aceitáveis de cada nutriente que deverão continuar no solo.

Para café, Prezotti (2001) recomendou que esse “teor aceitável” do nutriente no solo estivesse relacionado com uma produtividade mínima desejada. Em arroz irrigado, Raffaelli (2000) recomendou a adição de uma dose suplementar de P, equivalente à exportação deste nutriente pelos grãos. Freire (2001) recomendou que as doses dos nutrientes aplicados ao solo para satisfazer as demandas nutricionais da cana-de-açúcar devessem ser acrescidas de doses suplementares, de modo a não permitir o gradual esgotamento do solo. Essas doses suplementares, segundo Freire (2001), são baseadas nas quantidades de nutrientes exportadas.

A estimativa da demanda de sustentabilidade de um nutriente feita pelo Subsistema-Requerimento baseia-se na quantidade exportada desse nutriente, com o objetivo de fornecer ao solo, a cada ciclo de produção, uma dose desse nutriente suficiente para atender parte da demanda de exportação de um futuro ciclo de produção. Para isso, utiliza-se um fluxograma (Figura 2) semelhante ao

Quadro 4 – Distribuição de matéria seca e de nutrientes entre os membros de uma “família” de bananeira e fator multiplicativo ( $K_1$ ) que transforma conteúdo de um nutriente na “planta-mãe” em conteúdo desse nutriente na “família”

Característica	Membro da família					$K_1$ <sup>(4)</sup>
	Planta-mãe <sup>(1)</sup>		Total	Planta-filha	Planta-neta	
	Exportada	Restituída <sup>(2)</sup>				
----- kg/ha -----						
Matéria seca	6.976	15.897	22.873	9.815,0 (0,4291) <sup>(3)</sup>	1.076,0 (0,0470)	1,4761
N	71,1	130,3	201,4	94,0 (0,4667)	10,8 (0,0536)	1,5203
P	11,0	20,0	31,0	20,6 (0,6645)	2,6 (0,0839)	1,7484
K	224,2	614,9	839,1	475,3 (0,5664)	69,6 (0,0829)	1,6493
Ca	15,3	181,8	197,1	91,7 (0,4652)	8,2 (0,0416)	1,5068
Mg	9,8	62,1	71,9	32,8 (0,4562)	3,6 (0,0501)	1,5063
S <sup>(5)</sup>	-	-	-	- (0,4291)	- (0,0470)	1,4761
B <sup>(5)</sup>	-	-	-	- (0,4291)	- (0,0470)	1,4761
Zn <sup>(5)</sup>	-	-	-	- (0,4291)	- (0,0470)	1,4761

**FONTE:** Adaptado de Neves et al. (1991). <sup>(1)</sup> Planta-mãe do segundo ciclo de produção. <sup>(2)</sup> Para planta-mãe, considera-se que a matéria seca e os nutrientes restituídos ao solo são provenientes da parte aérea e do rizoma. Nesse trabalho, os autores não avaliaram o rizoma, porém os valores de matéria seca e os conteúdos de nutrientes no rizoma foram estimados a partir de dados obtidos na literatura. <sup>(3)</sup> Os números entre parênteses são frações em relação ao total da planta-mãe, que é igual a 1 (um). <sup>(4)</sup>  $K_1$  = Obtido somando-se as frações de cada uma das plantas da família. <sup>(5)</sup> Nesse trabalho, não foi feita avaliação para S, B e Zn, pelo que se utilizaram as mesmas frações encontradas para a matéria seca.

utilizado para calcular a demanda nutricional (Figura 1). Nesse caso, a produtividade esperada é a mesma utilizada para estimar a demanda nutricional e não se consideram os nutrientes acumulados na biomassa restituída ao solo.

O valor do fator que transforma demanda de exportação em demanda de sustentabilidade (Figura 2) deverá ser fornecido pelo usuário, levando em conta qual fração da demanda de exportação o usuário considera como demanda de sustentabilidade. Para isso, deverá ser levada em consideração a análise de solo, a disponibilidade de recursos para aquisição de fertilizantes, a capacidade do solo em reter nutrientes (CTC e CTA), o nutriente, a possibilidade de dano ao meio ambiente, e o desejo de o usuário manter e, ou, aumentar a fertilidade do solo. Caso o usuário não forneça o valor desse fator, no FERTICALC-Bananeira® considera-se que o mesmo será 0,20. Se o usuário optar por não considerar a demanda de sustentabilidade, será considerado que o valor desse fator é igual a zero e, nesse caso, o requerimento do nutriente pelo bananal dependerá somente da demanda nutricional do bananal, que levaria, teoricamente, ao esgotamento das reservas desse nutriente no solo.

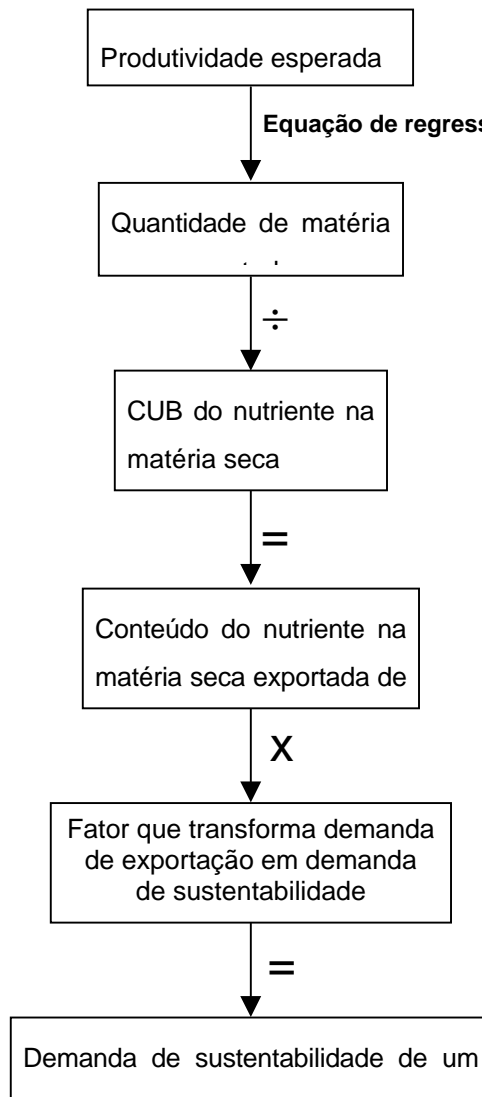


Figura 2 – Fluxograma que integra o Subsistema-Requerimento e indica como se estima a demanda de sustentabilidade de um bananal por um determinado nutriente, no qual se conduz, em cada touceira, uma “família” (mãe-filha-neta) de plantas (matéria seca exportada = “ráquis feminina” + engaço + frutos; CUB = coeficiente de utilização biológica, que é a quantidade de matéria seca produzida por unidade de nutriente acumulado; demanda de sustentabilidade é a quantidade de um nutriente correspondente a parte de sua demanda de exportação, para uma profundidade esperada).

Uma vez estimada a demanda nutricional (DN) e a demanda de sustentabilidade (DS), o Subsistema-Requerimento calcula o valor de REQ pela expressão:

$$\text{REQ} = \frac{\text{DN} + \text{DS}}{\text{TR}_{\text{NF}}} \quad \text{Eq. (3)}$$

em que  $\text{TR}_{\text{NF}}$  é a taxa de recuperação, pela bananeira, do nutriente proveniente do fertilizante. O valor de REQ é igual à dose do nutriente necessária para satisfazer a demanda da planta sem contabilizar seu suprimento pelo solo.

Considera-se a variável  $\text{TR}_{\text{NF}}$  porque a planta só conseguiria absorver parte dos nutrientes adicionados ao solo via fertilizante, em virtude da limitação da própria planta e das perdas dos nutrientes. Essa variável, também chamada de eficiência de recuperação do nutriente, é uma medida da eficiência das plantas em absorver o nutriente aplicado ao solo. De acordo com Fageria (1992) e Baligar & Fageria (1997), a  $\text{TR}_{\text{NF}}$  é definida como sendo a quantidade de nutriente absorvido por unidade de nutriente aplicado, podendo ser calculada pela expressão:

$$\text{TR}_{\text{NF}} = \frac{\left( \text{Quantidade de nutriente absorvido} \right)_{\text{pela planta na parcela fertilizada}} - \left( \text{Quantidade de nutriente absorvido} \right)_{\text{pela planta na parcela não-fertilizada}}}{\left( \text{Quantidade de nutriente aplicado} \right)} \quad \text{Eq. (4)}$$

De modo geral, a  $\text{TR}_{\text{NF}}$  pode ser influenciada pelos mesmos fatores que influenciam o CUB. Nesse sentido, destaca-se àqueles relacionados com a disponibilidade dos nutrientes no solo (umidade, interação do nutriente com o solo e dose, parcelamento, localização e fonte do fertilizante) e com a habilidade das plantas em absorverem esses nutrientes do solo (crescimento radicular e as constantes  $I_{\text{máx}}$ ,  $K_{\text{m}}$ , e  $C_{\text{mín}}$ ) (Fageria, 1992; Baligar & Fageria, 1997). Como no campo os fertilizantes são aplicados localizadamente e os espaçamentos adotados na cultura da bananeira são amplos e arranjados em diferentes formas geométricas (Lichtemberg et al., 1997; Pereira et al., 1999; 2000), é recomendável que os valores de  $\text{TR}_{\text{NF}}$  sejam obtidos a partir de experimentos de campo nos quais aplicaram-se fertilizantes localizadamente, ou em experimentos conduzidos em condições de manejo semelhantes as que deverão ser praticadas no bananal que se pretende instalar .

Consultada a literatura relativa à bananeira, não foram encontrados dados experimentais que permitissem calcular a  $TR_{NF}$  para qualquer dos nutrientes. Futuras pesquisas devem contemplar essa necessidade de informação, pois o valor da  $TR_{NF}$  tem grande influência no valor da estimativa da dose do nutriente que deverá ser aplicada ao solo. Enquanto esses dados não forem fornecidos pela pesquisa, sugere-se a adoção daqueles apresentados no quadro 5.

A partir do segundo ciclo, o requerimento de nutrientes pela bananeira também dependerá da demanda nutricional e de sustentabilidade. A bananeira é uma planta que, simultaneamente, apresenta desenvolvimento vegetativo e reprodutivo, de modo que a demanda nutricional após o primeiro ciclo não depende apenas da demanda de exportação, mas também da demanda para desenvolvimento vegetativo.

Partindo da pressuposição que a demanda para crescimento vegetativo da planta-mãe no primeiro ciclo é a mesma para o crescimento vegetativo da família nos ciclos seguintes, no Subsistema-Requrimento utiliza-se, a partir do segundo ciclo, o mesmo fluxograma utilizado para o primeiro (Figura 1), apenas não considerando o fator  $K_1$  (Quadro 4). A validade dessa pressuposição pode ser mostrada por meio de um exemplo feito com dados do quadro 4. Para N, a quantidade acumulada na biomassa vegetativa da planta-mãe (APM) é de 130,3 kg/ha, na planta-filha (APF) 94,0 kg/ha e na planta-neta (APN) 10,8 kg/ha. A demanda de N para crescimento vegetativo da planta-mãe no primeiro ciclo é igual a APM, que é 130,3 kg/ha. A partir do segundo ciclo, a demanda de N para o crescimento vegetativo da família (DNCV) é igual a demanda de N para crescimento da planta-filha até à época de sua colheita (APM – APF), mais a demanda de N para crescimento da planta-neta até o estágio de planta-filha (APF – APN) e mais a demanda de N para crescimento de um perfilho até o estágio de planta-neta (APN):

$$DNCV = (APM - APF) + (APF - APN) + APN$$

$$DNCV = (130,3 - 94,0) + (94,0 - 10,8) + 10,8$$

$$DNCV = 130,3 \text{ kg/ha} = APM$$

A partir do segundo ciclo, no Subsistema-Requrimento adota-se o mesmo procedimento do primeiro, para estimar a demanda de sustentabilidade (Figura 2). Se o valor do fator que transforma demanda de exportação em demanda de

Quadro 5 – Valores sugeridos para a taxa de recuperação pela bananeira do nutriente proveniente do fertilizante ( $TR_{NF}$ ), para os nutrientes considerados no FERTICALC-Bananeira®<sup>(1)</sup>

Nutriente <sup>(2)</sup>	$TR_{NF}$ kg/kg	Nutriente <sup>(2)</sup>	$TR_{NF}$ kg/kg
N	0,60 ± 0,12	Mg	0,50 ± 0,10
P	0,40 ± 0,08	S	0,50 ± 0,10
K	0,70 ± 0,14	B	0,50 ± 0,10
Ca	0,50 ± 0,10	Zn	0,40 ± 0,08

<sup>(1)</sup> Em virtude da falta de informações da pesquisa, esses valores são arbitrários e precisam ser confirmados por futuras pesquisas. No FERTICALC-Bananeira® considera-se que todos esses nutrientes são provenientes de uma fonte solúvel e aplicados localizadamente. <sup>(2)</sup> Para N e K, considera-se que o usuário tem condições de parcelar as doses desses nutrientes pelo menos a cada quinze ou trinta dias. No caso do P, deve-se utilizar uma fonte solúvel e aplicar toda a dose na cova de plantio junto com o esterco. Quanto ao Ca e ao Mg, no FERTICALC-Bananeira® considera-se que antes da implantação de um bananal deve-se fazer a calagem em toda a área, incorporando o calcário dolomítico em todo o volume de solo da camada de 0-20 cm. Portanto, esses valores esperados das  $TR_{NF}$ , para Ca e Mg, são para a aplicação localizada de uma fonte solúvel desses nutrientes. No caso do S, considera-se que o mesmo será fornecido na forma de superfosfato simples, por ocasião da adubação fosfatada, ou na forma de sulfato de amônio, caso esse adubo venha a ser utilizado para suprir parte da demanda de N da bananeira.

sustentabilidade for igual a 0,20, no final do quinto ciclo de produção o aporte extra de cada nutriente no solo será suficiente para atender a demanda de exportação desse nutriente em um futuro ciclo de produção. Principalmente a partir do segundo ciclo, o monitoramento dos teores dos nutrientes no solo é muito importante para subsidiar a tomada de decisão do usuário quanto à consideração, ou não, da demanda de sustentabilidade.

### 2.2.2. Suprimento de nutrientes (Subsistema-Suprimento)

Esse subsistema estima, separadamente, o suprimento de um nutriente proveniente do solo e dos resíduos vegetais. O suprimento de nutrientes provenientes do solo é estimado a partir dos teores desses nutrientes indicados na análise química de solo e o proveniente dos resíduos vegetais a partir da quantidade de matéria seca dos resíduos da cultura anterior (para o primeiro ciclo) ou a partir da produtividade de bananeira obtida no ciclo anterior. O suprimento de nutrientes provenientes da matéria orgânica do solo não é contabilizado, porque a matéria orgânica nativa de solos tropicais, particularmente dos mais argilosos, apresenta maior estabilidade (Duxbury et al., 1989) e no FERTICALC-Bananeira® admite-se que, quantitativamente, esse suprimento é

muito pequeno em relação ao requerimento de nutrientes do bananal. Com isso, espera-se que o teor de matéria orgânica do solo aumente ou pelo menos se mantenha em relação ao seu teor antes da utilização do FERTICALC-Bananeira®.

#### ***a) Suprimento de nutrientes provenientes do solo***

Os solos contêm quantidades variadas de nutrientes que podem suprir parcial ou totalmente a demanda do bananal. A análise química é a ferramenta mais adequada e utilizada para avaliar a disponibilidade de um nutriente no solo. A disponibilidade de um nutriente é a resultante da ação integrada dos fatores Intensidade (I), Quantidade (Q) e Capacidade Tampão (CT) (Alvarez V., 1996). A CT exerce grande influência na disponibilidade de alguns nutrientes (P, S e Zn) e na de outros (K, Ca, Mg e B) essa influência é pequena ou desprezível. Assim, para P, S e Zn é necessário que se considere a CT desses nutrientes no solo para uma adequada estimativa de sua disponibilidade. O efeito da CT na disponibilidade desses nutrientes pode ser estimado pelo fósforo remanescente (Prem)<sup>(4)</sup>.

No FERTICALC-Bananeira® contempla-se recomendação de adubação com todos os macronutrientes e apenas com os micronutrientes B e Zn. No Subsistema-Suprimento não se contabiliza o suprimento de nitrogênio do solo, por considerar que a contribuição do solo para o suprimento desse nutriente à bananeira é pequena em relação à sua demanda e por não se ter utilizado, até então, análise química de N do solo para fins de recomendação de adubação. Os extratores mais utilizados no país para análise química dos nutrientes considerados no FERTICALC-Bananeira® são o Mehlich-1 (P, K e Zn), Resina (P, K, Ca, e Mg), KCl (Ca e Mg), DTPA (Zn),  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  500 mg/L de P, em HOAc 2 mol/L ou em  $\text{H}_2\text{O}$  (S) e água quente (B).

Como o teor de um nutriente indicado na análise química de solo é um índice de disponibilidade e não seu teor realmente disponível, no Subsistema-Suprimento divide-se o teor de um nutriente indicado na análise de solo pela respectiva taxa de recuperação do extrator desse nutriente aplicado ao solo ( $\text{TR}_{\text{EX}}$ ), obtendo-se a quantidade do nutriente (mg) suprida por  $1 \text{ dm}^3$  de solo. Em seguida, multiplica-se o valor obtido pelo volume de solo explorado pelas raízes ( $\text{VS}_{\text{ER}}$ , em  $\text{dm}^3/\text{ha}$ ) e depois

---

<sup>(4)</sup> Concentração de fósforo da solução de equilíbrio após agitar durante 1 h a TFSA com solução de  $\text{CaCl}_2$  10 mmol/L, contendo 60 mg/L de P, na relação solo:solução de 1:10 (Alvarez V. et al., 2000).

divide-se o resultado por um milhão (para transformar mg/ha em kg/ha), obtendo-se o suprimento do nutriente proveniente do solo (kg/ha) (Figura 3).

Com base em dados de literatura, no Subsistema-Suprimento utiliza-se, para cada nutriente e extrator, valores médios de  $TR_{EX}$  (Quadro 6). Para P, S e Zn, ainda é levado em consideração a CT estimada pelo Prem.

O valor de  $VS_{ER}$  depende da profundidade efetiva do sistema radicular e da superfície do solo efetivamente explorada pelas raízes. Alguns trabalhos têm mostrado que a bananeira apresenta densidade elevada de raízes ativas para a absorção de nutrientes até uma profundidade média de 0,30 m e até um raio médio de 0,60 m a partir do pseudocaule (Avilán R. et al., 1982; Keshava Murthy & Iyengar, 1997; Araya et al., 1998; Garcia, 2000; Araya & Blanco, 2001). Assim, o valor de  $VS_{ER}$  é dado pela expressão:

$$VS_{ER} = 0,3 \times \pi \times 0,6^2 \times 1.000 \times NFA \quad \therefore$$

$$VS_{ER} = 339,292 \times NFA \quad \text{Eq. (5)}$$

em que  $VS_{ER}$  é dado em  $dm^3/ha$  e NFA é o número de famílias por hectare.

A partir do segundo ciclo não há mudança alguma quanto à estimativa do suprimento de nutrientes pelo solo, de modo que o Subsistema-Suprimento adota o mesmo procedimento utilizado no primeiro ciclo (Figura 3). Como o suprimento de nutrientes para o bananal não é proveniente somente do solo, o Subsistema-Suprimento também contabiliza o suprimento de nutrientes provenientes dos resíduos vegetais.

### ***b) Suprimento de nutrientes provenientes dos resíduos vegetais***

Existe diferença entre os ciclos de produção quanto ao suprimento de nutrientes para o bananal proveniente dos resíduos vegetais. Dependendo do preparo da área de plantio, é possível que não se tenham resíduos vegetais sobre o solo, por ocasião da implantação do bananal. A partir do segundo ciclo aparecem os resíduos da bananeira que suprirão nutrientes para o bananal.

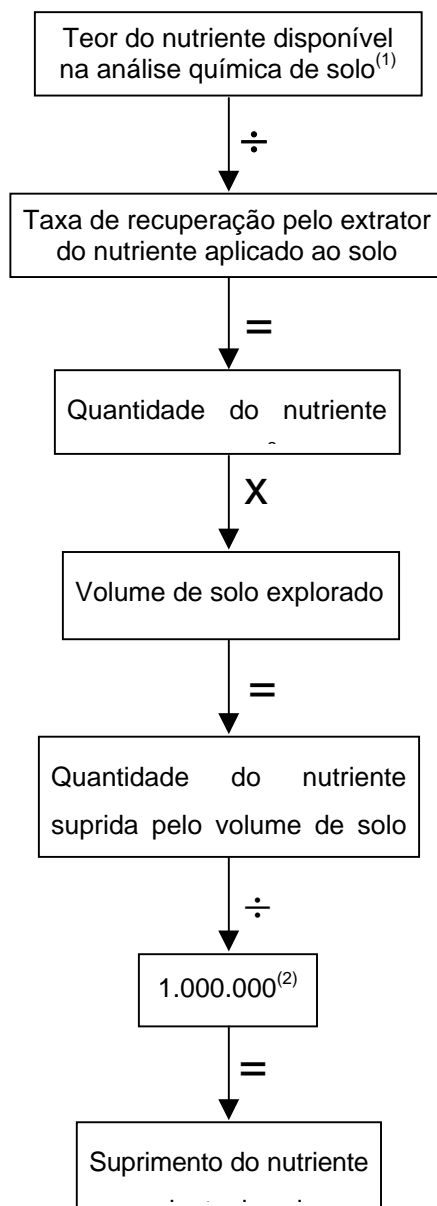


Figura 3 – Fluxograma que integra o Subsistema-Suprimento, e indica como se estima o suprimento de um nutriente proveniente do solo. <sup>(1)</sup>Os teores de todos os nutrientes deverão ser expressos em mg/dm<sup>3</sup>. <sup>(2)</sup>Fator para transformar mg/ha em kg/ha)

Quadro 6 – Taxa de recuperação pelo extrator do nutriente aplicado ao solo ( $\hat{Y}$ , em  $\text{mg dm}^{-3}/\text{mg dm}^{-3}$ ), variável, ou não, com o fósforo remanescente ( $X$ , em  $\text{mg/L}$ )<sup>(1)</sup>

Nutriente	Extrator	Equação	R <sup>2</sup>
P	Mehlich-1	$\hat{Y} = 0,06728 + 0,01216^{**}X$	0,6812
	Resina	$\hat{Y} = 0,419^{**}X^{0,128099}$	0,6940
K	Mehlich-1	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,8020$	-
	Resina	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,7559$	-
Ca	KCl	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,7661$	-
	Resina	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,7661$	-
Mg	KCl	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,7989$	-
	Resina	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,7989$	-
S	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{HOAc}$	$\hat{Y} = 0,0410 + 0,01700^{**}X$	0,8360
	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{H}_2\text{O}$	$\hat{Y} = 0,2233 + 0,01712^{**}X$	0,8338
B	Água quente	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,4521$	-
Zn	Mehlich-1	$\hat{Y} = 0,3603 - 0,002339^{\text{ns}}X + 0,0001198^{**}X^2$	0,9322
	DTPA	$\hat{Y} = 0,3603 - 0,002339^{\text{ns}}X + 0,0001198^{**}X^2$	0,9322

**Fonte:** Adaptado de Souza (1999), Morais (1999), Mello (2000), Ferreira et al. (2001) e Santos (2002). <sup>(1)</sup> Em virtude da falta de dados para Ca e Mg extraído pela resina, e Zn pelo DTPA, no FERTICALC-Bananeira® utiliza-se os mesmos valores de  $\text{TR}_{\text{EX}}$  encontrados para o KCl e Mehlich-1, respectivamente. <sup>ns</sup> e <sup>\*\*</sup> não significativo e significativo a 1 %, respectivamente.

