

# Teor de nutrientes e viabilidade da bananicultura em Cambissolos com diferentes profundidades

## Nutrient contents and viability of banana cropping in Cambisols with different depths

Mirian Cristina Gomes Costa<sup>1\*</sup>, Alan Antônio Miotti<sup>2</sup>, Tiago Osório Ferreira<sup>3</sup>, Ricardo Espíndola Romero<sup>1</sup>

1. Universidade Federal do Ceará - Departamento de Ciências do Solo - Fortaleza (CE), Brasil.

2. Universidade Luterana do Brasil - Curso de Graduação em Agronomia - Ji-Paraná (RO), Brasil.

3. Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Departamento de Ciência do Solo - Piracicaba - (SP), Brasil.

**RESUMO:** No nordeste brasileiro, a bananicultura é praticada em locais onde há solos de profundidade variável. A dinâmica da água em solos mais profundos pode alterar minerais herdados diretamente da rocha e aumentar a disponibilidade de nutrientes. Neste estudo, objetivou-se avaliar o teor de nutrientes em Cambissolos raso e profundo, bem como o estado nutricional e a produtividade de bananeiras cultivadas nesses solos. Para a fertilidade do solo, foi utilizado o delineamento em parcelas subdivididas com dois tratamentos nas parcelas principais (solos raso e profundo) e seis tratamentos nas subparcelas (profundidades de coleta: 0 – 10, 10 – 20, 20 – 30, 30 – 40, 40 – 50 e 50 – 60 cm). Para avaliar o estado nutricional e a produtividade da cultura, foram considerados dois fatores de tratamento (solos raso e profundo) e 30 repetições. Foram determinadas as concentrações de macro e micronutrientes no solo e no tecido vegetal, outros atributos químicos do solo para avaliação da fertilidade e a produção de frutos. O solo profundo apresentou maiores valores de fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), acidez potencial (H + Al), matéria orgânica (MO) e porcentagem de sódio trocável (PST). Teores de MO, valores de soma de bases (SB), saturação por bases (V%), Fe e Mn foram maiores na superfície dos solos. O estado nutricional das bananeiras foi favorecido no solo profundo, principalmente quanto às concentrações de nitrogênio (N), P, K, boro (B), Cu e Mn. Isso levou ao maior peso de cachos e à maior produtividade no solo mais profundo.

**Palavras-chave:** fruticultura irrigada, profundidade efetiva do solo, *Musa sp.*

**ABSTRACT:** In the Brazilian Northeastern region, banana cropping occurs in sites where there are soils presenting variable depths. The water dynamics in deeper soils may change minerals directly inherited from rock and increase nutrients availability. In this study, the aim was to evaluate the nutrient contents in shallow and deep Cambisols, as well as the nutritional status and yield of banana plants cropped in these soils. In order to study soil fertility, it was used the split plot design with two treatments in the main plots (shallow and deep soils) and six treatments in the subplots (soil sampling depths: 0 – 10, 10 – 20, 20 – 30, 30 – 40, 40 – 50 and 50 – 60 cm). In order to evaluate the nutritional status and crop yield, two treatment factors were assumed (shallow and deep soils) and 30 replicates. The concentrations of macro and micronutrients in both soil and plant tissue were determined, as well as other chemical attributes of soil for fertility evaluation, and fruit yield. The deep soil presented higher values of phosphorus (P), potassium (K), sodium (Na), copper (Cu), iron (Fe), manganese (Mn), potential acidity (H + Al), organic matter (OM) and exchangeable sodium percentage (PST). Organic matter, sum of bases (SB), bases saturation (V%), Fe, and Mn were higher in the soil surface. The nutritional status of banana plants was favored in the deep soil, mainly regarding contents of nitrogen (N), P, K, boron (B), Cu, and Mn. It resulted in higher weight of bunches and higher yield in the deeper soil.

**Key words:** irrigated fruits production, effective soil depth, *Musa sp.*

\*Autor correspondente: [mirian.costa@ufc.br](mailto:mirian.costa@ufc.br)

Recebido: 9 Ago. 2015 – Aceito: 29 Dez. 2015

## INTRODUÇÃO

A banana (*Musa* sp.) é uma fruta cultivada na maioria das regiões tropicais e subtropicais. O nordeste brasileiro foi a maior região produtora de bananas em 2015, com cerca de 40% do total produzido no país. O Ceará é o segundo maior estado produtor nordestino, com cerca de 9% da produção nacional (IBGE 2015). Dos polos produtivos do Ceará, destaca-se a Chapada do Apodi, onde se localiza o perímetro irrigado Jaguaribe-Apodi. A região apresenta topografia uniforme, com relevo plano (declividade menor que 2%) e favorável à mecanização (DNOCS 2009).