### Primeiro ciclo de produção

No primeiro ciclo, no FERTICALC-Bananeira® considera-se que os resíduos não são da bananeira, pois estes só aparecerão na área a partir do segundo ciclo. Para estimar o suprimento de nutrientes provenientes dos resíduos vegetais, no primeiro ciclo, é preciso informar, no Subsistema-Suprimento, a quantidade de matéria seca da cultura anterior que foi restituída ao solo, o CUB de cada nutriente nessa matéria seca e a fração de cada nutriente nesses resíduos que será mineralizada durante o primeiro ciclo da bananeira (Figura 4).

No primeiro ciclo, o suprimento de nutrientes provenientes dos resíduos vegetais é mais difícil de ser estimado que no segundo. Isso ocorre porque, na prática, dificilmente se conhece a quantidade de matéria seca desses resíduos e seus teores de nutrientes e, ou, se os mesmos são incorporados ao solo ou queimados meses antes do plantio, durante as operações de preparo do solo.

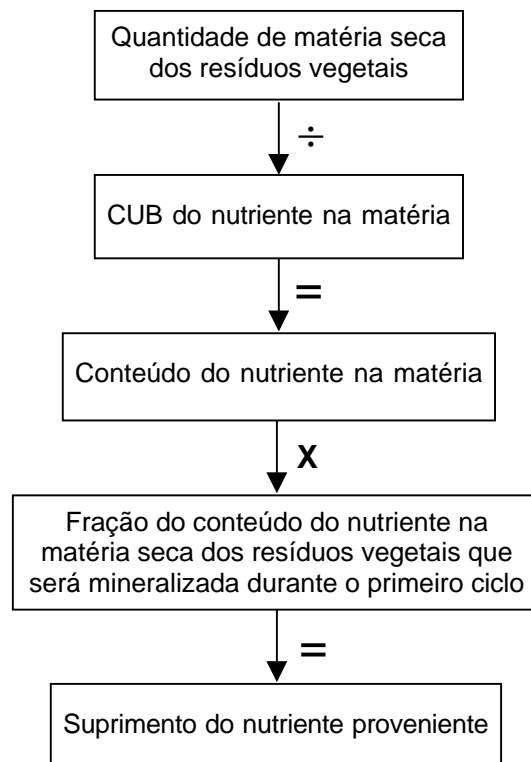


Figura 4 – Fluxograma que integra o Subsistema-Suprimento, e indica como se estima o suprimento de um nutriente proveniente dos resíduos vegetais da cultura anterior, para a bananeira no primeiro ciclo (matéria seca restituída ao solo corresponde aos resíduos remanescentes da cultura anterior. CUB = coeficiente de utilização biológica, que é a quantidade de matéria seca produzida por unidade de nutriente acumulado).

Entretanto, se o usuário fornecer dados da quantidade de matéria seca da cultura anterior que foi restituída ao solo, o CUB de cada nutriente nessa matéria seca e a fração do conteúdo do nutriente na matéria seca que será mineralizada durante o primeiro ciclo, no Subsistema-Suprimento será estimado o suprimento do nutriente proveniente dos resíduos vegetais. Se o usuário não fornecer essas informações, será considerado que o suprimento de nutrientes provenientes dos resíduos vegetais é igual a zero.

### *Ciclos posteriores*

Em um programa de recomendação de adubação para a bananeira, deve-se contabilizar o suprimento de nutrientes provenientes dos resíduos vegetais da bananeira, pois esses resíduos se decompõem rapidamente e servem como fonte de nutrientes para as plantas remanescentes da “família” (Martin-Prével, 1985; Vitti & Ruggiero, 1985; Vargas V. & Flores S., 1995). A quantidade de nutrientes imobilizados na biomassa da bananeira na época da colheita é muito elevada (Quadro 1), sendo que cerca de 59 a 69% de sua biomassa retorna ao solo após a colheita do cacho (Quadro 7). Seguindo a mesma tendência, mais da metade dos nutrientes acumulados na planta retorna ao solo, com destaque para o Ca e o Mg, cujas restituições ao solo podem chegar a 94 e 89%, respectivamente (Quadro 7).

Para estimar o suprimento de um nutriente proveniente dos resíduos da bananeira, a partir do segundo ciclo, é preciso informar ao Subsistema-Suprimento a produtividade obtida no ciclo anterior, o CUB de cada nutriente na matéria seca restituída ao solo e a fração desses nutrientes que será mineralizada no período entre o ciclo anterior e o ciclo seguinte (Figura 5).

Fornecendo o grupo genômico da cultivar e a produtividade obtida no ciclo anterior, o Subsistema-Suprimento utiliza equações de regressão (Quadro 2) para estimar a quantidade de matéria seca restituída ao solo. Dividindo-se a quantidade de matéria seca restituída ao solo pelo CUB do nutriente nessa matéria seca (Quadro 3), obtém-se o conteúdo do nutriente nos resíduos da bananeira.

A próxima variável que deverá ser informada ao Subsistema-Suprimento é a fração desses nutrientes que será mineralizada no período entre dois ciclos de produção da bananeira (FM). Dados experimentais mostraram que em dez semanas após a deposição do pseudocaule na superfície do solo, houve uma

QUADRO 7 – Percentuais de matéria seca, N, P, K, Ca, Mg, S, B e Zn restituídos ao solo após a colheita do cacho da bananeira, em relação ao total acumulado na planta

Característica	Grupo genômico	
	AAA	AAB
	----- % -----	
Matéria seca	58,9	68,7
N	57,9	61,6
P	54,7	58,8
K	63,3	70,1
Ca	90,5	93,9
Mg	80,8	88,5
S	55,4	63,5
B	62,9	73,2
Zn	68,0	62,9

**Fonte:** Adaptado de Martin-Prével et al. (1968), Gallo et al. (1972), Twyford & Walmsley (1973, 1974a,b), Walmsley & Twyford (1976), Marchal & Mallessard (1979), Neves et al. (1991), Borges & Silva (1995), Faria (1997) e Borges & Silva (2000).

mineralização de cerca de 33% de sua matéria seca (Turner & Barkus, 1973). Para folhas, Flores S. & Vargas V. (1994) encontraram um valor de aproximadamente 47% nesse mesmo período e um valor de 75% em trinta semanas. Os trabalhos desses autores mostraram que, de modo geral, os valores das frações dos nutrientes mineralizados são semelhantes aos obtidos para a matéria seca, com exceção para o K e o Zn. Com base nisso, sugere-se valores das frações dos nutrientes que serão mineralizados no período compreendido entre dois ciclos de produção (Quadro 8). A fração dos resíduos que não mineraliza no período entre dois ciclos de produção será mineralizada no ciclo posterior, de modo que a restituição dos nutrientes nesses resíduos será contabilizada em análises de solo posteriores.

Multiplicando-se o conteúdo do nutriente na matéria seca restituída ao solo pelo seu respectivo valor de FM, obtém-se a quantidade desse nutriente no solo, proveniente dos resíduos da bananeira, que é igual ao suprimento do nutriente proveniente dos resíduos da bananeira (Figura 5).

Uma vez estimados o suprimento de nutriente proveniente do solo ( $SUP_{SO}$ ) e o dos resíduos vegetais ( $SUP_{RE}$ ), calcula-se o suprimento do nutriente para a bananeira ( $SUP$ ) pela expressão:

$$SUP = SUP_{SO} + SUP_{RE} \quad \text{Eq. (6)}$$

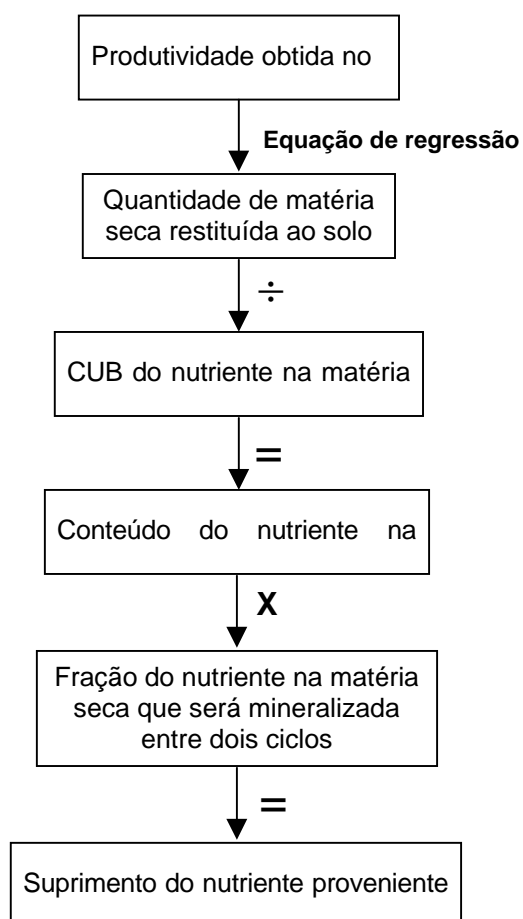


Figura 5 – Fluxograma que integra o Subsistema-Suprimento, e indica como se estima, a partir do segundo ciclo de produção, o suprimento de um nutriente proveniente dos resíduos da bananeira (matéria seca restituída ao solo = rizoma + pseudocaule + folhas + coração + “ráquis masculina”. CUB = coeficiente de utilização biológica, que é a quantidade de matéria seca produzida por unidade de nutriente acumulado).

Quadro 8 – Fração do nutriente nos resíduos da bananeira que será mineralizada no período entre dois ciclos (FM), para os nutrientes considerados pelo Subsistema- Suprimento<sup>(1)</sup>

Nutriente	FM	Nutriente	FM
	kg/kg		kg/kg
N	0,65 ± 0,13	Mg	0,55 ± 0,11
P	0,60 ± 0,12	S	0,60 ± 0,12
K	0,85 ± 0,17	B	0,50 ± 0,10
Ca	0,55 ± 0,11	Zn	0,30 ± 0,06

<sup>(1)</sup> Valores baseados em dados de Turner & Barkus (1973) e Flores S. & Vargas V. (1994). Em virtude da carência de dados experimentais, esses valores precisam ser confirmados por futuras pesquisas.

Substituindo-se os valores de REQ (Eq. 3) e de SUP (Eq. 6) na equação 2, obtém-se a dose recomendada do nutriente (DR). Para cada nutriente, se o valor de REQ for maior que o de SUP, pelo FERTICALC-Bananeira® se recomenda adubação, caso contrário, não se recomenda.

As estimativas das DR dos nutrientes pelo FERTICALC-Bananeira® baseiam-se, em grande parte, no acúmulo de nutrientes absorvidos pela planta desde seu plantio até a colheita. Para o primeiro ciclo, as DR deverão ser divididas, colocando parte delas na cova de plantio (DRC) e o restante parcelando ao longo do ciclo de produção (DRF). As DRCs visam atender aos níveis críticos de implantação (NiCri<sub>IMP</sub>) da bananeira. Pela falta de dados específicos para esta cultura, no FERTICALC-Bananeira® utilizam-se valores de NiCri<sub>IMP</sub> recomendados para café (Quadro 9). Sabendo o NiCri<sub>IMP</sub> do elemento no solo e o volume de solo da cova, calcula-se o valor de DRC. Para P, aplica-se a DRC no plantio, mesmo que DR seja menor que DRC.

A partir do segundo ciclo, não será feita adubação do substrato da cova. Havendo necessidade, o fertilizante fosfatado deverá ser aplicado na superfície do solo próximo ao menor rebento da touceira. Para atender ao NiCri<sub>IMP</sub> de P (Quadro 9), é adicionado à cova uma quantidade elevada de P. Tomando-se como exemplo um solo com 1,89 mg/dm<sup>3</sup> de P-Mehlich-1 e Prem = 30,9 mg/L, o NiCri<sub>IMP</sub> pelo Mehlich-1 será 189,92 mg/dm<sup>3</sup>. A DRC será:  $(189,92 - 1,89)/[0,06728 + 0,01216(Prem)]$  ∴ DRC = 424,42 mg/dm<sup>3</sup> = 424,42 g/m<sup>3</sup>. Considerando covas com 0,40 x 0,40 x 0,40 m

Quadro 9 – Níveis críticos de implantação de P, K, S, B e Zn ( $\hat{Y}$ , em mg/dm<sup>3</sup>), variável, ou não, com o fósforo remanescente (X, em mg/L)<sup>(1)</sup>

Nutriente	Extrator	Equação
P	Mehlich-1	$\hat{Y} = 90,585 - 0,3018X + 0,1138X^2$
	Resina	$\hat{Y} = 101,31 + 1,87X$
K	Mehlich-1	$\hat{Y} = 200$
	Resina	$\hat{Y} = 190$
S	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> + HOAc	$\hat{Y} = 10,8 + 1,539X$
B	Água quente	$\hat{Y} = 0,1808$
Zn	Mehlich-1	$\hat{Y} = 1,4412 - 0,00936X + 0,0004796X^2$

**Fonte:** Adaptado de Prezotti (2001). <sup>(1)</sup> Para N, recomenda-se uma dose de 300 mg/dm<sup>3</sup>. Para Ca e Mg, no FERTICALC-Bananeira® considera-se que os mesmos são supridos suficientemente pela calagem realizada antes do plantio.

e uma população de 1.600 plantas/ha, a quantidade aplicada em um hectare será: 424,42 g/m<sup>3</sup> x 0,064 m<sup>3</sup> x 1600 plantas/ha = 43,60 kg/ha de P.

A concentração de P no solo da cova de plantio (189,92 mg/dm<sup>3</sup>) diminuirá com o tempo, devido à passagem de P lábil para P não-lábil (Novais & Smyth, 1999) e à absorção de P durante o primeiro ciclo da bananeira. Embora seja difícil prever a quantidade de P que a planta absorverá exclusivamente do solo da cova, é possível estimar a concentração de P no solo da cova, após um determinado tempo (C<sub>f</sub>), não considerando a absorção de P pela planta (Novais & Smyth, 1999). Adaptando o modelo sugerido por esses autores, Freire (2001) e Rosa (2002) estimaram o efeito residual do P aplicado na cova.

No FERTICALC-Bananeira® estima-se o valor de C<sub>f</sub>, para Mehlich-1 ou resina, em função do teor de P inicial (C<sub>i</sub>), do Prem, da DRC e do tempo (Quadro 10). Dividindo-se o valor de C<sub>f</sub> pela TR<sub>EX</sub> e multiplicando o resultado pelo número de covas por hectare, obtém-se o “suprimento de P residual” (SUPP<sub>RES</sub>), que deverá ser acrescentado à estimativa do suprimento de P no segundo ciclo (Eq. 6). A partir do terceiro ciclo, a contribuição do P residual será muito pequena, visto que a absorção de P pela bananeira nos dois primeiros ciclos contribui para diminuir o efeito residual do P adicionado na cova. Por outro lado, a planta que vai produzir no terceiro ciclo terá grande parte de suas raízes distantes da cova, de modo que

Quadro 10 – Equações que estimam a concentração de P no solo da cova ( $\hat{Y}$ , em mg/dm<sup>3</sup>), em função da concentração inicial de P ( $C_i$ , em mg/dm<sup>3</sup>), do fósforo remanescente (Prem, em mg/L), da dose de P aplicada no plantio (DRC, em mg/dm<sup>3</sup>) e do tempo (t, em dias)

Extrator	Equação <sup>(1)</sup>
Mehlich-1	$\hat{Y} = C_i + \{[0,06728 + 0,01216(\text{Prem})]DRC - C_i\}e^{-0,0013(t)}$
Resina	$\hat{Y} = C_i + \{[0,419(\text{Prem})^{0,128099}]DRC - C_i\}e^{-0,0013(t)}$

**Fonte:** Adaptado de Novais & Smyth (1999). <sup>(1)</sup> Nessas equações, e é a base do logaritmo neperiano.

sua absorção de P proveniente da cova será muito pequena. No exemplo citado, considerando que a duração do primeiro ciclo é um ano (365 dias), o valor de  $C_f$  para Mehlich-1 será:

$$C_f = 1,89 + \{[0,06728 + 0,01216(30,9)] \times 424,42 - 1,89\} e^{-0,0013(365)} \therefore C_f = 117,70 \text{ mg/dm}^3$$

Dividindo-se o valor de  $C_f$  pela  $TR_{EX}$ , obtém-se o  $SUPP_{RES}$ :  $117,70/[0,06728 + 0,01216(\text{Prem})] \therefore SUPP_{RES} = 265,67 \text{ mg/dm}^3$ . Para transformar esse valor em kg/ha, multiplica-o pelo volume de solo da cova (64 dm<sup>3</sup>), pelo número de covas/ha (1.600) e depois divide o resultado por 1.000.000:

$$SUPP_{RES} = (265,67 \times 64 \times 1.600)/1.000.000 \therefore SUPP_{RES} = 27,20 \text{ kg/ha de P}$$

Portanto, considerando os seguintes valores para o segundo ciclo:  $REQ = 65,54 \text{ kg/ha}$ ,  $SUP_{SO} = 9,46 \text{ kg/ha}$  e  $SUP_{RE} = 16,43 \text{ kg/ha}$ , a DR de P para o segundo ciclo será:

$$DRP_{2^\circ \text{ Ciclo}} = 65,54 - (9,46 + 16,43 + 27,20) \therefore DRP_{2^\circ \text{ Ciclo}} = 12,45 \text{ kg/ha de P}$$

### 3. SIMULAÇÕES COM O SISTEMA

Para realizar simulações com o FERTICALC-Bananeira®, tomaram-se resultados analíticos de trinta amostras de solos analisadas no laboratório de rotina do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa (Quadro 11). Essas simulações consistem em exemplos de cálculos, verificação e análise de sensibilidade, e comparação das recomendações geradas pelo FERTICALC-Bananeira® com outras recomendações em uso no país.

#### 3.1. Exemplos de cálculos

Considerando a cultivar Prata Anã (Grupo AAB) na população de 1.600 plantas/ha, uma produtividade esperada de 35 t/ha de frutos frescos e uma amostra de solo com resultados analíticos iguais aos apresentados para o solo 1 (Quadro 11), o FERTICALC-Bananeira® permite executar os seguintes cálculos:

##### 3.1.1. Recomendação de calagem

Primeiramente, pelo FERTICALC-Bananeira® calcula-se a NC pelos métodos da neutralização do  $Al^{3+}$  e da elevação dos teores de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  (Alvarez V. & Ribeiro, 1999) e da saturação por bases (Quaggio & Raij, 1996). Pelo primeiro método, a NC é dada por:

$$NC = CA + CD = Y[Al^{3+} - (m_t \cdot t/100)] + [X - (Ca^{2+} + Mg^{2+})] \quad \text{Eq. (7)}$$

Quadro 11 – Resultados analíticos de trinta amostras de solo analisadas no laboratório de rotina do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa<sup>(1)</sup>, utilizados nas simulações do FERTICALC Bananeira®

Solo	P		K	Ca <sup>2+</sup>		Mg <sup>2+</sup>		S	B	Zn	P <sub>rem</sub>	Al <sup>3+</sup>	t	H+Al	CTC	pH (H <sub>2</sub> O)	V	Arg. <sup>(3)</sup>
	Mehlich-1	Resina <sup>(2)</sup>		cmol/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	cmol/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>											
1	1,73	7,38	18	0,55	110,22	0,29	35,24	2,30	0,18	0,43	4,1	0,40	1,29	11,02	11,91	5,0	7,5	86
2	1,71	7,31	15	0,62	124,25	0,24	29,16	4,41	0,33	0,72	6,5	1,82	2,72	11,02	11,92	4,5	7,6	86
3	1,50	6,53	19	1,09	218,44	0,40	48,60	3,29	0,59	1,25	7,1	0,50	2,05	6,27	7,82	4,9	19,8	81
4	1,69	7,23	24	0,89	178,36	0,34	41,31	3,73	0,94	2,45	7,7	0,30	1,59	5,61	6,90	4,6	18,7	78
5	0,38	1,99	12	0,16	32,06	0,09	10,94	0,76	0,17	0,41	8,4	0,30	0,58	1,32	1,60	4,8	17,5	74
6	5,60	20,39	65	3,52	705,41	0,63	76,55	6,18	0,30	1,02	8,9	0,00	4,32	11,55	15,87	6,1	27,2	72
7	2,90	11,54	45	3,17	635,27	0,71	86,27	5,53	0,50	0,83	9,8	0,00	4,00	3,30	7,3	6,2	54,8	69
8	6,86	24,31	18	1,13	226,45	0,40	48,60	5,53	0,50	3,11	9,9	0,22	1,81	5,94	7,53	5,4	21,1	68
9	2,70	10,85	73	0,13	26,05	0,05	6,08	4,85	0,59	0,36	12,7	0,90	1,27	6,60	6,97	4,3	5,3	60
10	10,32	34,61	139	0,77	154,31	0,81	98,42	5,53	0,94	0,97	13,6	0,50	2,55	7,59	9,64	4,6	21,3	57
11	7,90	27,47	20	1,29	258,52	0,27	32,81	9,23	0,76	2,89	15,0	0,10	1,71	2,60	4,21	5,2	38,2	54
12	8,51	29,29	9	0,95	190,38	0,15	18,23	5,30	0,42	0,13	16,3	2,50	3,62	10,56	11,68	4,2	9,6	51
13	1,04	4,75	46	1,02	204,41	0,48	58,32	7,00	0,50	1,96	17,9	0,40	2,03	4,62	6,25	4,9	26,1	48
14	15,47	49,12	75	2,19	438,88	1,09	132,44	5,21	0,28	0,70	18,5	0,00	3,47	2,31	5,78	5,8	60,0	46
15	5,36	19,64	142	3,06	613,22	1,14	138,51	13,86	1,21	4,70	18,7	0,00	4,56	5,61	10,17	5,6	44,8	46
16	6,35	22,74	51	1,6	320,64	0,83	100,85	5,25	0,28	0,75	20,9	0,00	2,56	0,99	3,55	5,7	72,1	42
17	2,68	10,78	94	1,82	364,73	0,58	70,47	3,66	0,33	1,10	21,5	0,30	2,95	5,28	7,93	5,0	33,4	41
18	3,72	14,32	144	1,53	306,61	0,45	54,68	4,41	0,45	4,77	22,6	0,00	2,35	1,32	3,67	5,6	64,0	39
19	2,49	10,12	45	1,45	290,58	0,81	98,42	6,18	0,29	0,97	23,2	0,10	2,47	6,27	8,64	5,1	27,4	38
20	1,35	5,96	62	0,96	192,38	0,54	65,61	4,05	0,40	2,44	23,5	0,00	1,66	1,65	3,31	5,3	50,2	37
21	2,29	9,41	24	2,04	408,82	0,56	68,04	6,46	0,38	1,70	26,0	0,20	2,86	2,97	5,63	5,4	47,2	33
22	3,76	14,45	10	0,7	140,28	0,08	9,72	5,85	0,33	0,27	27,2	1,70	2,52	7,92	8,74	4,8	9,4	31
23	1,66	7,12	110	0,98	196,39	0,29	35,24	5,09	0,40	1,46	28,9	0,30	1,86	3,30	4,86	5,1	32,1	29
24	1,89	7,97	68	2,08	416,83	0,71	86,27	7,93	0,67	3,28	30,9	0,00	2,96	1,32	4,28	5,8	69,2	26
25	14,23	45,70	100	3,23	647,29	0,66	80,19	10,70	0,67	2,94	31,5	0,00	4,16	4,95	9,11	5,6	45,7	25
26	5,82	21,09	50	1,71	342,68	0,42	51,03	4,01	0,34	1,22	33,9	0,10	2,36	2,97	5,23	5,4	43,2	22
27	0,93	4,31	14	0,5	100,20	0,19	23,09	4,17	0,37	1,05	39,7	0,70	1,43	2,97	3,70	4,9	19,7	14
28	0,75	3,58	196	1,84	368,74	0,59	71,69	7,70	0,62	1,27	41,9	0,00	2,93	1,65	4,58	5,5	64,0	12
29	16,80	52,76	17	1,9	380,76	0,55	66,83	4,62	0,42	0,85	43,2	0,00	2,49	1,98	4,47	5,5	55,7	10
30	0,56	2,78	89	1,81	362,72	0,43	52,25	4,08	0,37	0,63	45,6	0,00	2,47	0,66	3,13	5,5	78,9	07

<sup>(1)</sup>K e Zn extraídos com Mehlich-1, Ca e Mg com KCl, S com Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> + HOAc e B com água quente. <sup>(2)</sup>Valores estimados pela equação  $M = 0,1716R^{1,1559}$  ( $R^2 = 0,916$ ), ajustada com dados de Muniz et al. (1987) e Oliveira et al. (2000), em que M é o teor de P-Mehlich-1 (mg/dm<sup>3</sup>) e R é o teor de P-resina (mg/dm<sup>3</sup>). Por falta de uma opção melhor, escolheu-se esse modelo, embora se reconheça que o Mehlich-1 é muito sensível à capacidade-tampão do solo e a resina pouco sensível. <sup>(3)</sup>Não foi feita análise textural nessas amostras, porém os teores de argila foram estimados a partir dos valores de P<sub>rem</sub>, pela equação  $Y = 52,44 - 0,9646**X + 0,0050**X^2$  ( $R^2 = 0,747$ ), em que Y é o valor de P<sub>rem</sub> (mg/L) e X é o teor de argila (%) (Freire, 2001).

CA é a correção da acidez até certo valor de  $m$  ( $m_t$ ), de acordo com a cultura e a capacidade tampão da acidez do solo ( $Y$ ) e CD é a correção da deficiência de Ca e Mg, assegurando um teor mínimo ( $X$ ) desses nutrientes. Os autores recomendam para bananeira valores de  $m_t = 10 \%$ ,  $X = 3 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$  e  $Y$  variável em função da capacidade tampão da acidez do solo, estimada pelo Prem:

$$\hat{Y} = 4,002 - 0,125901P_{\text{rem}} + 0,001205P_{\text{rem}}^2 - 0,00000362 P_{\text{rem}}^3 \quad \text{Eq. (8)}$$

Para um valor de  $P_{\text{rem}} = 4,1 \text{ mg/L}$  na Eq. 8, obtém-se um valor de  $Y = 3,51$ . Adotando o valor de  $m_t = 10 \%$  e  $X = 3,0 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ , com a Eq. 7, encontra-se um valor de  $CA = 0,95 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$  e de  $CD = 2,16 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ . Como os valores de CA e CD são positivos, a NC é obtida somando-se esses valores, cujo resultado é  $3,11 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ , que corresponde a  $3,11 \text{ t/ha}$  de calcário com PRNT = 100 %.

Pelo método da saturação por bases (Quaggio & Raij, 1996), a NC é dada por:

$$NC = CTC(V_e - V_a)/100 \quad \text{Eq. (9)}$$

Considerando  $V_e = 60 \%$  (Teixeira et al., 1996) e substituindo os valores na Eq. 9, estima-se que o valor de  $NC = 6,25 \text{ t/ha}$  de calcário com PRNT = 100 %.

Pelo primeiro método,  $NC = 3,11 \text{ t/ha}$  e, pelo segundo,  $6,25 \text{ t/ha}$ . O valor de NC adotado no FERTICALC-Bananeira® será aquele que proporcionar maior incremento no pH do solo, desde que o mesmo não ultrapasse 6,5. Com a Eq. 1, estima-se o incremento esperado no pH do solo para cada  $\text{t/ha}$  de calcário adicionado:

$$\hat{Y} = -0,0234647 + 1,49415/11,02 \quad \therefore \hat{Y} = 0,11$$

Os valores de pH finais esperados serão:

$$\text{pH final}_1 = 5,0 + (3,11 \times 0,11) \quad \therefore \text{pH final}_1 = 5,34$$

$$\text{pH final}_2 = 5,0 + (6,25 \times 0,11) \quad \therefore \text{pH final}_2 = 5,69$$

Como a NC do método da saturação por bases proporciona maior elevação do pH do solo e o pH final é menor que 6,5, o FERTICALC-Bananeira® recomenda para esse solo uma  $NC = 6,25 \text{ t/ha}$ .

Considerando que será aplicado um calcário com PRNT = 85 % a lanço em toda a superfície do solo e incorporado até a profundidade de 20 cm, a quantidade de calcário a ser aplicada (QC) será:

$$QC = NC \times \frac{SC}{100} \times \frac{PF}{20} \times \frac{100}{PRNT} = 6,25 \times \frac{100}{100} \times \frac{20}{20} \times \frac{100}{85} \therefore QC = 7,35 \text{ t/ha}$$

SC é a superfície do solo coberta pela calagem e PF é a profundidade de incorporação do calcário. Se for admitido que o calcário que será utilizado tem 39 % de CaO e 13 % de MgO, serão adicionados ao solo 1 (Quadro 11) 2.048,63 kg/ha de Ca e 576,20 kg/ha de Mg. Procedendo-se os mesmos cálculos para os trinta solos relacionados no quadro 11, verificou-se que a média dos valores estimados de NC foi 2,08 t/ha, com coeficiente de variação de 100,5 %. Quanto às médias das doses de Ca e Mg aplicadas, estão foram, respectivamente, 680,1 e 191,28 kg/ha, com coeficientes de variação iguais aos obtidos para a NC.

### 3.1.2. Recomendação de adubação

Primeiramente, por meio do Subsistema-Requerimento, calcula-se o requerimento com base na demanda nutricional e na de sustentabilidade. A demanda nutricional é calculada seguindo o fluxograma da figura 1.

Entrando com o valor da produtividade esperada (35 t/ha) nas equações para o grupo AAB (Quadro 2), estimam-se as quantidades de matéria seca exportada ( $MS_{EXP}$ ) e restituídas ao solo ( $MS_{RES}$ ):

$$MS_{EXP} = -296,95 + 231,33 \times 35 \therefore MS_{EXP} = 7.799,60 \text{ kg/ha}$$

$$MS_{RES} = -1.273,2 + 441,52 \times 35 \therefore MS_{RES} = 14.180,00 \text{ kg/ha}$$

O conteúdo de cada nutriente (CONT) nas matérias secas é obtido dividindo-se os valores de  $MS_{EXP}$  e  $MS_{RES}$  pelos seus respectivos valores médios de CUB (Quadro 3):

.Para a matéria seca exportada:

$$. \text{CONT(N)}_{exp} = 7.799,60/108,0 \therefore \text{CONT(N)}_{exp} = 72,22 \text{ kg/ha}$$

$$. \text{CONT(P)}_{exp} = 7.799,60/936,7 \therefore \text{CONT(P)}_{exp} = 8,33 \text{ kg/ha}$$

$$. \text{CONT(K)}_{exp} = 7.799,60/46,3 \therefore \text{CONT(K)}_{exp} = 168,46 \text{ kg/ha}$$

$$. \text{CONT(Ca)}_{exp} = 7.799,60/906,7 \therefore \text{CONT(Ca)}_{exp} = 8,60 \text{ kg/ha}$$

$$. \text{CONT(Mg)}_{exp} = 7.799,60/681,1 \therefore \text{CONT(Mg)}_{exp} = 11,45 \text{ kg/ha}$$

$$. \text{CONT(S)}_{exp} = 7.799,60/1.537,1 \therefore \text{CONT(S)}_{exp} = 5,07 \text{ kg/ha}$$

$$. \text{CONT(B)}_{exp} = 7.799,60/59.328 \therefore \text{CONT(B)}_{exp} = 0,13 \text{ kg/ha}$$

$$\cdot \text{CONT}(\text{Zn})_{\text{exp}} = 7.799,60/73.004 \therefore \text{CONT}(\text{Zn})_{\text{exp}} = 0,11 \text{ kg/ha}$$

Para a matéria seca restituída ao solo:

$$\cdot \text{CONT}(\text{N})_{\text{res}} = 14.180,00/140,3 \therefore \text{CONT}(\text{N})_{\text{res}} = 101,07 \text{ kg/ha}$$

$$\cdot \text{CONT}(\text{P})_{\text{res}} = 14.180,00/1.451,4 \therefore \text{CONT}(\text{P})_{\text{res}} = 9,77 \text{ kg/ha}$$

$$\cdot \text{CONT}(\text{K})_{\text{res}} = 14.180,00/43,3 \therefore \text{CONT}(\text{K})_{\text{res}} = 327,48 \text{ kg/ha}$$

$$\cdot \text{CONT}(\text{Ca})_{\text{res}} = 14.180,00/137,7 \therefore \text{CONT}(\text{Ca})_{\text{res}} = 102,98 \text{ kg/ha}$$

$$\cdot \text{CONT}(\text{Mg})_{\text{res}} = 14.180,00/182,8 \therefore \text{CONT}(\text{Mg})_{\text{res}} = 77,83 \text{ kg/ha}$$

$$\cdot \text{CONT}(\text{S})_{\text{res}} = 14.180,00/1.785,2 \therefore \text{CONT}(\text{S})_{\text{res}} = 7,94 \text{ kg/ha}$$

$$\cdot \text{CONT}(\text{B})_{\text{res}} = 14.180,00/45.624 \therefore \text{CONT}(\text{B})_{\text{res}} = 0,31 \text{ kg/ha}$$

$$\cdot \text{CONT}(\text{Zn})_{\text{res}} = 14.180,00/86.741 \therefore \text{CONT}(\text{Zn})_{\text{res}} = 0,16 \text{ kg/ha}$$

Somando-se os conteúdos de nutrientes nessas duas partes, tem-se o conteúdo de cada nutriente nas “plantas-mãe”:

$$\cdot \text{CONT}(\text{N})_{\text{PM}} = 72,22 + 101,01 = 173,23 \text{ kg/ha}$$

$$\cdot \text{CONT}(\text{P})_{\text{PM}} = 8,33 + 9,77 = 18,10 \text{ kg/ha}$$

$$\cdot \text{CONT}(\text{K})_{\text{PM}} = 168,46 + 327,48 = 495,94 \text{ kg/ha}$$

$$\cdot \text{CONT}(\text{Ca})_{\text{PM}} = 8,60 + 102,98 = 111,58 \text{ kg/ha}$$

$$\cdot \text{CONT}(\text{Mg})_{\text{PM}} = 11,45 + 77,83 = 89,28 \text{ kg/ha}$$

$$\cdot \text{CONT}(\text{S})_{\text{PM}} = 5,07 + 7,94 = 13,01 \text{ kg/ha}$$

$$\cdot \text{CONT}(\text{B})_{\text{PM}} = 0,13 + 0,31 = 0,44 \text{ kg/ha}$$

$$\cdot \text{CONT}(\text{Zn})_{\text{PM}} = 0,11 + 0,16 = 0,27 \text{ kg/ha}$$

Como em cada cova é conduzida uma família de plantas (mãe-filha-neta), estima-se a demanda nutricional (DN) para o primeiro ciclo multiplicado-se o conteúdo do nutriente na planta-mãe por um fator (Quadro 4) que transforma esse valor em conteúdo do nutriente na família:

$$\cdot \text{DN}_{\text{N}} = 173,23 \times 1,5203 = 263,36 \text{ kg/ha}$$

$$\cdot \text{DN}_{\text{P}} = 18,10 \times 1,7484 = 31,65 \text{ kg/ha}$$

$$\cdot \text{DN}_{\text{K}} = 495,94 \times 1,6493 = 817,95 \text{ kg/ha}$$

$$\cdot \text{DN}_{\text{Ca}} = 111,58 \times 1,5064 = 168,08 \text{ kg/ha}$$

$$\cdot \text{DN}_{\text{Mg}} = 89,28 \times 1,5063 = 134,48 \text{ kg/ha}$$

$$\cdot \text{DN}_{\text{S}} = 13,01 \times 1,4761 = 19,20 \text{ kg/ha}$$

$$\cdot \text{DN}_{\text{B}} = 0,44 \times 1,4761 = 0,65 \text{ kg/ha}$$

$$\cdot \text{DN}_{\text{Zn}} = 0,27 \times 1,4761 = 0,40 \text{ kg/ha}$$

O requerimento de um nutriente pela planta também depende da demanda de sustentabilidade por esse nutriente, a qual depende, basicamente, da demanda de exportação (Figura 2). No FERTICALC-Bananeira® calcula-se a demanda de sustentabilidade (DS) multiplicando o conteúdo do nutriente na matéria seca exportada por um fator correspondente à fração da demanda de exportação que se deseja fornecer ao solo a cada ciclo de produção:

- .  $DS_N = 72,22 \times 0,20 = 14,44 \text{ kg/ha}$
- .  $DS_P = 8,33 \times 0,20 = 1,67 \text{ kg/ha}$
- .  $DS_K = 168,46 \times 0,20 = 33,69 \text{ kg/ha}$
- .  $DS_{Ca} = 8,60 \times 0,20 = 1,72 \text{ kg/ha}$
- .  $DS_{Mg} = 11,45 \times 0,20 = 2,29 \text{ kg/ha}$
- .  $DS_S = 5,07 \times 0,20 = 1,01 \text{ kg/ha}$
- .  $DS_B = 0,13 \times 0,20 = 0,03 \text{ kg/ha}$
- .  $DS_{Zn} = 0,11 \times 0,20 = 0,02 \text{ kg/ha}$

De acordo com a Eq. 3, calcula-se o valor de REQ somando-se seus valores de DN e DS e dividindo-se o resultado pela taxa de recuperação pela bananeira, do nutriente proveniente do fertilizante (Quadro 5):

- .  $REQ_N = (263,36 + 14,44)/0,60 = 463,00 \text{ kg/ha}$
- .  $REQ_P = (31,65 + 1,67)/0,40 = 83,30 \text{ kg/ha}$
- .  $REQ_K = (817,95 + 33,69)/0,70 = 1.216,63 \text{ kg/ha}$
- .  $REQ_{Ca} = (168,08 + 1,72)/0,50 = 339,6 \text{ kg/ha}$
- .  $REQ_{Mg} = (134,48 + 2,29)/0,50 = 273,54 \text{ kg/ha}$
- .  $REQ_S = (19,20 + 1,01)/0,50 = 40,42 \text{ kg/ha}$
- .  $REQ_B = (0,65 + 0,03)/0,50 = 1,36 \text{ kg/ha}$
- .  $REQ_{Zn} = (0,40 + 0,02)/0,40 = 1,05 \text{ kg/ha}$

Os valores de REQ correspondem às doses dos nutrientes que deveriam ser aplicadas ao solo, se o fertilizante fosse a única fonte de nutrientes para a cultura. Como a planta absorve nutrientes provenientes de outras fontes, no FERTICALC-Bananeira®, por meio do Subsistema-Suprimento, estima-se a quantidade de nutrientes supridos à cultura, provenientes do solo e dos resíduos vegetais. No exemplo em questão, não serão contabilizados os nutrientes provenientes dos resíduos vegetais, porque na implantação de um bananal

geralmente não se dispõe desses resíduos, ou de informação sobre eles. Assim, o valor de SUP no primeiro ciclo dependerá, apenas, do teor desses nutrientes indicados na análise química de solo e do volume de solo explorado pelas raízes (Figura 3). Como ainda não são feitas análises de solo para N em laboratórios de rotina, no Subsistema-Suprimento considera-se que o suprimento desse nutriente para a planta será igual a zero.

Inicialmente, no Subsistema-Suprimento transforma-se o teor de um nutriente indicado na análise química de solo (TEOR) na quantidade do nutriente suprida por 1 dm<sup>3</sup> de solo (QNS1), dividindo-se seu valor de TEOR pela sua TR<sub>EX</sub> (Quadro 6). Para nutrientes fortemente influenciados pela capacidade tampão do solo, como P, S e Zn, seus valores de TR<sub>EX</sub> dependem da CT estimada pelo Prem. Portanto, para o solo 1, que tem Prem igual a 4,1 mg/L, os valores de TR<sub>EX</sub> para cada nutriente serão:

$$\begin{aligned}
 & \cdot TR_{EX}P = 0,06728 + 0,01216 \times 4,1 \therefore TR_{EX}P = 0,1171 \text{ mg dm}^{-3}/\text{mg dm}^{-3} \\
 & \cdot TR_{EX}K = 0,8020 \text{ mg dm}^{-3}/\text{mg dm}^{-3} \\
 & \cdot TR_{EX}Ca = 0,7661 \text{ mg dm}^{-3}/\text{mg dm}^{-3} \\
 & \cdot TR_{EX}Mg = 0,8020 \text{ mg dm}^{-3}/\text{mg dm}^{-3} \\
 & \cdot TR_{EX}S = 0,0410 + 0,01700 \times 4,1 \therefore TR_{EX}S = 0,1107 \text{ mg dm}^{-3}/\text{mg dm}^{-3} \\
 & \cdot TR_{EX}B = 0,4521 \text{ mg dm}^{-3}/\text{mg dm}^{-3} \\
 & \cdot TR_{EX}Zn = 0,3603 - 0,00234 \times 4,1 + 0,00012 \times (4,1)^2 \therefore TR_{EX}Zn = 0,3527 \text{ mg dm}^{-3}/\text{mg dm}^{-3}
 \end{aligned}$$

Dividindo-se o TEOR pela TR<sub>EX</sub>, obtém-se o valor de QNS1 para cada nutriente:

$$\begin{aligned}
 & \cdot QNS1_P = 1,73/0,1171 = 14,7737 \text{ mg/dm}^3 \\
 & \cdot QNS1_K = 18/0,8020 = 22,4439 \text{ mg/dm}^3 \\
 & \cdot QNS1_{Ca} = 110,22/0,7661 = 143,8716 \text{ mg/dm}^3 \\
 & \cdot QNS1_{Mg} = 35,24/0,7989 = 44,1107 \text{ mg/dm}^3 \\
 & \cdot QNS1_S = 2,30/0,1107 = 20,7769 \text{ mg/dm}^3 \\
 & \cdot QNS1_B = 0,18/0,4521 = 0,3981 \text{ mg/dm}^3 \\
 & \cdot QNS1_{Zn} = 0,43/0,3527 = 1,2192 \text{ mg/dm}^3
 \end{aligned}$$

Para saber o suprimento de um nutriente pelo solo (SUP<sub>SO</sub>), multiplica-se o valor de QNS1 pelo VS<sub>ER</sub> (Eq. 5) e depois divide o resultado por 1.000.000:

$$\cdot SUP_{SO}N = 0,00 \text{ kg/ha}$$

- .  $SUP_{SO P} = (14,7737 \times 339,292 \times 1.600)/1.000.000 = 8,02 \text{ kg/ha}$
- .  $SUP_{SO K} = (22,4439 \times 339,292 \times 1.600)/1.000.000 = 12,18 \text{ kg/ha}$
- .  $SUP_{SO Ca} = (143,8716 \times 339,292 \times 1.600)/1.000.000 = 78,10 \text{ kg/ha}$
- .  $SUP_{SO Mg} = (44,1107 \times 339,292 \times 1.600)/1.000.000 = 23,95 \text{ kg/ha}$
- .  $SUP_{SO S} = (20,7769 \times 339,292 \times 1.600)/1.000.000 = 11,28 \text{ kg/ha}$
- .  $SUP_{SO B} = (0,3981 \times 339,292 \times 1.600)/1.000.000 = 0,22 \text{ kg/ha}$
- .  $SUP_{SO Zn} = (1,2192 \times 339,292 \times 1.600)/1.000.000 = 0,66 \text{ kg/ha}$

O suprimento de cada nutriente para a bananeira será calculado somando-se os valores de  $SUP_{SO}$  com seus respectivos valores de  $SUP_{RE}$  (Eq. 6):

- .  $SUP_N = 0,00 + 0,00 = 0,00 \text{ kg/ha}$
- .  $SUP_P = 8,02 + 0,00 = 8,02 \text{ kg/ha}$
- .  $SUP_K = 12,18 + 0,00 = 12,18 \text{ kg/ha}$
- .  $SUP_{Ca} = 78,10 + 0,00 = 78,10 \text{ kg/ha}$
- .  $SUP_{Mg} = 23,95 + 0,00 = 23,95 \text{ kg/ha}$
- .  $SUP_S = 11,28 + 0,00 = 11,28 \text{ kg/ha}$
- .  $SUP_B = 0,22 + 0,00 = 0,22 \text{ kg/ha}$
- .  $SUP_{Zn} = 0,66 + 0,00 = 0,66 \text{ kg/ha}$

Tendo o valor de REQ e o de SUP, o FERTICALC-Bananeira® calcula a dose recomendada de cada nutriente (Eq. 2):

- .  $DR_N = 463,00 - 0,00 = 463,00 \text{ kg/ha}$
- .  $DR_P = 83,30 - 8,02 = 75,28 \text{ kg/ha}$
- .  $DR_K = 1.216,63 - 12,18 = 1.204,45 \text{ kg/ha}$
- .  $DR_{Ca} = 339,6 - 78,10 = 261,50 \text{ kg/ha}$
- .  $DR_{Mg} = 273,54 - 23,95 = 249,59 \text{ kg/ha}$
- .  $DR_S = 40,42 - 11,28 = 29,14 \text{ kg/ha}$
- .  $DR_B = 1,36 - 0,22 = 1,14 \text{ kg/ha}$
- .  $DR_{Zn} = 1,05 - 0,66 = 0,39 \text{ kg/ha}$

As DR dos nutrientes, pelo FERTICALC-Bananeira®, para o primeiro ciclo, referem-se às quantidades totais dos nutrientes que deverão ser aplicados ao solo, durante o período que vai do plantio da muda no campo até a colheita do primeiro cacho (primeiro ciclo). Para cada nutriente, a fração de DR que deverá

ser adicionada na cova de plantio (DRC) deverá ser calculada com base nas equações que estimam os  $NiCri_{IMP}$  (Quadro 9):

$$\cdot NiCri_{IMP} (P) = 90,585 - 0,3018(4,1) + 0,1138(4,1)^2 \therefore NiCri_{IMP} (P) = 91,26 \text{ mg/dm}^3$$

$$\cdot NiCri_{IMP} (K) = 200 \text{ mg/dm}^3$$

$$\cdot NiCri_{IMP} (S) = 10,8 + 1,539(4,1) \therefore NiCri_{IMP} (S) = 17,11 \text{ mg/dm}^3$$

$$\cdot NiCri_{IMP} (B) = 0,1808 \text{ mg/dm}^3$$

$$\cdot NiCri_{IMP} (Zn) = 1,4412 - 0,00936(4,1) + 0,0004796(4,1)^2 \therefore NiCri_{IMP} (Zn) = 1,41 \text{ mg/dm}^3$$

Para N, o  $NiCri_{IMP}$  não é expresso em termos de teor desse nutriente no solo, como é feito para os demais, mas como sendo uma dose de  $300 \text{ mg/dm}^3$  de N que deverá ser aplicada na cova, preferencialmente na forma de esterco. No cálculo da DRC para os demais nutrientes, leva-se em consideração o  $NiCri_{IMP}$ , o teor do nutriente na análise química de solo, a  $TR_{EX}$ , o volume da cova ( $64 \text{ dm}^3$ ) e o número de covas/ha (1.600):

$$\cdot DRC_N = (300 \times 64 \times 1.600)/1.000.000 \therefore DRC_N = 30,72 \text{ kg/ha}$$

$$\cdot DRC_P = \{[(91,26 - 1,73)/0,1171] \times 64 \times 1.600\}/1.000.000 \therefore DRC_P = 78,29 \text{ kg/ha}$$

$$\cdot DRC_K = \{[(200 - 18)/0,8020] \times 64 \times 1.600\}/1.000.000 \therefore DRC_K = 23,24 \text{ kg/ha}$$

$$\cdot DRC_S = \{[(17,11 - 2,30)/0,1107] \times 64 \times 1.600\}/1.000.000 \therefore DRC_S = 13,70 \text{ kg/ha}$$

$$\cdot DRC_B = \{[(0,1808 - 0,18)/0,4521] \times 64 \times 1.600\}/1.000.000 \therefore DRC_B = 0,1812 \text{ g/ha}$$

$$\cdot DRC_{Zn} = \{[(1,41 - 0,43)/0,3527] \times 64 \times 1.600\}/1.000.000 \therefore DRC_{Zn} = 0,28 \text{ kg/ha}$$

Para N, não se utiliza no FERTICALC-Bananeira® um valor de  $NiCri_{IMP}$  expresso em teor desse nutriente no solo, mas em dose desse nutriente que deverá ser aplicada na cova ( $300 \text{ mg/dm}^3$ ). Nota-se que, com relação a P, a DRC (78,29 kg/ha) é maior que a DR (75,28 kg/ha). Nesse caso, recomenda-se que sejam aplicados 78,29 kg/ha de P na cova de plantio, sem necessitar aplicar mais P até o final do primeiro ciclo de produção.