Diversos são os solos encontrados no perímetro irrigado Jaguaribe-Apodi (DNOCS 2009). Porém, estudos indicam predominância de Cambissolos com características físicas, químicas e mineralógicas distintas, o que implica na necessidade de manejo diferenciado. Cambissolos eutróficos e Cambissolos vérticos foram encontrados por Lemos et al. (1997) a pequenas distâncias na Chapada do Apodi, mesmo com mudanças inexpressivas no relevo.

As diferenças entre Cambissolos na Chapada do Apodi podem ser explicadas pelas variações no microrrelevo, pois estas influenciam processos de formação do solo, bem como o transporte de nutrientes e de sedimentos (Florinsky et al. 2002; Seibert et al. 2007; Xu et al. 2014). Em estudo de caso na Chapada do Apodi, Oliveira et al. (2013) verificaram que a dinâmica da água e as variações no microrrelevo favoreceram a formação de solos rasos na superfície convexa do terreno e de solos mais profundos na superfície côncava. Nos pontos mapeados como solo raso, a profundidade encontrada pelos autores foi de 0 a 30 cm; já nos pontos considerados mais profundos, a profundidade máxima chegou a 100 cm.

Há indicativos de que o desenvolvimento das bananeiras é favorecido em Cambissolos mais profundos. Foi observado que nesses solos as plantas acumulam mais macronutrientes e produzem cachos com maior massa (Costa et al. 2011b). O desempenho favorável das plantas em solos mais profundos pode ser em virtude do melhor desenvolvimento do sistema radicular. Foi constatado que, em Cambissolos mais profundos, as bananeiras apresentam diâmetro radicular variado, garantindo melhores condições para a sustentação das plantas e para a absorção de água e nutrientes (Miotti et al. 2013). Solos mais profundos também devem possibilitar o maior crescimento radicular em profundidade, já que as raízes da bananeira podem ultrapassar 1,20 m (Araya e Blanco 2001).

Adicionalmente, o desempenho favorável de bananeiras em solo mais profundo pode ocorrer em virtude de melhores condições químicas desse solo. Este estudo foi realizado com base na hipótese de que o solo mais profundo possui maiores teores de macro e micronutrientes e valores mais favoráveis de outros atributos químicos utilizados na avaliação da fertilidade do solo, quando comparado ao solo mais raso. Supõe-se que o maior teor de nutrientes no solo profundo favorece o estado nutricional das bananeiras que, conseqüentemente, produzirão mais. O trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o teor de nutrientes e outros atributos químicos de fertilidade em Cambissolos raso e profundo, bem como o estado nutricional e a produtividade de bananeiras cultivadas nesses solos.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em bananal na Chapada do Apodi (Limoeiro do Norte, CE), entre as coordenadas lat 05°20'43"S e long 38°5'18"O. O clima da região, segundo a classificação de Köppen (1948), é do tipo BSw'h', caracterizado por ser muito quente e semiárido. A média pluviométrica é de aproximadamente 750 mm por ano (DNOCS 2009) e a vegetação natural da região é a caatinga hiperxerófila (Brasil 1973).

A caracterização química e granulométrica do solo, antes da implantação do bananal, é apresentada nas Tabelas 1 e 2. De acordo com a interpretação dos resultados das análises químicas (Aquino et al. 1993), os solos estudados apresentaram baixos teores de fósforo e de alumínio, enquanto que os teores de potássio, cálcio e magnésio foram considerados muito altos. Os solos apresentaram teores médios de matéria orgânica, além de alcalinidade baixa a média.

A área de estudo possui diferenças na profundidade do solo associadas ao microrrelevo, as quais foram identificadas por Oliveira et al. (2013). Esses autores, ao estudar uma área plana (declividade inferior a 3%) de 102 ha, encontraram solos mais rasos nas porções convexa e retilínea, que ocupam cerca de 40 e 25 ha da área, respectivamente, e solos mais profundos na parte côncava do terreno, que ocupa cerca de 37 ha da área.