A partir do segundo ciclo, as DR de nutrientes pelo FERTICALC-Bananeira® contemplam as exigências nutricionais da cultura para o período compreendido entre duas colheitas. Do segundo ciclo em diante, as DR serão menores, porque se espera que o efeito residual das adubações do primeiro ciclo promova elevações nos teores dos nutrientes no solo e que os resíduos da planta-mãe colhida no ciclo anterior serão mineralizados e fornecerão nutrientes para a cultura a partir do segundo ciclo. Além do mais, a partir do segundo ciclo não se

considera o fator que transforma conteúdo de nutriente na “planta-mãe” em conteúdo de nutriente na “família”, evitando um aumento médio do valor de DN de mais ou menos 57 %.

Admitindo a mesma produtividade esperada do primeiro ciclo e o mesmo fator que transforma demanda de exportação em demanda de segurança, os valores de REQ serão menores, devido à diminuição dos valores de DN, que serão iguais aos valores dos conteúdos dos nutrientes nas plantas-mãe ( $CONT_{PM}$ ):

$$. REQ_N = (173,23 + 14,44)/0,60 = 312,78 \text{ kg/ha}$$

$$. REQ_P = (18,10 + 1,67)/0,40 = 49,43 \text{ kg/ha}$$

$$. REQ_K = (495,94 + 33,69)/0,70 = 756,61 \text{ kg/ha}$$

$$. REQ_{Ca} = (111,58 + 1,72)/0,50 = 226,60 \text{ kg/ha}$$

$$. REQ_{Mg} = (89,28 + 2,29)/0,50 = 183,14 \text{ kg/ha}$$

$$. REQ_S = (13,01 + 1,01)/0,50 = 28,04 \text{ kg/ha}$$

$$. REQ_B = (0,44 + 0,03)/0,50 = 0,94 \text{ kg/ha}$$

$$. REQ_{Zn} = (0,27 + 0,02)/0,40 = 0,73 \text{ kg/ha}$$

Se for considerado que os teores dos nutrientes no solo aumentarão em 20 %, o  $SUP_{SO}$  para cada nutriente será:

$$. SUP_{SO}N = 0,00 \text{ kg/ha}$$

$$. SUP_{SO}P = ((2,08/0,1171) \times 339,292 \times 1.600)/1.000.000 = 9,64 \text{ kg/ha}$$

$$. SUP_{SO}K = ((22/0,8020) \times 339,292 \times 1.600)/1.000.000 = 14,89 \text{ kg/ha}$$

$$. SUP_{SO}Ca = ((132,3/0,7661) \times 339,292 \times 1.600)/1.000.000 = 93,75 \text{ kg/ha}$$

$$. SUP_{SO}Mg = ((42,28/0,7989) \times 339,292 \times 1.600)/1.000.000 = 28,73 \text{ kg/ha}$$

$$. SUP_{SO}S = ((2,76/0,1107) \times 339,292 \times 1.600)/1.000.000 = 13,53 \text{ kg/ha}$$

$$. SUP_{SO}B = ((0,22/0,4521) \times 339,292 \times 1.600)/1.000.000 = 0,26 \text{ kg/ha}$$

$$. SUP_{SO}Zn = ((0,52/0,3527) \times 339,292 \times 1.600)/1.000.000 = 0,80 \text{ kg/ha}$$

Para calcular o suprimento de um nutriente proveniente dos resíduos da bananeira ( $SUP_{RE}$ ), multiplica-se o conteúdo do nutriente na matéria seca restituída ao solo ( $CONT_{res}$ ) pela fração do nutriente (Quadro 8) na matéria seca que será mineralizada entre dois ciclos de produção (Figura 5):

$$. SUP_{REN} = 101,07 \times 0,65 = 65,70 \text{ kg/ha}$$

$$. SUP_{REP} = 9,77 \times 0,60 = 5,86 \text{ kg/ha}$$

$$. SUP_{REK} = 327,48 \times 0,85 = 278,36 \text{ kg/ha}$$

$$. SUP_{RE}Ca = 102,98 \times 0,55 = 56,64 \text{ kg/ha}$$

- .  $SUP_{RE}Mg = 77,83 \times 0,55 = 42,81 \text{ kg/ha}$
- .  $SUP_{RE}S = 7,94 \times 0,60 = 4,76 \text{ kg/ha}$
- .  $SUP_{RE}B = 0,31 \times 0,50 = 0,16 \text{ kg/ha}$
- .  $SUP_{RE}Zn = 0,16 \times 0,30 = 0,05 \text{ kg/ha}$

Somando-se os valores de  $SUP_{SO}$  com os de  $SUP_{RE}$ , tem-se o suprimento de nutrientes para a bananeira, a partir do segundo ciclo (Eq 6):

- .  $SUP_N = 0,00 + 65,70 = 65,70 \text{ kg/ha}$
- .  $SUP_P = 9,64 + 5,86 = 15,50 \text{ kg/ha}$
- .  $SUP_K = 14,89 + 278,36 = 293,25 \text{ kg/ha}$
- .  $SUP_{Ca} = 93,75 + 56,64 = 150,39 \text{ kg/ha}$
- .  $SUP_{Mg} = 28,73 + 42,81 = 71,54 \text{ kg/ha}$
- .  $SUP_S = 13,53 + 4,76 = 18,29 \text{ kg/ha}$
- .  $SUP_B = 0,26 + 0,16 = 0,42 \text{ kg/ha}$
- .  $SUP_{Zn} = 0,80 + 0,05 = 0,85 \text{ kg/ha}$

Para P, o valor de  $SUP_P$  deverá ser acrescido do  $SUPP_{RES}$ . Primeiramente, pelo FERTICALC-Bananeira® calcula-se a dose de P aplicada na cova de plantio (DRC):

$$DRC_P = (91,26 - 1,73)/0,1171 \therefore DRC_P = 764,56 \text{ mg/dm}^3$$

Considerando que a duração do primeiro ciclo é de um ano (365 dias), estima-se o valor de  $C_f$ :

$$C_f = 1,73 + \{ [0,06728 + 0,01216(4,1)] \times 764,56 - 1,73 \} e^{-0,0013(365)} \therefore C_f = 56,38 \text{ mg/dm}^3$$

Dividindo-se  $C_f$  pela  $TR_{EX}$  (0,1171), obtém-se um valor de  $SUPP_{RES} = 481,47 \text{ mg/dm}^3$ . Multiplicando-se esse valor pelo volume de solo da cova ( $64 \text{ dm}^3$ ) e pelo número de covas por hectare (1.600), e depois transformando-se mg em kg, obtém-se um valor de  $SUPP_{RES}$  igual a 49,30 kg/ha. Portanto, o  $SUP_P$  estimado pelo FERTICALC-Bananeira® no segundo ciclo será:

$$SUP_P = SUP_{SO} + SUP_{RE} + SUPP_{RES} = 9,64 + 5,86 + 49,30 \therefore$$

$$SUP_P = 64,80 \text{ kg/ha de P}$$

Substituindo-se os valores de REQ e de SUP na Eq. 2, as doses recomendadas serão:

- .  $DR_N = 312,78 - 65,70 = 247,08 \text{ kg/ha}$
- .  $DR_P = 49,43 - 64,80 = -15,37 \therefore DR_P = 0,00 \text{ kg/ha}$
- .  $DR_K = 756,61 - 293,25 = 463,36 \text{ kg/ha}$
- .  $DR_{Ca} = 226,60 - 150,39 = 76,21 \text{ kg/ha}$
- .  $DR_{Mg} = 183,14 - 71,54 = 111,60 \text{ kg/ha}$
- .  $DR_S = 28,04 - 18,29 = 9,75 \text{ kg/ha}$
- .  $DR_B = 0,94 - 0,42 = 0,52 \text{ kg/ha}$
- .  $DR_{Zn} = 0,73 - 0,85 = -0,12 \text{ kg/ha} \therefore DR_{Zn} = 0,00 \text{ kg/ha}$

O resumo dos cálculos realizados pelo FERTICALC-Bananeira® para as recomendações de calagem e adubação, para o primeiro e segundo ciclos, é apresentado no quadro 12. Observa-se que, em geral, o requerimento de nutrientes é muito grande em relação ao suprimento total dos mesmos, principalmente para os macronutrientes e no primeiro ciclo de produção.

### **3.2. Simulações e análise de sensibilidade**

Tomando-se como base as análises dos trinta solos (Quadro 11), realizaram-se simulações para verificar as variações das doses dos nutrientes recomendadas em função da produtividade esperada e do teor desses nutrientes no solo. Para o grupo AAA, variou-se a produtividade esperada de 16,5 a 77,0 t/ha e, para o grupo AAB, de 9,4 a 50 t/ha. Como era de se esperar, as doses recomendadas dos nutrientes aumentaram com a produtividade esperada, sendo maior no primeiro ciclo, que no segundo (Figuras 6 a 11). Para P, o efeito residual da adubação da cova, no primeiro ciclo, aumenta o suprimento desse nutriente no segundo ciclo, levando o FERTICALC-Bananeira® a não recomendar P, ou recomendar pequenas doses de P, apenas para produtividades elevadas e solos com baixa capacidade tampão de P, que apresentam efeito residual de P elevado (Figura 7). As mudanças de declividades das curvas apresentadas (Figuras 6 a 11) são devidas às restrições para as equações apresentadas no quadro 2. Para o grupo AAA, as declividades das curvas diminuem quando a produtividade esperada é superior a 32,0 t/ha. Para o grupo AAB, a declividade é maior na faixa entre 19,4 e 39,0 t/ha, e menor fora dela. A DR de P no primeiro ciclo não varia enquanto a produtividade esperada for baixa o suficiente para causar um valor de DR menor que DRC (Figura 7).

Quadro 12 - Resumo dos cálculos feitos pelo FERTICALC-Bananeira®, para recomendação de calagem e adubação para a bananeira “Prata Anã” (AAB), considerando uma produtividade esperada de 35 t/ha de frutos frescos e densidade de 1.600 plantas/ha

Nutri-ente	Demanda		Reque-rimento	Teor no solo <sup>(1)</sup>	Suprimento			Balançaço	Dose	
	Nutricional	Sust.			Solo	Resíduos	ER <sup>(2)</sup>			Total
----- kg/ha -----				----- kg/ha -----						
<b>Primeiro ciclo</b>										
N	263,36	14,44	463,00	-	-	-	-	0,00	463,00	463,00
P	31,65	1,67	83,30	1,73	8,02	-	-	8,02	75,28	78,29
K	817,95	33,69	1.216,63	18,00	12,18	-	-	12,18	1.204,45	1.204,45
Ca <sup>(3)</sup>	168,08	1,72	339,60	0,55	78,10	-	-	78,10	261,50	261,50
Mg <sup>(3)</sup>	134,48	2,29	273,54	0,29	23,95	-	-	23,95	249,59	249,59
S	19,20	1,01	40,42	2,30	11,28	-	-	11,28	29,14	29,14
B	0,65	0,03	1,36	0,18	0,22	-	-	0,22	1,14	1,14
Zn	0,40	0,02	1,05	0,43	0,66	-	-	0,66	0,39	0,39
<b>Segundo ciclo</b>										
N	173,23	14,44	312,78	-	-	65,70	-	65,70	247,08	247,08
P	18,10	1,67	49,43	2,08	9,64	5,86	49,30	64,80	-15,37	0,00
K	495,94	33,69	756,61	22,00	14,89	278,36	-	293,25	463,36	463,36
Ca <sup>(3)</sup>	111,58	1,72	226,60	0,66	93,75	56,64	-	150,39	76,21	76,21
Mg <sup>(3)</sup>	89,28	2,29	183,14	0,35	28,73	42,81	-	1,54	111,60	111,60
S	13,01	1,01	28,04	2,76	13,53	4,76	-	18,29	9,75	9,75
B	0,44	0,03	0,94	0,22	0,26	0,16	-	0,42	0,52	0,52
Zn	0,27	0,02	0,73	0,52	0,80	0,05	-	0,85	-0,12	0,00
<b>Calagem<sup>(4)</sup></b>										

NC = 6,25 t/ha; QC = 7,35 t/ha; Doses de Ca e Mg aplicadas = 2.048,63 e 576,20 kg/ha

<sup>(1)</sup>Teores expressos em mg/dm<sup>3</sup>, exceto para Ca e Mg que são expressos em cmol/dm<sup>3</sup>. <sup>(2)</sup> Suprimento de P proveniente do efeito residual do P aplicado na cova de plantio. <sup>(3)</sup> As doses recomendadas de Ca e Mg, no primeiro e segundo ciclos, expressam as quantidades desses nutrientes que deveriam ser aplicadas ao solo, caso não fosse feita a calagem. <sup>(4)</sup> NC é a necessidade de calagem, utilizando calcário com PRNT = 100 % e aplicando o calcário em toda superfície do solo e incorporando-o até 20 cm de profundidade e QC é a quantidade de calcário com PRNT = 85 % que deverá ser aplicado em toda superfície do solo e incorporado até 20 cm de profundidade. Para o cálculo das doses de Ca e Mg aplicadas, considerou-se que o calcário tem 39 % de CaO e 13 % de MgO.

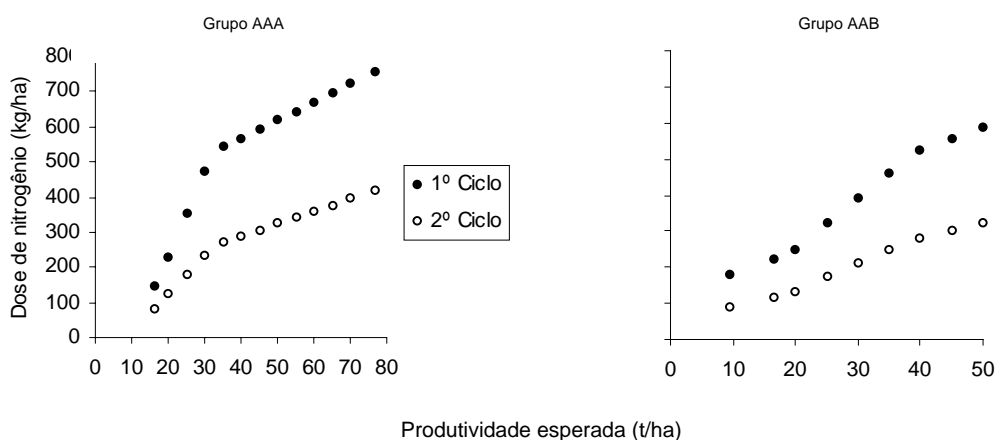


Figura 6 – Doses de nitrogênio recomendadas pelo FERTICALC-Bananeira® em função da produtividade esperada, para bananeiras dos grupos AAA e AAB.

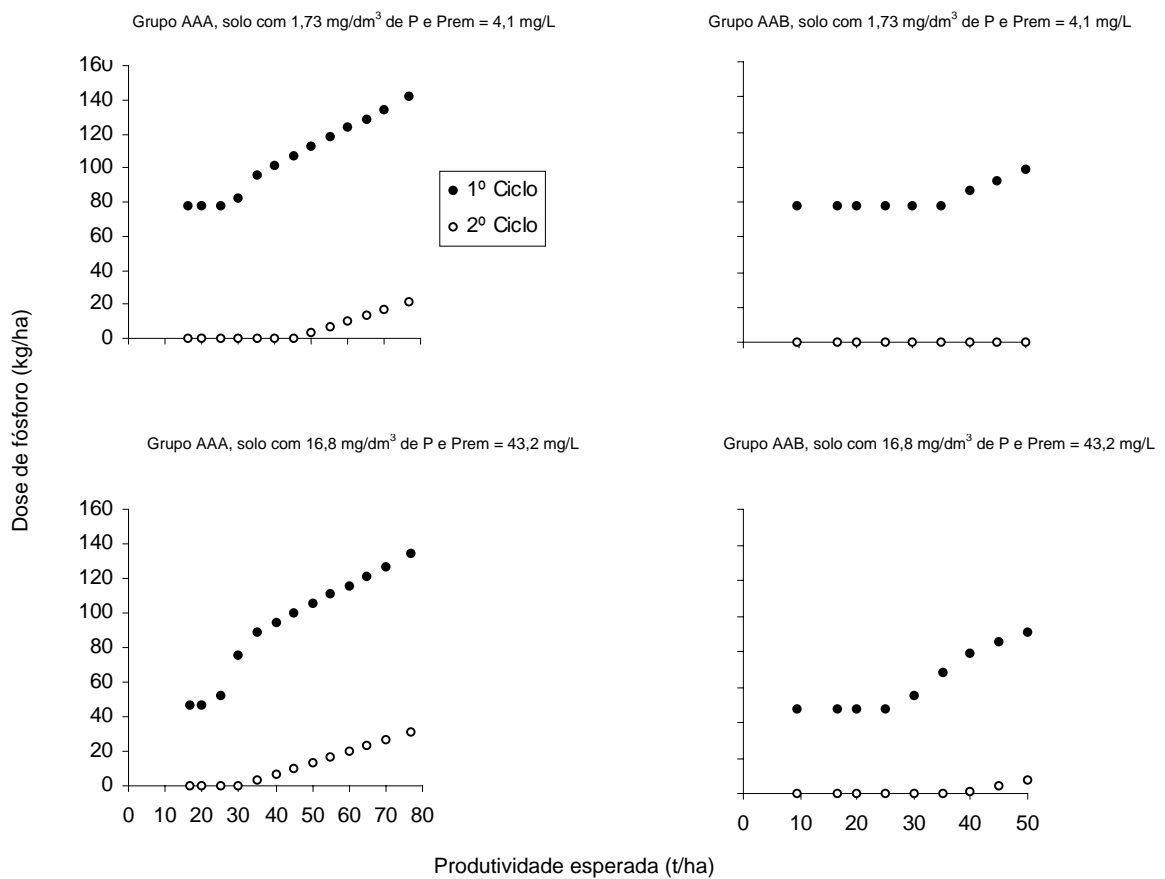


Figura 7 – Doses de fósforo recomendadas pelo FERTICALC-Bananeira® em função da produtividade esperada, para bananeiras dos grupos AAA e AAB, no primeiro e segundo ciclos, em dois solos.

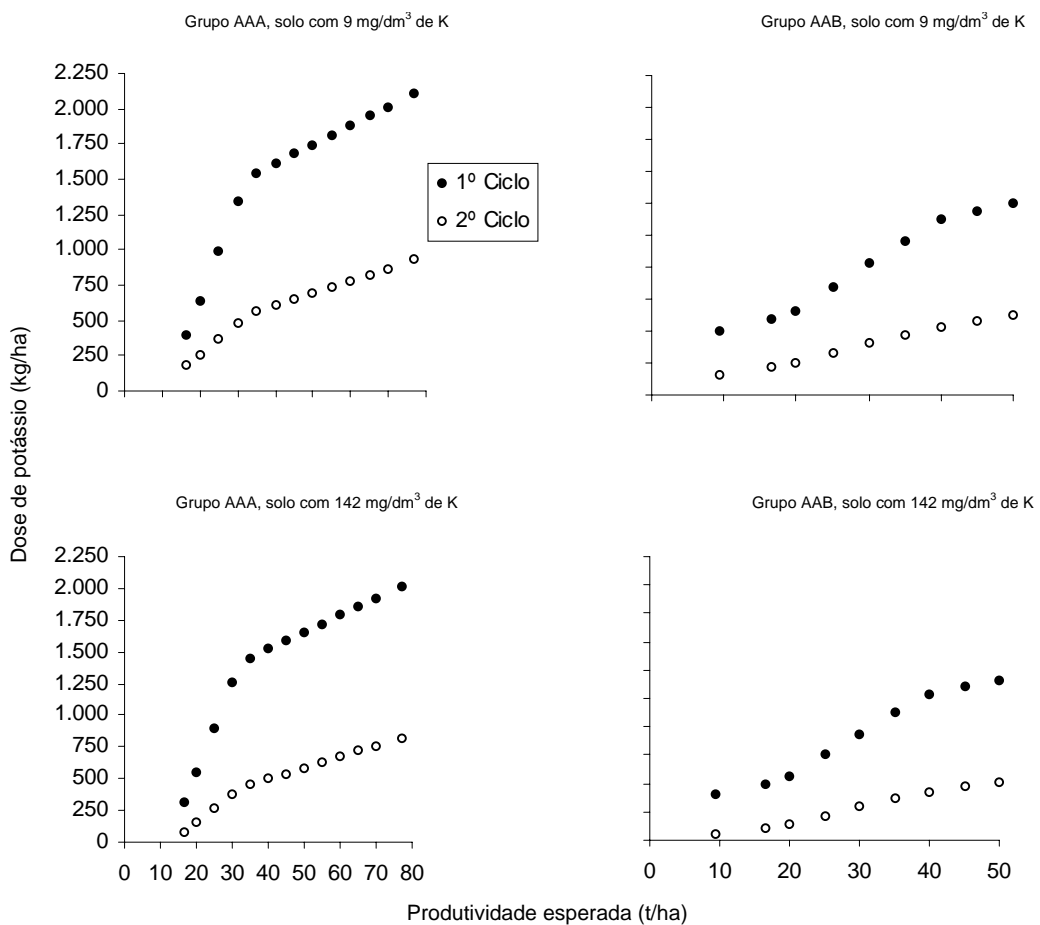


Figura 8 – Doses de potássio recomendadas pelo FERTICALC-Bananeira® em função da produtividade esperada, para bananeiras dos grupos AAA e AAB, no primeiro e segundo ciclos, em dois solos.