Para as avaliações do presente estudo, foram considerados dois tratamentos: um Cambissolo Háplico carbonático típico, classificado a partir de trincheira aberta na porção retilínea da área estudada por Oliveira et al. (2013) e que foi denominado

→

solo raso, apresentando profundidade efetiva de 57 cm; e um Cambissolo Háplico Ta eutrófico típico, classificado a partir de trincheira aberta na porção côncava da área estudada pelos autores citados e que foi denominado solo profundo, apresentando profundidade efetiva de 116 cm. É importante ressaltar que a área de solo raso foi adjacente à área de solo profundo no bananal avaliado neste estudo.

A implantação do bananal ocorreu em 2008, tanto na área de solo raso como na área de solo profundo. A cultura foi estabelecida em linhas duplas com espaçamento  $3,8 \times 1,2 \times 2$  m, totalizando 2.000 plantas por hectare em pomar comercial. A variedade estudada foi a Willians (subgrupo Cavendish).

As práticas de manejo utilizadas desde o estabelecimento da cultura foram as mesmas nas áreas de solo raso (Cambissolo Háplico carbonático típico) e profundo (Cambissolo Háplico Ta eutrófico típico), seguindo-se critérios apresentados em Borges (2003). A recomendação da necessidade de calcário teve como base o método da saturação por bases; a

recomendação das adubações fosfatada e potássica foi com base na análise de solo (extrator Mehlich 1), bem como a recomendação da adubação com micronutrientes (extrator água quente); a recomendação da adubação nitrogenada foi com base na produtividade esperada da cultura. A fertirrigação foi utilizada principalmente para a adubação nitrogenada.

A irrigação foi feita por microaspersores de vazão superior a  $45 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ , que supriam quatro plantas em fileira de 2 m. A evaporação da água em tanque Classe A, cuja leitura foi multiplicada por fator específico para a região semiárida (0,85 a 1,0), foi utilizada para estimar a demanda de água pela cultura.

As avaliações referentes a este estudo foram feitas em 2010, com coletas realizadas em área de 1,0 ha no entorno das trincheiras utilizadas para classificação dos solos dentro das áreas de abrangência dos solos raso e profundo. Para avaliar a fertilidade do solo, foi utilizado o delineamento experimental em parcelas subdivididas. Nesse caso, dois tratamentos foram estudados nas parcelas principais (solo

→

**Tabela 1.** Características químicas dos solos raso e profundo antes do plantio em três profundidades de coleta: 0 – 20, 20 – 40 e 40 – 60 cm.

Profundidade (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	P	K (mg·kg <sup>-1</sup> )	Na	Ca	Mg (cmol <sub>c</sub> ·kg <sup>-1</sup> )	Al	H + Al (cmol <sub>c</sub> ·kg <sup>-1</sup> )	SB	T	V (%)	MO (g·kg <sup>-1</sup> )
<b>Solo raso</b>												
0 – 20	7,6	0,6	610,0	13,8	16,0	4,6	0,04	0,9	22,2	23,2	95,7	29,0
20 – 40	7,4	0,3	336,3	18,4	14,7	5,5	0,08	1,2	21,1	22,3	94,6	12,0
40 – 60	7,6	0,2	226,8	27,6	16,9	5,1	0,05	0,9	22,6	23,5	96,2	9,4
<b>Solo profundo</b>												
0 – 20	7,3	0,4	567,0	23,0	17,6	5,2	0,04	1,6	24,4	26,0	93,8	27,5
20 – 40	7,3	0,2	316,7	52,9	17,4	5,4	0,03	1,5	23,9	25,4	94,1	14,1
40 – 60	7,3	0,2	234,6	59,8	18,3	5,4	0,05	1,4	24,5	25,9	94,6	9,7

H + Al = Acidez potencial; SB = Soma de bases; T = Capacidade de troca de cátions a pH 7,0; V% = Saturação por bases; MO = Matéria orgânica.

Fonte: Oliveira et al. (2013).

**Tabela 2.** Granulometria dos solos raso e profundo antes do plantio (média de três profundidades de coleta: 0 – 20, 20 – 40 e 40 – 60 cm).

Profundidade (cm)	Areia (g·kg <sup>-1</sup> )	Silte (g·kg <sup>-1</sup> )	Argila (g·kg <sup>-1</sup> )	Cascalho (g·kg <sup>-1</sup> )
<b>Solo raso</b>				
0 – 20	525,3	258,5	216,2	191,5
20 – 40	485,4	255,6	259,0	205,6
40 – 60	417,8	285,1	297,2	271,5
<b>Solo profundo</b>				
0 – 20	483,8	251,6	264,6	128,2
20 – 40	318,5	299,3	382,3	139,1
40 – 60	329,2	278,6	392,2	202,8

Fonte: Oliveira et al. (2013).

raso e solo profundo) e seis tratamentos foram estudados nas subparcelas (seis profundidades de coleta de amostras de solo: 0 – 10, 10 – 20, 20 – 30, 30 – 40, 40 – 50 e 50 – 60 cm). As amostras de solo foram coletadas por meio de uma sonda com diâmetro interno de 4,5 cm, 100 cm de comprimento e graduada a cada 10 cm. A amostragem foi realizada a uma distância de aproximadamente 25 cm do pseudocaulo das plantas, com cinco repetições (considerando-se cada planta uma repetição), o que totalizou 60 amostras. Para avaliação do estado nutricional e quantificação da produtividade da bananeira, foram considerados dois fatores de tratamento (solos raso e solo profundo) e 30 repetições.

O preparo das amostras e as análises químicas para avaliação da fertilidade do solo foram realizados de acordo com métodos descritos em van Raij et al. (2001). As análises químicas para fins de fertilidade foram:  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ ; matéria orgânica (MO) pela oxidação por via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico; fósforo (P) com extrator Mehlich-1 e determinação colorimétrica; cálcio (Ca) e magnésio (Mg) extraídos com KCl 1 mol·L<sup>-1</sup> e determinados por titulação; alumínio (Al) extraído com KCl 1 mol·L<sup>-1</sup> e titulado com hidróxido de sódio; potássio (K) e sódio (Na) trocáveis extraídos com solução diluída de ácido clorídrico e posterior determinação por fotometria de chama; cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) extraídos com Mehlich e quantificados por espectrofotometria de absorção atômica; boro (B) extraído por digestão em água quente e adição de HCl seguida pela quantificação colorimétrica e acidez potencial (H + Al) liberada pela ação com solução não tamponada de KCl.

Na avaliação do estado nutricional das plantas, foram coletadas amostras da folha III (abaixo e oposta às flores) durante o florescimento (Malavolta et al. 1997). As amostras foram secas em estufa com circulação forçada de ar e moídas para as determinações de macro, micronutrientes e sódio do tecido vegetal (Malavolta et al. 1997).

As análises para avaliação do estado nutricional foram: nitrogênio (N) extraído por digestão sulfúrica e determinado pelo método de Kjeldahl; P, K, Ca, Mg, enxofre (S), Cu, Fe, Mn, Zn, Al e Na extraídos por digestão nítrico-perclórica. O P foi determinado por colorimetria, K e Na por fotometria de chama, enquanto que os demais elementos foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica. Também foram determinadas as concentrações de B, por meio da digestão via seca (incineração) e quantificação colorimétrica.

Para avaliação da produtividade, os cachos das plantas foram colhidos e avaliados periodicamente na medida em que atingiam o ponto ideal de colheita, definido pelo método da emissão do coração, o qual varia de 100 a 120 dias após emissão da inflorescência. Foram avaliados os seguintes atributos de produtividade: peso de cachos, número de palmas por cacho, calibre máximo e mínimo dos frutos.

Foi utilizado o *software* Sisvar (Ferreira 2011) para executar as análises estatísticas. Por meio desse *software*, foi realizada análise de variância utilizando-se o procedimento ANOVA. Os atributos de produtividade e do estado nutricional da cultura foram avaliados por meio do teste *t* de Student. Para as demais determinações (atributos químicos), realizou-se análise de variância (ANOVA) e, na medida em que foi constatada diferença significativa, a separação de médias foi feita por meio da diferença mínima significativa (DMS) realizada pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os atributos de fertilidade do solo que diferiram em função da profundidade efetiva e de coleta foram: teores de P, Na, Cu, Fe, Mn, Ca e MO, bem como valores de H + Al, soma de bases (SB), condutividade elétrica (CE), saturação por bases (V%) e porcentagem de sódio trocável (PST). Interações entre profundidade efetiva e de coleta foram observadas para valores de pH e teores de K, Mg, B e Zn.