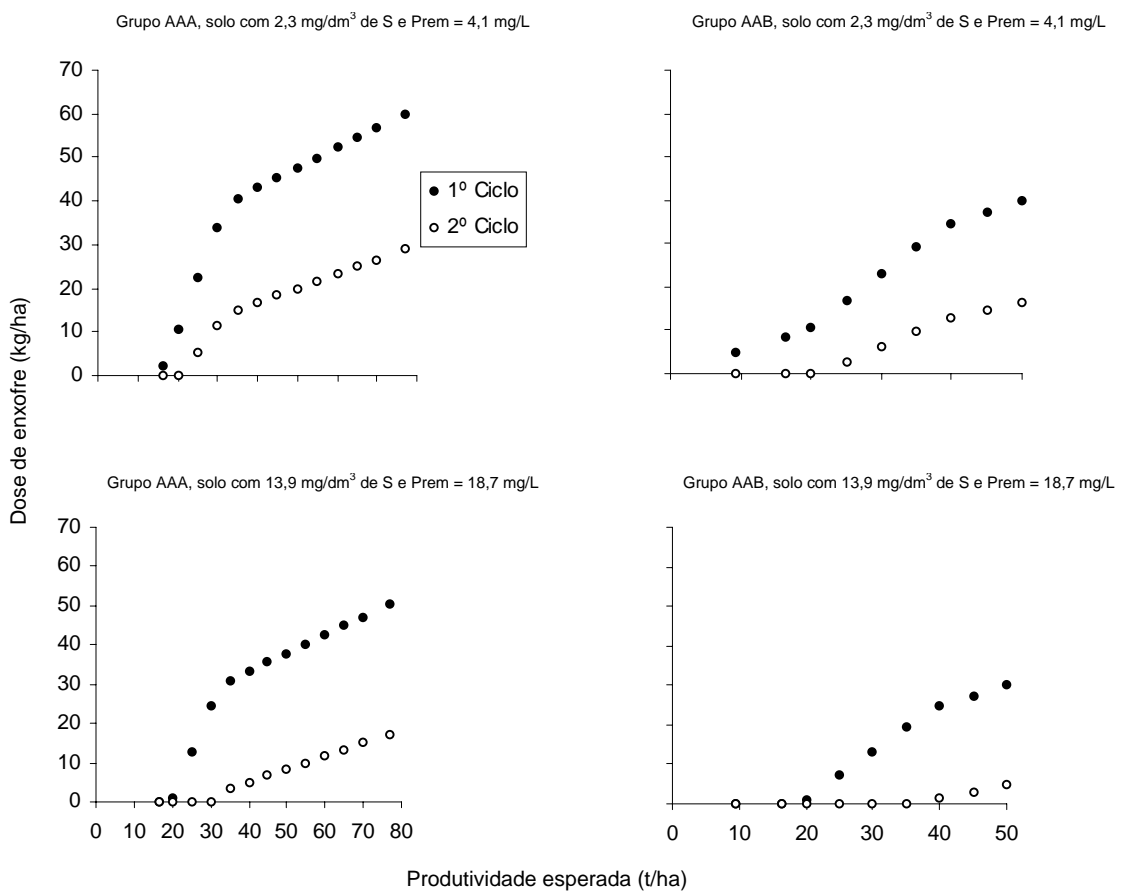


Figura 9 – Doses de enxofre recomendadas pelo FERTICALC-Bananeira® em função da produtividade esperada, para bananeiras dos grupos AAA e AAB, no primeiro e segundo ciclos, em dois solos.

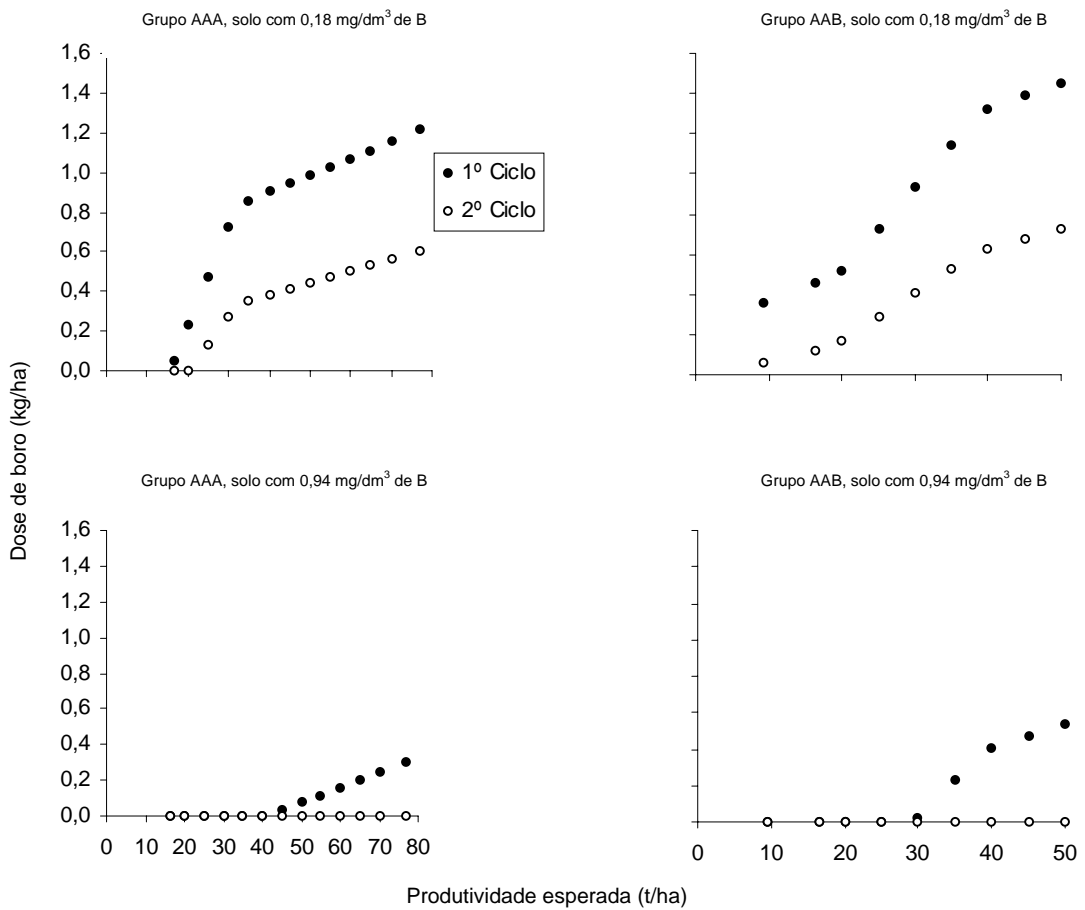


Figura 10 – Doses de boro recomendadas pelo FERTICALC-Bananeira® em função da produtividade esperada, para bananeiras dos grupos AAA e AAB, no primeiro e segundo ciclos, em dois solos.

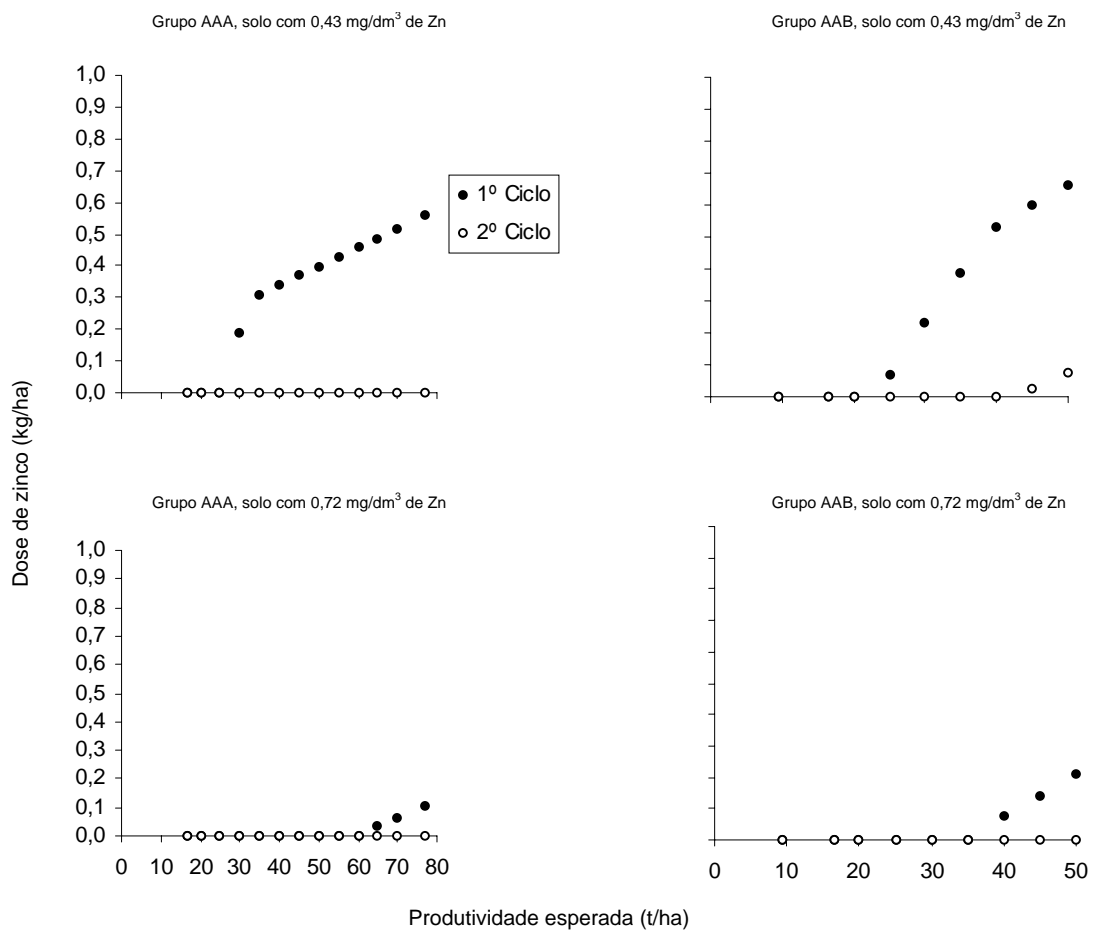


Figura 11 – Doses de zinco recomendadas pelo FERTICALC-Bananeira® em função da produtividade esperada, para bananeiras dos grupos AAA e AAB, no primeiro e segundo ciclos, em dois solos.

Com relação à variação das doses dos nutrientes em função de seus teores no solo, elas diminuem à medida que os teores dos nutrientes no solo aumentam, tanto no primeiro ciclo quanto no segundo (Figuras 12 a 16). Esse efeito é mais evidente para os nutrientes demandados pela planta em pequenas quantidades, como B e Zn (Figuras 15 e 16). A pouca sensibilidade da DR de K à análise de solo (Figura 13), se deve ao fato de que seu REQ é muito grande. Adicionalmente, o  $VS_{ER}$  (Eq.5) é muito pequeno, representando apenas 18 % do volume total de um hectare (profundidade de 30 cm), o que torna o análise de solo pouco importante na definição do valor de DR para K. Para P, S e Zn, as doses recomendadas podem ser diferentes, para os mesmos teores desses nutrientes no solo (Figuras 12, 14 e 16), uma vez que seus suprimentos também dependem da capacidade tampão do solo. Para todos os nutrientes, a dose recomendada é maior no primeiro ciclo que no segundo, principalmente quando a produtividade esperada é elevada (Figuras 12 a 16).

As principais variáveis que influenciam na estimativa das doses recomendadas pelo FERTICALC-Bananeira® são a produtividade esperada, o teor do nutriente no solo e o Prem, para aqueles nutrientes sensíveis a esta característica (P, S e Zn). A primeira influencia o requerimento do nutriente pela planta e, as demais, o suprimento do nutriente para a planta. Para avaliar a variação da dose estimada de cada nutriente em função da variação dessas características, procedeu-se à análise de sensibilidade.

A análise de sensibilidade foi realizada para bananeiras dos grupos AAA e AAB, no primeiro e segundo ciclos. Para cada variável, fixou-se um valor intermediário (“valor-padrão”), a partir do qual procederam-se as variações para mais e para menos. A faixa de variação adotada foi de 0,25 a 1,75 vez o valor fixado, sendo que as outras variáveis assumiram seus valores-padrão e constantes. Como valores-padrão, consideraram-se 40 e 25 t/ha para a produtividade esperada de bananeiras dos grupos AAA e AAB, respectivamente. Para P, K, S, B, e Zn, esses valores foram, respectivamente, 8,0, 60, 6,0, 0,50 e 0,70 mg/dm<sup>3</sup>. Para Prem, de 25 mg/L.

De modo geral, a produtividade esperada é a variável que mais influencia (maior declividade) as estimativas das doses de todos os nutrientes, especialmente aqueles demandados pela bananeira em grandes quantidades, como N e K (Figuras 17 e 19). De maneira contrária, o teor do nutriente no solo influencia mais acentuadamente aqueles nutrientes demandados pela planta em pequenas

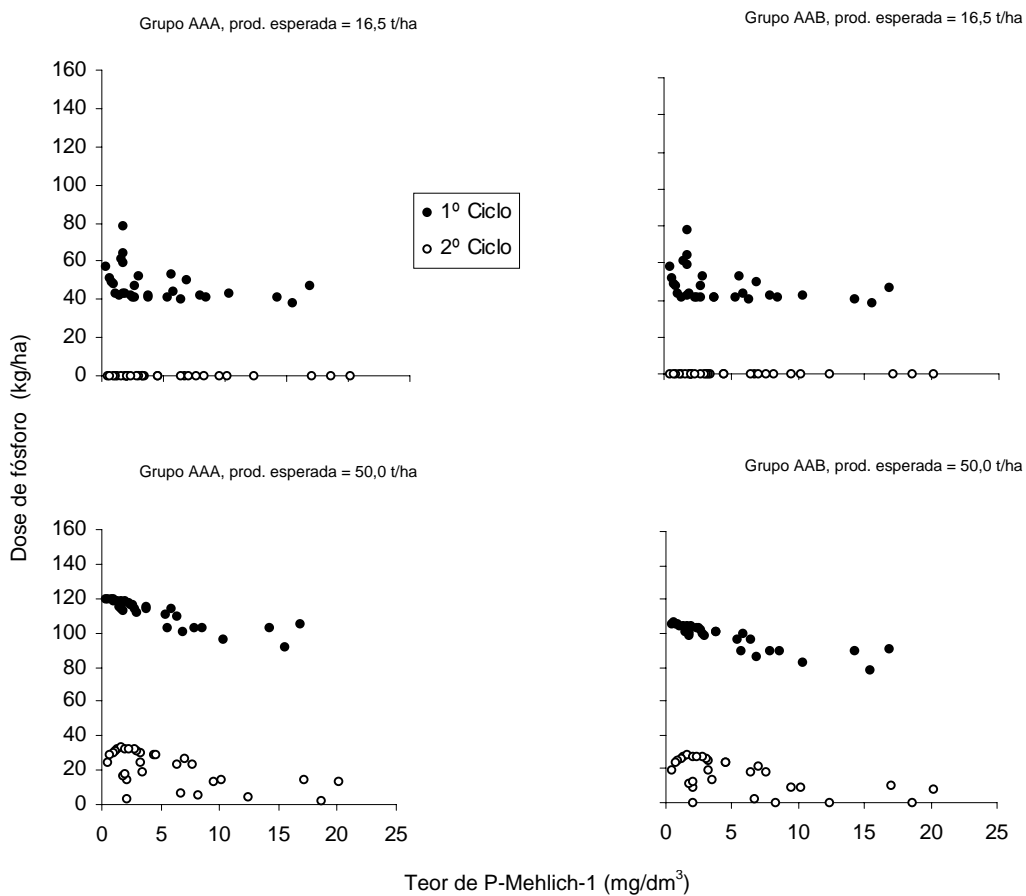


Figura 12 – Doses de fósforo recomendadas pelo FERTICALC-Bananeira® em função do teor desse nutriente no solo, para bananeiras dos grupos AAA e AAB, e para duas produtividades esperadas.

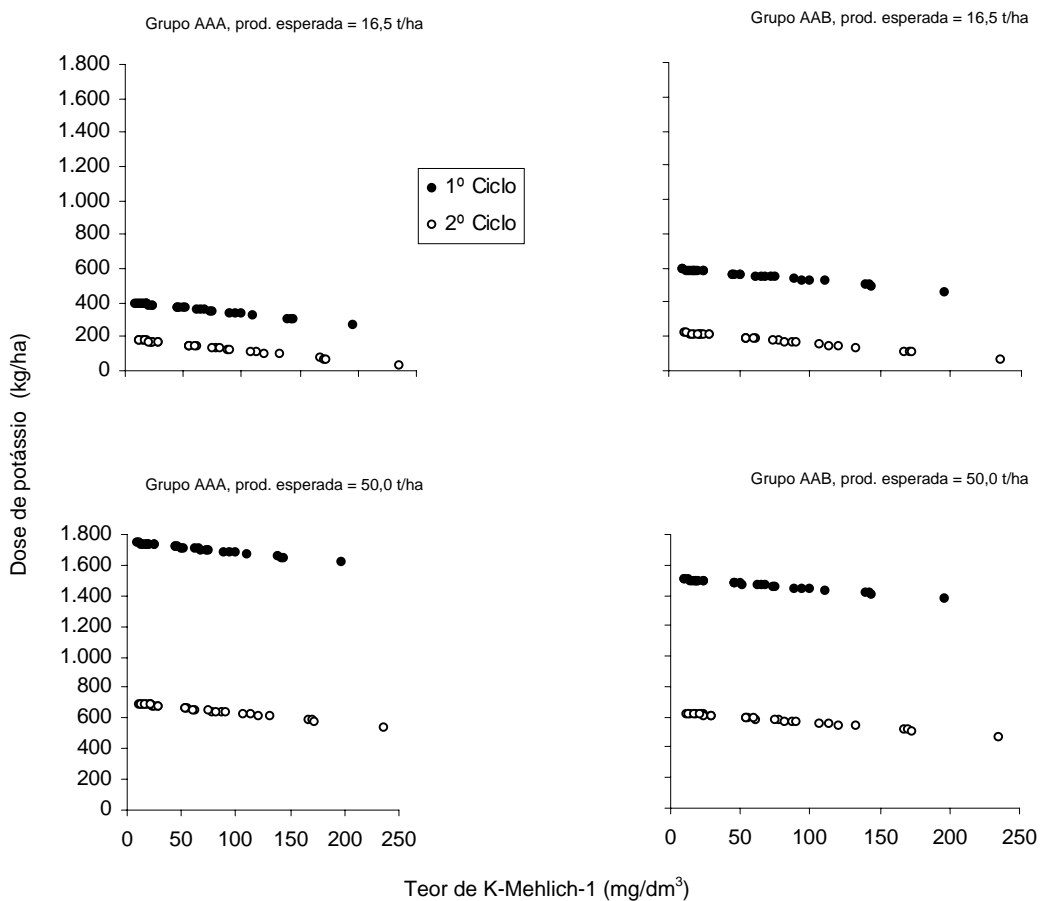


Figura 13 – Doses de potássio recomendadas pelo FERTICALC-Bananeira® em função do teor desse nutriente no solo, para bananeiras dos grupos AAA e AAB, e para duas produtividades esperadas.

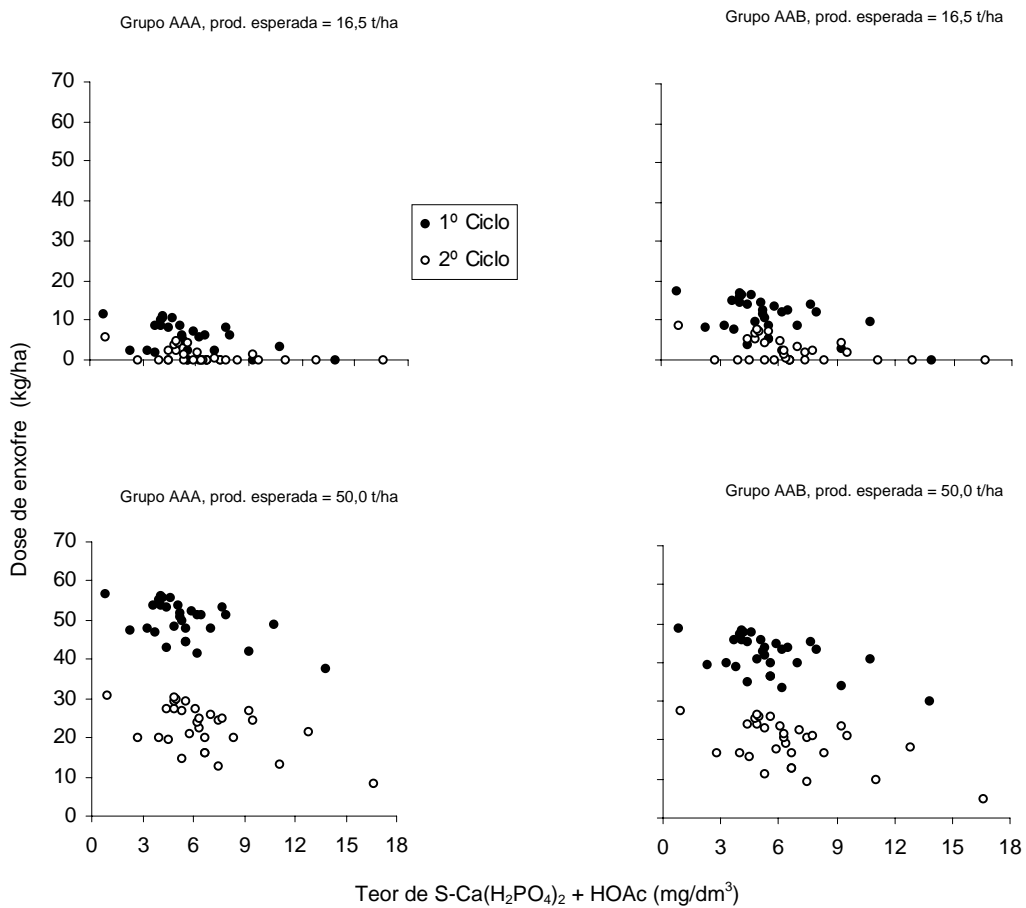


Figura 14 – Doses de enxofre recomendadas pelo FERTICALC-Bananeira® em função do teor desse nutriente no solo, para bananeiras dos grupos AAA e AAB, e para duas produtividades esperadas.

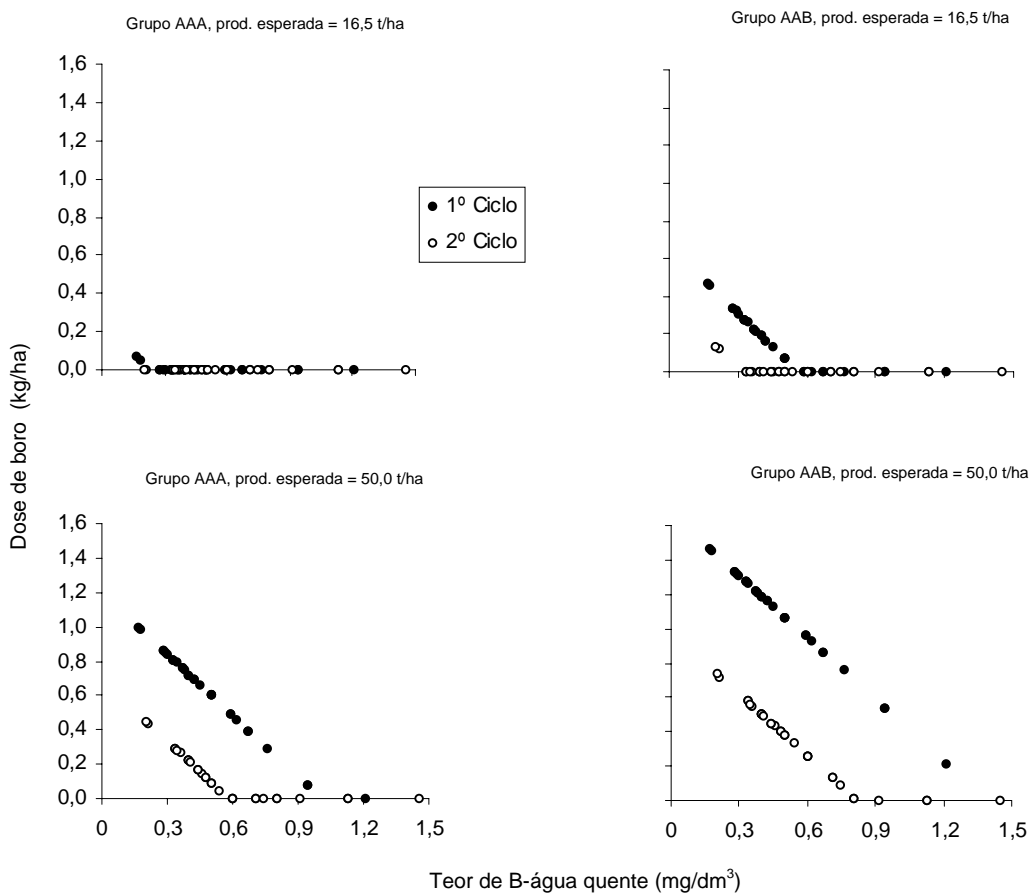


Figura 15 – Doses de boro recomendadas pelo FERTICALC-Bananeira® em função do teor desse nutriente no solo, para bananeiras dos grupos AAA e AAB, e para duas produtividades esperadas.

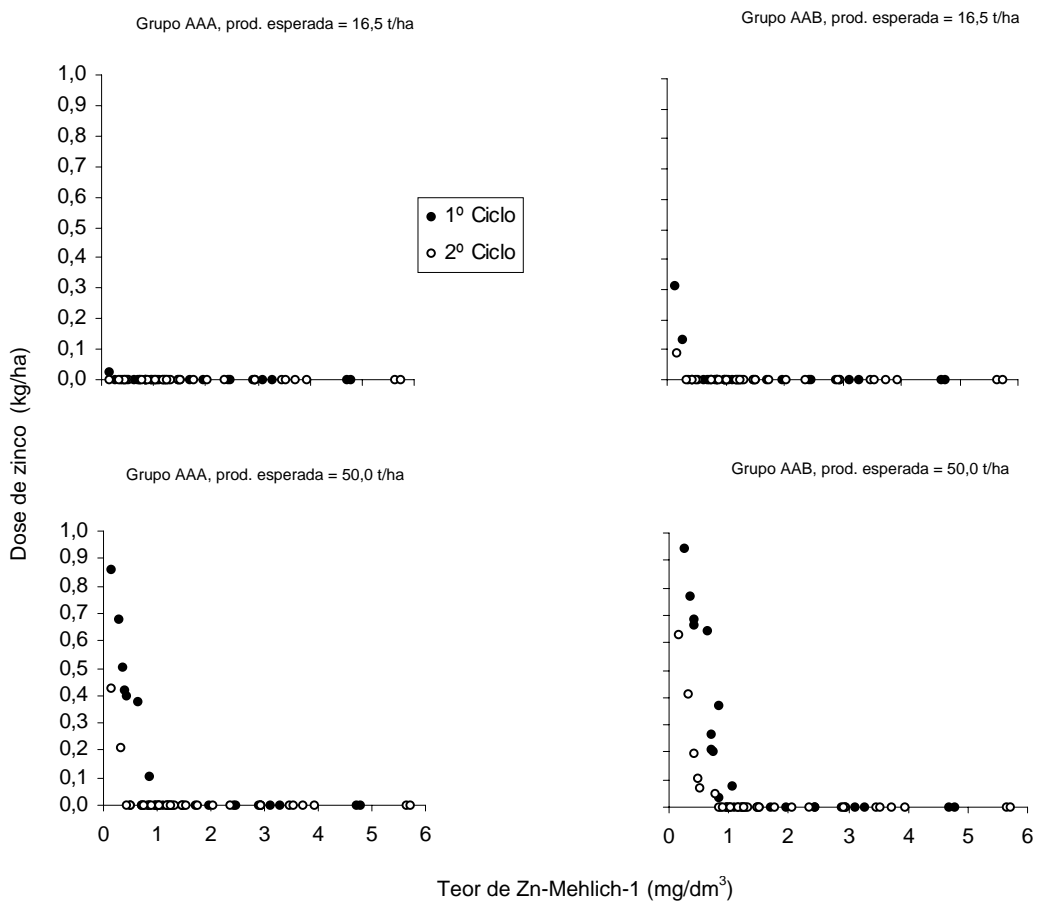


Figura 16 – Doses de zinco recomendadas pelo FERTICALC-Bananeira® em função do teor desse nutriente no solo, para bananeiras dos grupos AAA e AAB, e para duas produtividades esperadas.

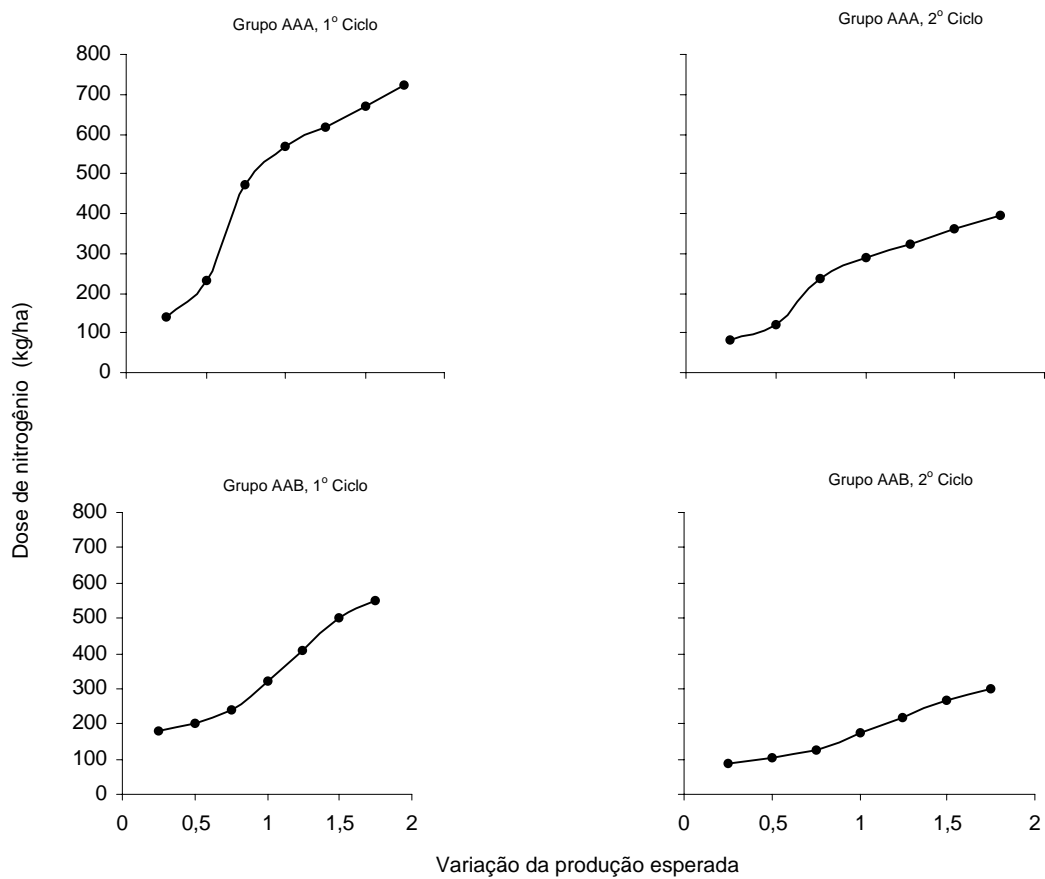


Figura 17 – Análise de sensibilidade para a variação da dose de nitrogênio recomendada pelo FERTICALC-Bananeira®, em função da variação da produtividade esperada (●) (1 = 40 t/ha para o grupo AAA e 25 t/ha para o grupo AAB).

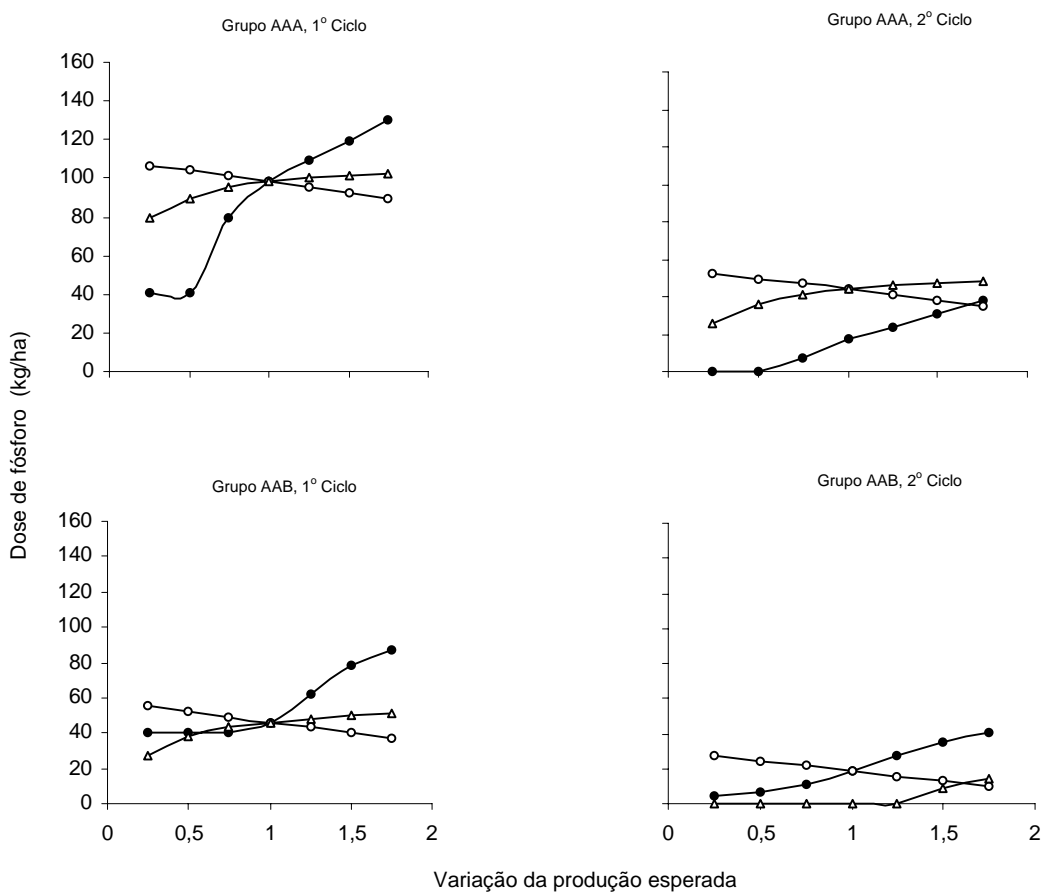


Figura 18 – Análise de sensibilidade para a variação da dose de fósforo recomendada pelo FERTICALC-Bananeira®, em função da variação da produtividade esperada (●), do teor de P-Mehlich-1 (○) e do fósforo remanescente (△) (Produtividade esperada: 1 = 40 t/ha para o grupo AAA e 25 t/ha para o grupo AAB, teor de P-Mehlich-1: 1 = 8,0 mg/dm<sup>3</sup>, Prem: 1 = 25 mg/L).

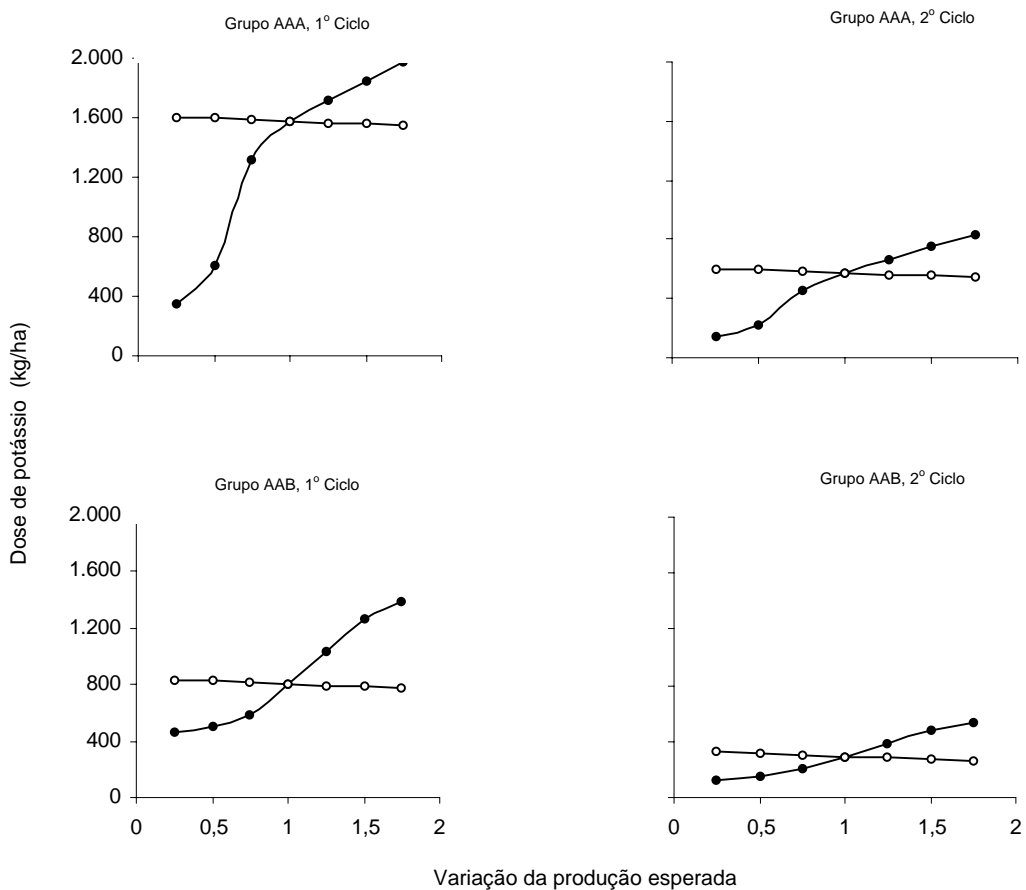


Figura 19 – Análise de sensibilidade para a variação da dose de potássio recomendada pelo FERTICALC-Bananeira®, em função da variação da produtividade esperada (●) e do teor de K-Mehlich-1 (°) (Produtividade esperada: 1 = 40 t/ha para o grupo AAA e 25 t/ha para o grupo AAB, Teor de K-Mehlich-1: 1 = 60 mg/dm<sup>3</sup>).

quantidades, a exemplo do B e do Zn (Figuras 21 e 22). Quanto ao efeito do Prem, este tem maior influencia nas estimativas das doses de S, que nas de P e Zn (Figuras 18, 20 e 22).

### **3.3. Comparação entre recomendações geradas pelo FERTICALC-Bananeira® e outros sistemas**

Nessa comparação, foram consideradas as recomendações de adubação para N, P e K, geradas pelo FERTICALC-Bananeira® e as recomendadas por Teixeira et al. (1996) (Boletim 100), Souza et al. (1999) (5ª aproximação) e Gonzaga Neto et al. (1998) (IPA), para os trinta solos (Quadro 11). As recomendações do Boletim 100 não consideram, diretamente, as diferenças entre ciclos de produção e entre grupos genômicos, mas, indiretamente (embora não muito satisfatoriamente), quando considera a produtividade esperada. A 5ª aproximação considera as diferenças entre os ciclos, mas recomenda adubação somente para a cultivar Prata Anã e para uma produtividade esperada muito baixa (10 t/ha). O IPA considera as diferenças entre grupos genômicos e entre ciclos, mas trabalha com produtividades médias esperadas baixas (30 t/ha para a cultivar Pacovan e 60 t/ha para as cultivares Nanica e Nanicão).

Os resultados das comparações entre os métodos são apresentados nas figuras 23 (FERTICALC-Bananeira® vs 5ª aproximação), 24 e 27 (FERTICALC-Bananeira® vs Boletim 100) e figuras 25 e 26 (FERTICALC-Bananeira® vs IPA). Enquanto o Boletim 100 não faz distinção clara entre os ciclos de produção, o FERTICALC-Bananeira® e a 5ª aproximação recomendam mais N, P e K no primeiro ciclo, que no segundo (Figura 23). No caso do IPA, apenas para P, as doses recomendadas no primeiro ciclo são maiores que as do segundo, mas, no segundo ciclo, estas não dependem do teor de P no solo (Figuras 25 e 26). Menores doses de N e K no primeiro ciclo, em relação ao segundo, recomendadas pelo IPA, podem ser apontadas como um exemplo da falta de coerência em algumas tabelas de recomendação de adubação em uso no país.

Com relação às doses recomendadas de N, as diferenças entre o FERTICALC-Bananeira® e o IPA são maiores no segundo ciclo para a cultivar Pacovan (Figura 25) e no primeiro ciclo para as cultivares Nanica e Nanicão

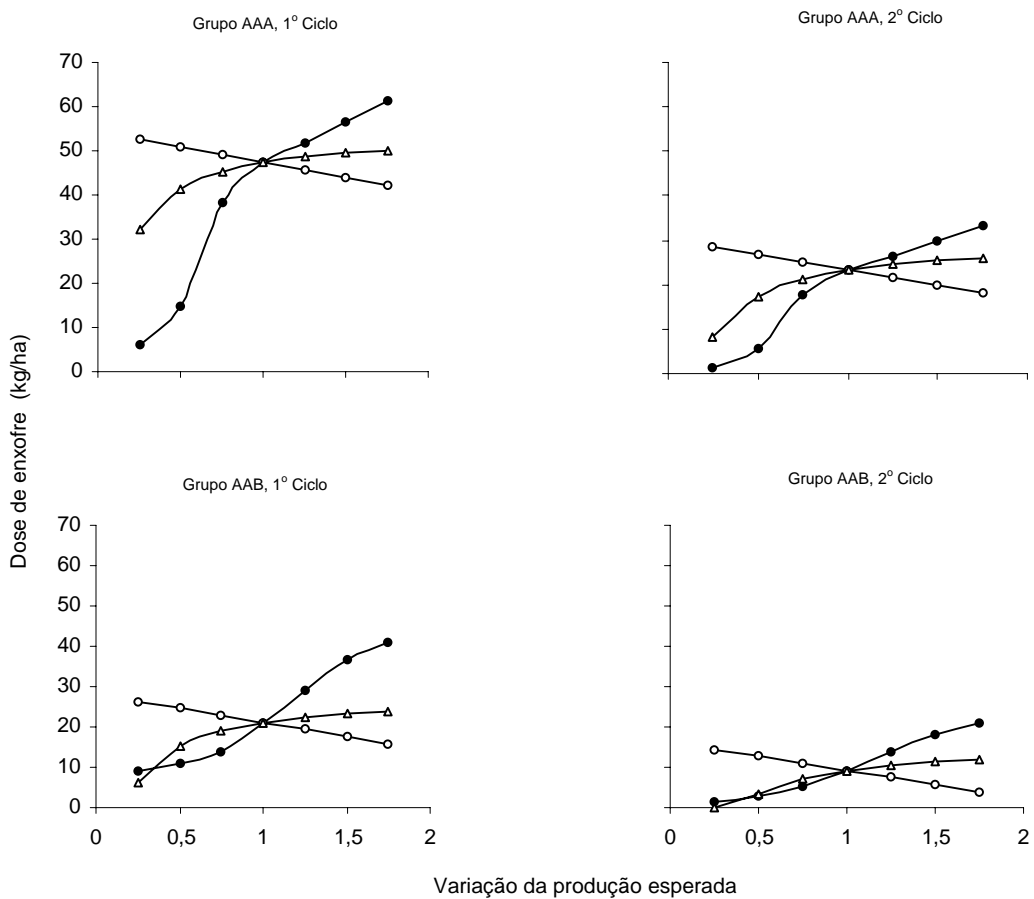


Figura 20 – Análise de sensibilidade para a variação da dose de enxofre recomendada pelo FERTICALC-Bananeira®, em função da variação da produtividade esperada (●), do teor de  $S-Ca(H_2PO_4)_2 + HOAc$  (°) e do fósforo remanescente ( $\Delta$ ) (Produtividade esperada: 1 = 40 t/ha para o grupo AAA e 25 t/ha para o grupo AAB, teor de K no solo: 1 = 60 mg/dm<sup>3</sup>, Prem: 1 = 25 mg/L).

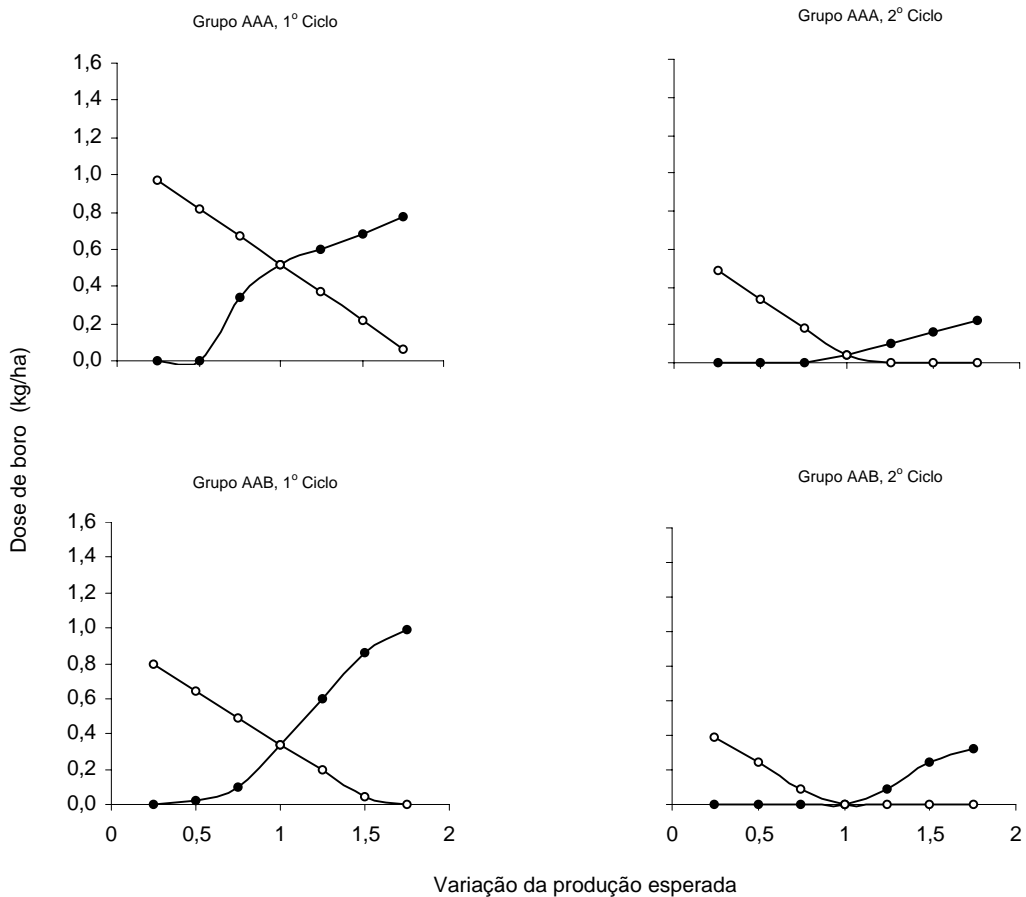


Figura 21 – Análise de sensibilidade para a variação da dose de boro recomendada pelo FERTICALC-Bananeira®, em função da variação da produtividade esperada (●) e do teor de K-Mehlich-1 (°) (Produtividade esperada: 1 = 40 t/ha para o grupo AAA e 25 t/ha para o grupo AAB, teor de B-água quente: 1 = 0,50 mg/dm<sup>3</sup>).

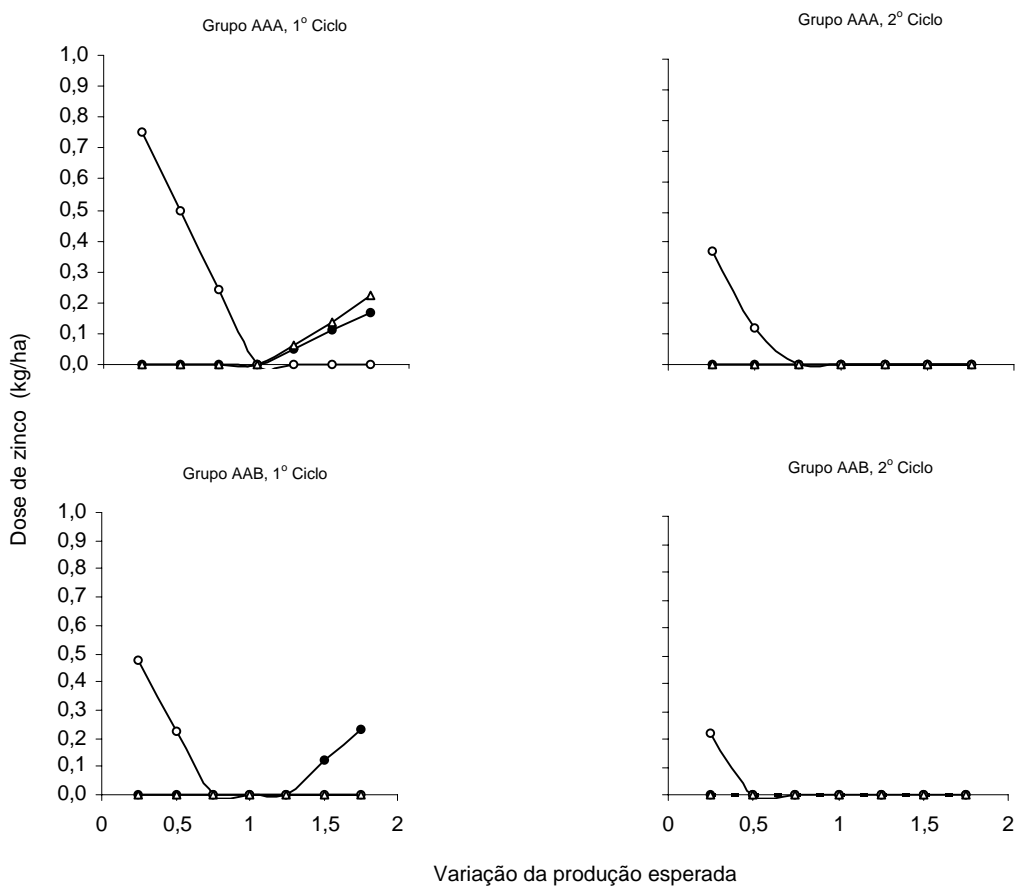


Figura 22 – Análise de sensibilidade para a variação da dose de zinco recomendada pelo FERTICALC-Bananeira®, em função da variação da produtividade esperada (●), do teor de Zn-Mehlich-1 (○) e do fósforo remanescente (△) (Produtividade esperada: 1 = 40 t/ha para o grupo AAA e 25 t/ha para o grupo AAB, teor de Zn no solo: 1 = 0,70 mg/dm<sup>3</sup>).

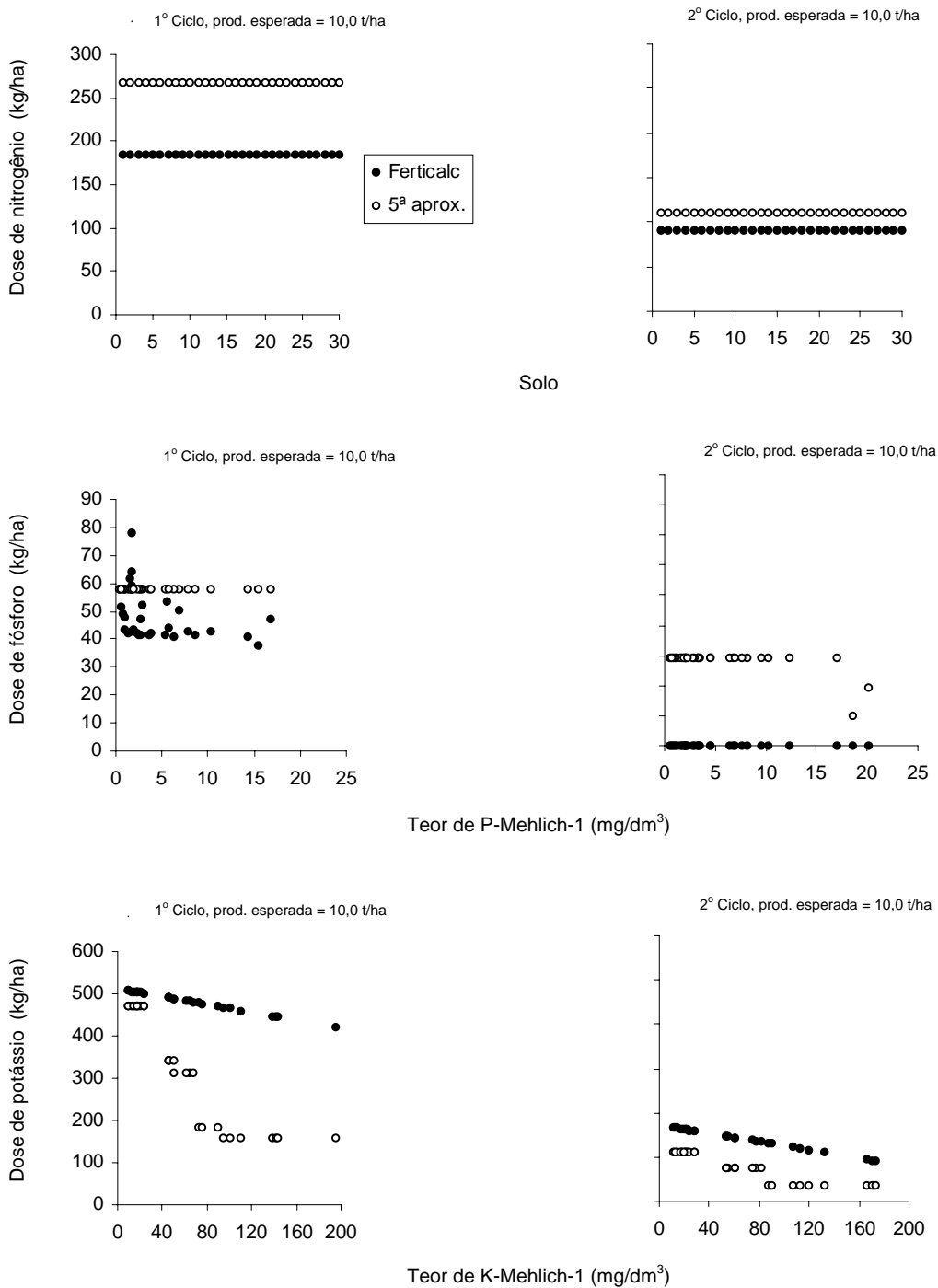


Figura 23 – Doses de nitrogênio, fósforo e potássio recomendadas pelo FERTICALC-Bananeira® e pela 5ª aproximação, em função dos teores desses nutrientes no solo, para a cultivar Prata Anã (Grupo AAB) no primeiro e segundo ciclos, considerando uma produtividade esperada de 10,0 t/ha. (Para nitrogênio, considerou-se o solo como variável independente, por ainda não se dispor de análise de solo para esse nutriente).

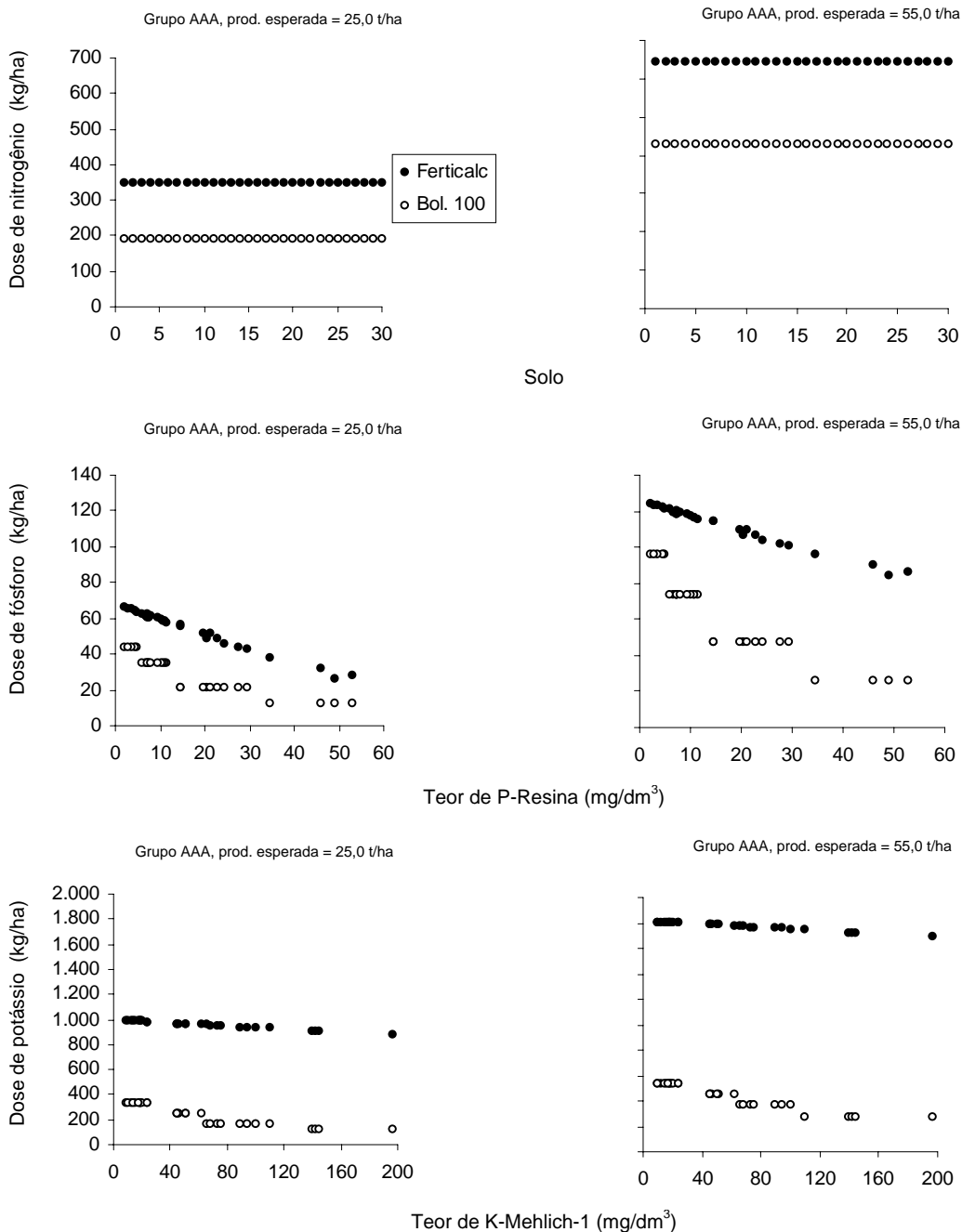


Figura 24 – Doses de nitrogênio, fósforo e potássio recomendadas pelo FERTICALC-Bananeira® e pelo Boletim 100 (Bol. 100), em função dos teores desses nutrientes no solo, para bananeiras do grupo AAA no primeiro ciclo (Para nitrogênio, considerou-se o solo como variável independente, por ainda não se dispor de análise de solo para esse nutriente).

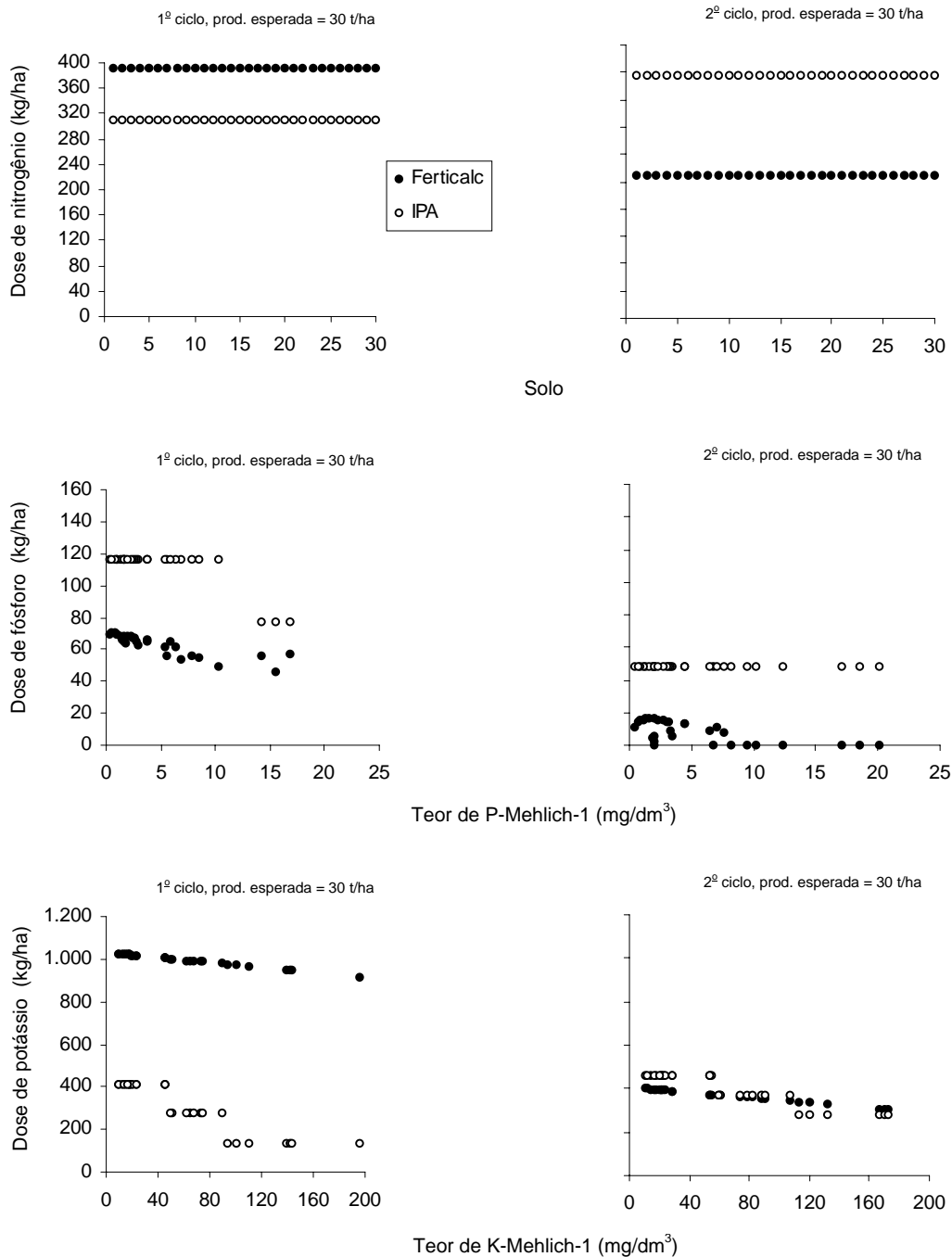


Figura 25 – Doses de nitrogênio, fósforo e potássio recomendadas pelo FERTICALC-Bananeira® e pelo IPA, em função dos teores desses nutrientes no solo, para a cultivar Pacovan (Grupo AAB) no primeiro e segundo ciclos, considerando uma produtividade esperada de 30 t/ha (Para nitrogênio, considerou-se o solo como variável independente, por ainda não se dispor de análise de solo para esse nutriente).

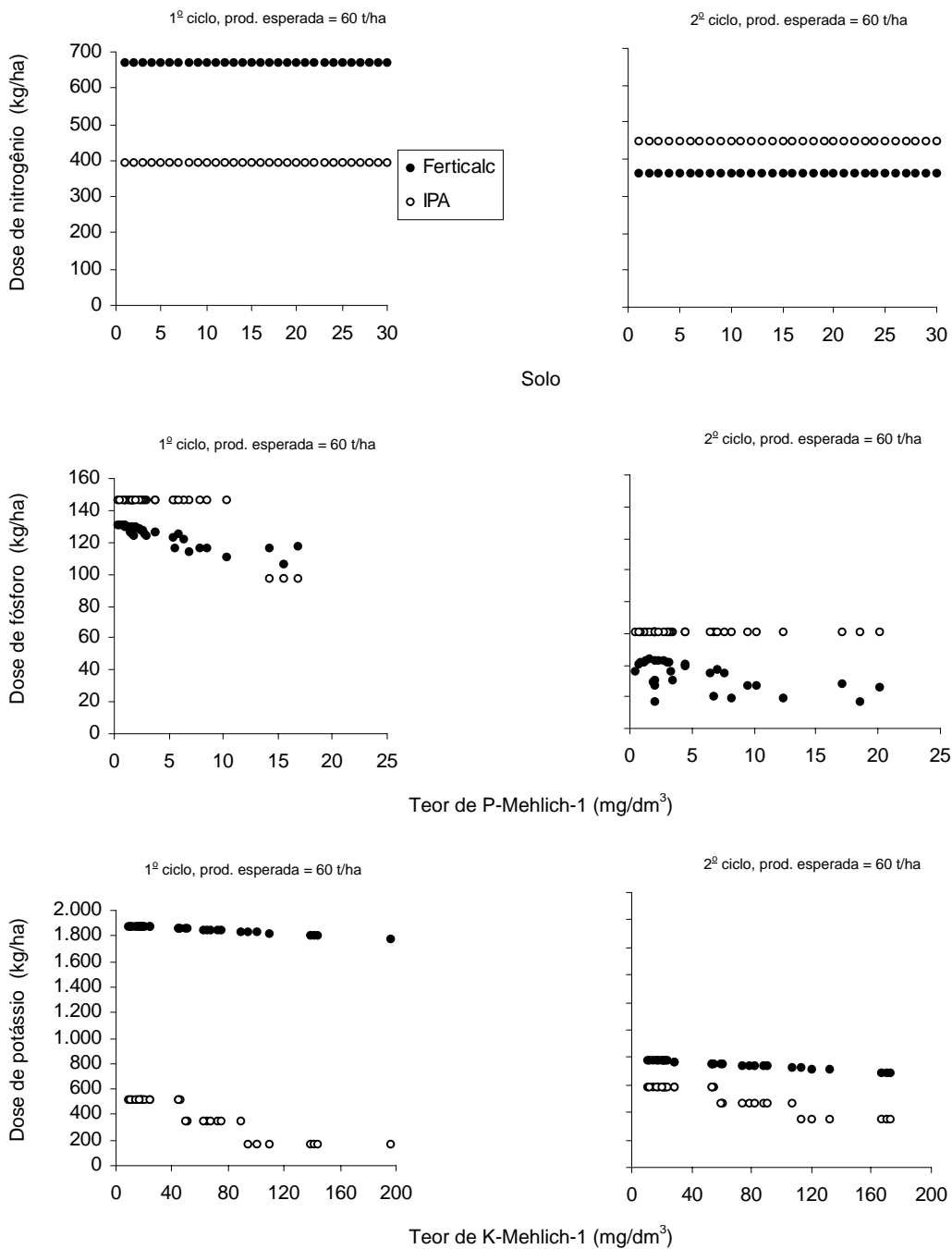


Figura 26 – Doses de nitrogênio, fósforo e potássio recomendadas pelo FERTICALC-Bananeira® e pelo IPA, em função dos teores desses nutrientes no solo, para as cultivares Nanica e Nanicão (Grupo AAA) no primeiro e segundo ciclos, considerando uma produtividade esperada de 60 t/ha (Para nitrogênio, considerou-se o solo como variável independente, por ainda não se dispor de análise de solo para esse nutriente).

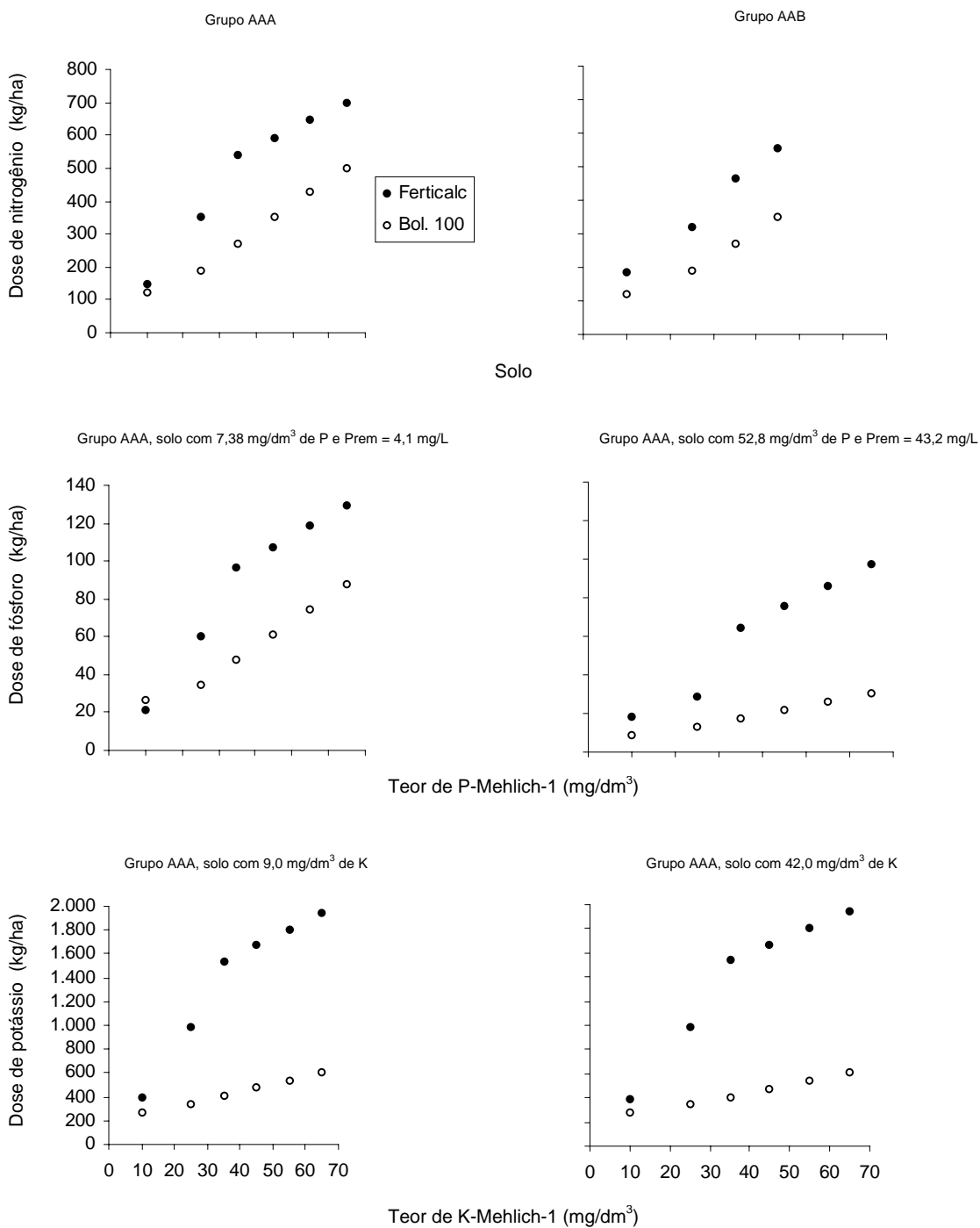


Figura 27 – Doses de nitrogênio, fósforo e potássio recomendadas pelo FERTICALC-Bananeira® e pelo Boletim 100 (Bol. 100), em função da produtividade esperada, para bananeiras do grupo AAA no primeiro ciclo (Para nitrogênio, também se apresentam comparações para o grupo AAB).

(Figura 26); entre o FERTICALC-Bananeira® e a 5ª aproximação, elas são maiores no primeiro ciclo (Figura 23). Considerando as doses recomendadas de P e K, as diferenças entre o FERTICALC-Bananeira® e os demais sistemas, em alguns casos, são maiores quanto maiores forem os teores desses nutrientes no solo, mas noutros casos isso não acontece (Figuras 23 a 26).

Comparando o FERTICALC-Bananeira® com a 5ª aproximação, o primeiro recomenda menos N e P, mas recomenda mais K (Figura 23). As menores doses de N e P recomendadas pelo FERTICALC-Bananeira®, em relação à 5ª aproximação, são explicadas pela baixa produtividade esperada considerado nos cálculos (10 t/ha). Este valor está muito próximo do limite inferior de extrapolação (9,4 t/ha) dos modelos ajustados para o FERTICALC-Bananeira® (Quadro 2). Em relação ao Boletim 100, o FERTICALC-Bananeira® recomenda maiores doses de N, P e K, principalmente quando a produtividade esperada é elevada (Figuras 24 e 27). Com relação às recomendações do IPA, o FERTICALC-Bananeira® recomenda maiores doses de N no primeiro ciclo e menores no segundo (Figuras 25 e 26). Para P, o FERTICALC-Bananeira® recomenda doses de P menores que as recomendadas pelo IPA, independente da cultivar (Figuras 25 e 26). No caso do K, as doses recomendadas pelo FERTICALC-Bananeira® são maiores que as do IPA, no primeiro ciclo, mas no segundo ciclo os dois sistemas recomendam doses semelhantes (Figuras 25 e 26). As doses recomendadas de N por qualquer um dos métodos comparados não levam em consideração a análise de solo. Para P e K, as doses recomendadas pelo FERTICALC-Bananeira® diminuem de forma contínua com o aumento dos teores desses nutrientes no solo, enquanto nos demais métodos essa variação não existe em uma ampla faixa de teores desses nutrientes no solo, ou, quando varia, ela não é contínua (Figuras 23 a 26). Dos três métodos comparados com o FERTICALC-Bananeira®, apenas o Boletim 100 leva em consideração a produtividade esperada. Para N, P e K, o FERTICALC-Bananeira® recomenda maiores doses que o Boletim 100, principalmente para P e K e para produtividades elevadas (Figura 27).

#### 4. RESUMO E CONCLUSÕES

Baixas produtividades de bananeiras muitas vezes são associadas ao suprimento inadequado de nutrientes para a planta, considerando que esta cultura é muito exigente em nutrientes, principalmente quando se desejam produtividades elevadas. As recomendações de calagem e adubação para a bananeira, praticadas no país são baseadas em tabelas com elevado grau de empirismo e que normalmente recomendam doses baixas de nutrientes, objetivando atingir uma produtividade que também é baixa. Por serem baseadas principalmente em resultados experimentais, as recomendações dessas tabelas nem sempre são extrapoláveis para regiões diferentes daquelas para as quais foram concebidas. Assim, é necessário desenvolver um sistema de recomendação de calagem e adubação que permita sua utilização mais ampla e evolução mais segura, sem barreiras geográficas.

Com este trabalho, objetivou-se desenvolver um sistema de recomendação de calagem e adubação para a cultura da bananeira, mediante o uso de modelos que combinam mecanicidade e empirismo, embasados no conhecimento atual sobre solos e a nutrição dessa cultura, tendo em vista uma produtividade esperada. Como conseqüência do desenvolvimento desse sistema, procurou-se identificar lacunas do conhecimento atual sobre o tema e sugerir caminhos para futuras pesquisas.

A modelagem do Sistema de Recomendação de Calagem e Adubação para a cultura da bananeira (FERTICALC-Bananeira®) baseou-se no balanço nutricional, considerando o requerimento de nutrientes para a cultura atingir uma

produtividade esperada e a capacidade de suprimento desses nutrientes pelo solo. O requerimento de nutrientes depende da demanda nutricional e da sustentabilidade, enquanto o suprimento é proveniente do solo e dos resíduos vegetais. A demanda nutricional é expressa como a dose do nutriente necessária para a planta produzir as biomassas exportadas e restituídas ao solo, considerando uma produtividade esperada. A demanda de sustentabilidade baseia-se na reposição, a cada ciclo de cultivo, de uma parte dos nutrientes que serão exportados em um futuro ciclo de produção. O suprimento de nutrientes do solo é estimado a partir dos resultados da análise química de solo e da quantidade de resíduos da cultura anterior.

As simulações mostraram que o FERTICALC-Bananeira® recomenda maior quantidade de nutrientes no primeiro ciclo, que no segundo e maior para bananeiras do grupo AAA que para bananeiras do grupo AAB. As recomendações geradas por esse sistema dependeram principalmente da produtividade esperada e do teor do nutriente no solo. Para os nutrientes sensíveis à capacidade tampão do solo (P, S e Zn) também é considerado o fósforo remanescente. Comparando as recomendações do FERTICALC-Bananeira® com as das tabelas em uso no país, perceberam-se falhas das mesmas, principalmente porque estas, geralmente, não consideram a produtividade esperada e porque suas recomendações não diminuem de forma contínua com o aumento do teor do nutriente no solo. Ao contrário do FERTICALC-Bananeira®, as tabelas parecem não considerar que a demanda nutricional no primeiro ciclo depende não somente do acúmulo de nutrientes na planta-mãe, mas do acúmulo de nutrientes na família; e que, a partir do segundo ciclo, a família continua demandando nutrientes para produção e crescimento vegetativo.

Com este trabalho, concluiu-se que o FERTICALC-Bananeira® estima as doses recomendadas dos nutrientes de forma coerente, tendo melhor fundamentação conceitual que as tabelas. A modelagem do FERTICALC-Bananeira® permitiu revelar lacunas no conhecimento atual sobre o tema e indicar caminhos para futuras pesquisas.

## 5. LITERATURA CITADA

- ALVAREZ V., V.H. & RIBEIRO, A.C. Calagem. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H. eds. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. Viçosa, CFSEMG, 1999. p.43-60.
- ALVAREZ V., V.H. Correlação e calibração de métodos de análise de solos. In: ALVAREZ V., V.H., FONTES, L.E.F. & FONTES, M.P.F. O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, SBCS/UFV/DPS, 1996. p.615-646.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E. & OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. Bol. Inf. Soc. Bras. Ci. Solo, 25(1):27-32, 2000.
- ALVES, E.J. & OLIVEIRA, M.A. Práticas culturais. In: ALVES, E.J. ed. A cultura da banana: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais. Brasília, EMBRAPA-SPI/CNPMF, p.335-351, 1999.
- ARAYA, M. & BLANCO, F. Changes in the stratification and spatial distribution of the banana (*Musa* AAA cv. Grand naine) root system of poor, regular, and good developed plants. J. Plant Nutrit., 24:1676-1693, 2001.
- ARAYA, M.; VARGAS, A. & CHEVES, A. Changes in distribution of roots of banana (*Musa* AAA cv. Valery) with plant height, distance from the pseudostem and soil depth. J. Hortic. Sci. Biotech., 73:437-440, 1998.
- AVILÁN R., L.; MENESES R., L. & SUCRE, R.E. Distribución radical del banano bajo diferentes sistemas de manejo de suelos. Fruits, 37:103-110, 1982.

- BALIGAR, V.C. & FAGERIA, N.K. Nutrient use efficiency in acid soils: nutrient management and plant use efficiency. In: MONIZ, A.C.; FURLANI, A.M.C.; SCHAFFERT, R.E.; FAGERIA, N.K.; ROSOLEM, C.A. & CANTARELLA, H. eds. Plant-soil interactions at low pH: sustainable agriculture and forestry production. Campinas/Viçosa, Brazilian Soil Science Society, 1997. p.75-95.
- BARROS, N.F. & NOVAIS, R.F. NUTRICALC 2001 – Balanço nutricional e recomendação de fertilizantes. 2002.
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; CARMO, D.N. & NEVES, J.C.L. Classificação nutricional de sítios florestais – descrição de uma metodologia. Rev. Árvore, 10:112-120, 1986.
- 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.
- BOOTE, K.J.; JONES, J.W. & PICKERING, N.B. Potential uses and limitations of crop models. Agron. J., 88:704-716, 1996.
- BORGES, A.L. & SILVA, S.O. Extração de macronutrientes por cultivares de banana. Rev. Bras. Frutic., 17:57-66, 1995.
- BORGES, A.L. & SILVA, T.O. Absorção, exportação e restituição ao solo de nutrientes pela bananeira 'Terra'. Cruz das Almas, Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2000. 3p. (Comunicado Técnico, 66)
- BORGES, A.L.; OLIVEIRA, A.M.G & SOUZA, L.S. Solos, nutrição e adubação. In: ALVES, E.J. ed. A cultura da banana: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais. Brasília, EMBRAPA-SPI/CNPMF, p.197-260, 1999.
- CARVALHO, F. T. Sistema de interpretação de análise de solo para recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura do milho. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2000. 93p. (Tese de Mestrado)
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Passo Fundo, SBCS-Núcleo Regional Sul, 1995. 224p.
- COMISSÃO ESTADUAL DE FERTILIDADE DO SOLO. Manual de adubação e calagem para o estado da Bahia. Salvador, CEPLAC/EMATERBA/EMBRAPA/EPABA/NITROFÉRTIL, 1989. 173p.

- CORDEIRO, Z.J.M. Interrelações entre mal-do-panamá e características químicas e físicas do solo. *Rev. Bras. Frutic.*, 10:89-97, 1988.
- DANTAS, J.L.L.; SHEPHERD, K. SILVA, S.O. & SOARES FILHO, W.S. Classificação botânica, origem, evolução e distribuição geográfica. In: ALVES, E.J. (ed.) *A cultura da banana: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais*. Brasília, EMBRAPA-SPI/CNPMF, p.27-34, 1999.
- DELVAUX, B. Soils. In: GOWEN, S. ed. *Bananas and plantains*. London, Chapman & Hall, 1995. p.230-257.
- DOURADO NETO, D. TERUEL, D.A.; REICHARDT, K.; NIELSEN, D.R.; FRIZZONE, J.A. & BACCHI, O.O.S. Principles of crop modeling and simulation: I. Uses of mathematical models in agricultural science. *Sci. Agric.*, 55:46-50, 1998a.
- DOURADO NETO, D. TERUEL, D.A.; REICHARDT, K.; NIELSEN, D.R.; FRIZZONE, J.A. & BACCHI, O.O.S. Principles of crop modeling and simulation: II. The implications of the objective in model development. *Sci. Agric.*, 55:51-57, 1998b.
- DUXBURY, J.M., SMITH, M.S. & DORAN, J.W. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. In: COLEMAN, S.C., OADES, J.M. & UEHARA G. eds. *Dynamics of soil organic matter in tropical exosystems*. Niftal project, Honolulu, 1989. p. 33-67.
- FAGERIA, N.K. *Maximizing crop yields*. New York, Marcel Dekker, 1992. 274p.
- FARIA, N.G. *Absorção de nutrientes por variedades e híbridos promissores de bananeira*. Cruz das Almas, Universidade Federal da Bahia, 1997. 66p. (Tese de Mestrado)
- FERREIRA, G.B.; FONTES, R.L.F.; FONTES, M.P.F. & ALVAREZ V., V.H. Influência de algumas características do solo nos teores de boro disponível. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:91-101, 2001.
- FLORES S., C.L. & VARGAS V., R. Liberación de nutrimentos por los residuos vegetales en suelos bajo cultivo de banano en la Zona Atlántica de Costa Rica. In: CONTRERAS, M.A., GUZMÁN, J.A. & CARRASCO, L.R. Eds. *Reunión de la Asociación para la Cooperación en Investigación de banano en el Caribe y en América Tropical – ACORBAT, 10, 1991, Tabasco, Memorias...*, San José, CORBANA, 1994. p.59-64.
- FREIRE, F.J. *Sistema para cálculo do balanço nutricional e recomendação de corretivos e fertilizantes para cana-de-açúcar*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 144p. (Tese de Doutorado)

- GALLO, J.R.; BATAGLIA, O.C.; FURLANI, P.R.; HIROCE, R.; FURLANI, A.M.C.; RAMOS, M.T.B. & MOREIRA, R.S. Composição química inorgânica da bananeira (*Musa acuminata* Simmonds, cultivar Nanicão). Ciência e Cultura, 24:70-79, 1972.
- GARCIA, R.V. Sistema radicular de bananeira irrigada por aspersão convencional e microaspersão no Projeto Jaíba, MG. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2000. 47p. (Tese de Mestrado)
- GEYPENS, M. & VANDENDRIESSCHE, H. Advisory systems for nitrogen fertilizer recommendations. Plant Soil, 181:31-38, 1996.
- GONZADA NETO, L.; PEREIRA, J.R. & SILVA, D.J. Banana (Irigada). In: CAVALCANTI, F.J.A., coord. Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2ª aproximação. Recife, IPA, 1998. p. 115.
- KESHAVA MURTHY, S.V. & IYENGAR, B.R.V. Root distribution and morphology in some banana (*Musa x paradisiaca*) varieties. Ind. J. Agric. Sci., 67:495-499, 1997.
- LAHAV, E. & TURNER, D.W. Banana nutrition. Berne, International Potash Intitute, 1983. 62p. (IPI – Bulletin, 7)
- LAHAV, E. Banana nutrition. In: GOWEN, S. ed. Bananas and plantains. London, Chapman & Hall, 1995. p.258-316.
- LICHTEMBERG, L.A. & MALBURG, J.L. Ocorrência do azul da bananeira no sul do Brasil – comunicação técnica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 7, Florianópolis, 1983. Anais. Florianópolis, SBF/EMPASC, 1984. p.276-282.
- LICHTEMBERG, L.A.; HINS, R.H.; MALBURG, J.L. & STUKER, H. Crescimento e duração dos cinco primeiros ciclos da bananeira nanicão sob três densidades de plantio. Rev. Bras. Frutic., 19:15-23, 1997.
- LÓPEZ M., A. & ESPINOSA M., J. Manual de nutrición y fertilización del banano. Quito, CORBANA/Instituto de la Potassa y el Fósforo, 1995. 82p.
- LUNA, P.; ISRAEL, D.W.; SMYTH, T.J. & OSMOND, D.L. Collection and evaluation of literature on crop response to N application: the case of corn in south america. Raleigh, North Carolina State University, 1999. 13p. (Nitrogen decision support system - NDSS, IntDSS Project, Soil Management CRSP)

- MALBURG, J.L.; LICHTENBERG, L.A.; ANJOS, J.T. & UBERTI, A.A.A. Levantamento do estado nutricional de bananais catarinenses. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 7, Florianópolis, 1983. Anais... Florianópolis, SBF/EMPASC, 1984. p.256-275.
- MARCHAL, J. & MALLESSARD, R. Comparaison des immobilisations minérales de quatre cultivars de bananiers à fruits pour cuisson et de deux 'Cavendish'. *Fruits*, 34:373-392, 1979.
- MARTIN-PRÉVEL, P. Exigências nutricionais da bananicultura. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE BANANICULTURA, 1, 1984, Jaboticabal, Anais... Jaboticabal, UNESP-FCAV, 1985. p.118-134.
- MARTIN-PRÉVEL, P.; LACOEUILHE, J.-J. & MARCHAL, J. Les éléments minéraux dans le bananier 'Gros Michel' au Cameroun. *Fruits*, 23:259-269, 1968.
- MELLO, M.S. Sistema de interpretação de análise de solo e de recomendação de calagem e fertilizante para a cultura de tomate. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2000. 91p. (Tese de Mestrado)
- MONTEITH, J.L. The quest for balance in crop modeling. *Agron. J.*, 88:695-697, 1996.
- MORAIS, E.R.C. Formas de potássio em solos do Estado de Minas Gerais e sua disponibilidade para plantas de milho. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 85p. (Tese de Mestrado)
- MUNIZ, A.S.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F. & NEVES, J.C.L. Nível crítico de fósforo na parte aérea da soja como variável do fator capacidade de fósforo do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 9:237-243, 1985.
- MUNIZ, A.S.; NOVAIS, R.F.; FREIRE, F.M.; NEVES, J.C.L. & BARROS, N.F. Disponibilidade de fósforo e recomendação de adubação avaliadas por meio de extratores químicos e do crescimento de soja em amostras de solo com diferentes valores do fator capacidade. *R. Ceres*, 34:125-151, 1987.
- NEVES, R.L.L.; FERREYRA, F.F.H.; MACIEL, R.F.P. & FROTA, J.N.E. Extração de nutrientes em banana (*Musa sp.*) cv. Pacovan. *Ciê. Agron.*, 22:115-120, 1991.
- NOVAIS, R.F. & ALVAREZ V., V.H. Sistemas de interpretação de análise de solo e recomendação de fertilizantes: muito simples ou muito complexo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24, REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE

- MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6, REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 3, 2000, Santa Maria, Anais... Santa Maria, SBCS/UFSM, 2000. (CD ROM)
- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.
- NOVAIS, R.F.; PREZOTTI, L.C.; ALVAREZ V., V.H.; CANTARUTTI, R.B. & BARROS, N.F. FERTICALC – Sistema para recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura do café arábica. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2002. (CD ROM)
- OLIVEIRA, F.H.T.; NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. & NEVES, J.C.L. Comparisons of phosphorus availability between anion exchange resin and Mehlich-1 extractions among Oxisols with different capacity factors. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.*, 31:615-630, 2000.
- OLSON, R.A. & KURTZ, L.T. Crop nitrogen requirements, utilization, and fertilization. In: STEVENSON, F.J. (Ed.) *Nitrogen in agricultural soils*. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1982. p.567-604.
- OSMOND, D. L. & RIHA, S. J. Nitrogen fertilizer requirements for maize produced in the tropics: a comparison of three computer-based recommendation systems. *Agricultural Systems*. 50:37-50. 1996.
- OSMOND, D.L.; SMYTH, T.J.; YOST, R.S.; REID, W.S.; BRANCH, W. & WANG, X. Nutrient management support system (NuMaSS), Version 1.5: software installation and user's guide. Soil Management Collaborative Research Support System. Raleigh, NC, North Carolina State University, 2000. 24p. (Technical Bulletin, No. 2000-02)
- PASSIOURA, J.B. Simulation models: science, snake oil, education, or engineering? *Agron. J.*, 88:690-694, 1996.
- PEREIRA, M.C.T.; SALOMÃO, L.C.C; SILVA, S.O; SEDIYAMA, C.S.; COUTO, F.A.D. & SILVA NETO, S.P. Crescimento e produção de primeiro ciclo da bananeira 'Prata Anã' (AAB) em sete espaçamentos. *Pesq. Agropec. Bras.*, 35:1377-1387, 2000.
- PEREIRA, M.C.T.; SALOMÃO, L.C.C; SILVA, S.O; SEDIYAMA, C.S.; SILVA NETO, S.P & COUTO, F.A.D. Crescimento e produção de primeiro ciclo da

- bananeira (*Musa spp.*) 'Prata Anã' (AAB) em sete espaçamentos, em Visconde do Rio Branco, MG. Rev. Ceres, 46:53-66, 1999.
- PREZOTTI, L.C. Recomendações de calagem e adubação para o estado do Espírito Santo (3ª Aproximação). Vitória, EMCAPA, 1992. 73p. (Circular Técnica, 12)
- PREZOTTI, L.C. Sistema para recomendação de corretivos e de fertilizantes para a cultura do café arábica. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 93p. (Tese de Doutorado)
- QUAGGIO, J.A. & RAIJ, B. van. Correção da acidez do solo. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 1996. p.14-19. (Boletim técnico, 100)
- RAFFAELI, V. Sistema de interpretação de análise de solo e de recomendação de nutrientes para arroz irrigado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2000. 76p. (Tese de Mestrado)
- RAO, P.S.C.; JESSUP, R.E. & HORNSBY, A.G. Simulation of nitrogen in agroecosystems: criteria for model selection and use. Plant Soil, 67:35-43, 1982.
- ROSA, G.N.G.P. Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura do coqueiro. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2002. 73p. (Tese de Mestrado)
- SANTOS, F.C. Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2002. 64p. (Tese de Mestrado)
- SILVA JÚNIOR, J.F.; CORDEIRO, Z.J.M. & OLIVEIRA, A.M.G. Parâmetros químicos del suelo relacionados con la incidencia y severidad del mal de Panamá. Infomusa, 9:13-16, 2000.
- SOTO BALLESTERO, M. Bananos: cultivo y comercialización. San José, Imprenta LIL., 1992. 674p.
- SOUTO, R.F.; RODRIGUES, M.G.V.; RUGGIERO, C. & MENEGUCCI, J.L.P. Novas perspectivas em sistemas de implantação, condução e práticas de manejo da bananeira. Informe Agropecuário, 20:10-15, 1999.

- SOUZA, M.; GUIMARÃES, P.T.G.; CARVALHO, J.G. & FRAGOAS, J.C. Banana prata anã. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H. eds. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. Viçosa, CFSEMG, 1999. p.217-218.
- SOUZA, R.B. Níveis críticos de enxofre em solos e em folhas de cultivares de café. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 88p. (Tese de Doutorado)
- STANFORD, G. Rationale for optimum nitrogen fertilization in corn production. J. Environ. Quality, 2:159-166, 1973.
- TEIXEIRA, L.A.J.; SPIRONELLO, A.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, P.R. Banana. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. eds. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 1996. p.131-132. (Boletim Técnico, 100)
- TOMÉ JÚNIOR, J.B. & NOVAIS, R.F. Utilização de modelos como alternativas às tabelas de recomendação de adubação. Bol. Inf. Soc. Bras. Ci. Solo, 25:8-11, 2000.
- TURNER, D.W. & BARKUS, B. Loss of mineral nutrients from banana pseudostems after harvest. Trop. Agric., 50: 229-233, 1973.
- TWYFORD, I.T. & WALMSLEY, D. The mineral composition of the robusta banana plant. I. Methods and plant growth studies. Plant Soil, 39:227-243, 1973.
- TWYFORD, I.T. & WALMSLEY, D. The mineral composition of the robusta banana plant. II. The concentration of mineral constituents. Plant Soil, 41:459-470, 1974a.
- TWYFORD, I.T. & WALMSLEY, D. The mineral composition of the robusta banana plant. III. Uptake and distribution of mineral constituents. Plant Soil, 41:471-491, 1974b.
- VARGAS, R. & FLORES, C.L. Retribución nutricional de los residuos de hojas, venas de hojas, pseudotallo y pinzote de banano (*Musa AAA*) en fincas de diferentes edades de cultivo. Revista Corbana, 20:33-47, 1995.
- VITTI, G.C. & RUGGIERO, C. Aproveitamento do engaço, coração e ráquis, como fonte de nutrientes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE BANANICULTURA, 1, 1984, Jaboticabal, Anais... Jaboticabal, UNESP-FCAV, 1985. p.392-399.

WALMSLEY, D. & TWYFORD, I.T. The mineral composition of the robusta banana plant. V. Sulphur, iron, manganese, boron, zinc, copper, sodium and aluminium. *Plant Soil*, 45:595-611, 1976.