Os atributos químicos que apresentaram maiores valores no solo profundo foram P, Na, H + Al, Cu, Fe, Mn, MO e PST. Por outro lado, os valores de Ca, SB, CE e V% foram maiores no solo raso (Tabela 3). Quanto às diferenças observadas entre profundidades de coleta, os valores de P, MO, SB e V% diminuíram com a profundidade (Tabela 3). Os atributos indicadores de salinidade (PST, CE e Na) aumentaram da superfície para as profundidades intermediárias (Tabela 3).

Apesar de os teores de P terem aumentado em relação ao que foi observado por ocasião da caracterização dos solos, os valores encontrados foram baixos, tanto no solo raso como no profundo. Isso indica manejo ineficiente da adubação fosfatada, que pode ter sido agravado por algumas características dos solos. Os baixos teores de P são explicados pela pequena quantidade do nutriente no material de origem, o calcário da formação Jandaíra. Baixos valores de P em Cambissolos calcários também foram destacados por Costa et al. (2011a) em estudo realizado no Rio Grande do Norte.

→

**Tabela 3.** Médias dos atributos químicos que variaram com a profundidade efetiva e com a profundidade de coleta do solo.

	P	Na	Cu	Fe	Mn	Ca	H + Al	SB	MO	CE	V	PST
	(mg·kg <sup>-1</sup> )				(cmol <sub>c</sub> ·kg <sup>-1</sup> )			(g·kg <sup>-1</sup> )	(dS·m <sup>-1</sup> )	%	(%)	
<b>Profundidade efetiva</b>												
Raso	1,4b <sup>(1)</sup>	76,9b	0,2b	3,9b	51,2b	10,4a	0,3b	13,0a	18,6b	1,0a	97,8a	1,5b
Profundo	3,9a	96,1a	0,4a	5,1a	176,7a	8,6b	0,7a	12,2b	30,5a	0,7b	94,6b	1,8a
DMS	0,24	5,50	0,04	0,60	16,10	0,18	0,03	0,40	4,0	0,08	0,40	0,13
<b>CV(%)</b>	<b>34,9</b>	<b>11,8</b>	<b>23,7</b>	<b>24,4</b>	<b>21,8</b>	<b>7,6</b>	<b>22,2</b>	<b>6,0</b>	<b>24,7</b>	<b>17,8</b>	<b>0,8</b>	<b>14,8</b>
<b>Profundidade de coleta</b>												
0 – 10	4,2a	84,2bc	0,2b	5,2ab	113,2a	9,2a	0,4c	13,2a	35,1a	0,6b	97,0a	1,5ab
10 – 20	3,3ab	93,2ab	0,2b	3,9bcd	122,9a	9,9a	0,4c	13,1ab	34,9a	0,7b	96,8a	1,7ab
20 – 30	2,5bc	97,2a	0,3a	3,2bcd	119,6a	9,7a	0,5b	12,8b	27,4b	0,9a	96,4ab	1,8a
30 – 40	1,8bc	91,4ab	0,3a	4,2bcd	107,6a	9,5a	0,5b	12,4bc	19,2bc	1,0a	95,8bc	1,8a
40 – 50	2,1bc	82,0bc	0,3a	4,8abc	122,6a	9,3a	0,6a	12,3bc	17,3bcd	1,0a	95,6bc	1,6ab
50 – 60	1,7c	71,0bcd	0,3a	5,6a	98,0a	9,2a	0,5b	11,9bc	13,3bcd	0,9a	95,6bc	1,4b
DMS	1,2	9,5	0,1	1,0	37,0	0,9	0,1	0,7	6,0	0,1	0,7	0,3
<b>CV(%)</b>	<b>34,8</b>	<b>11,8</b>	<b>24,7</b>	<b>24,4</b>	<b>24,2</b>	<b>7,3</b>	<b>21,6</b>	<b>6,0</b>	<b>24,7</b>	<b>17,8</b>	<b>0,8</b>	<b>14,6</b>

<sup>(1)</sup>Médias seguidas por letras iguais, minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. H + Al = Acidez potencial; SB = Soma de bases; MO = Matéria orgânica; CE = Condutividade elétrica; V% = Saturação por bases; PST = Porcentagem de sódio trocável; DMS = Diferença mínima significativa; CV(%) = Coeficiente de variação.

Além do material de origem, os baixos teores de P nos solos estudados podem estar vinculados à alta concentração de Ca que leva à precipitação do P (Zhang et al. 2014). Esse aspecto permite explicar o maior teor de P encontrado no solo profundo, que apresentou menores teores de Ca em relação ao solo raso. Isso deve ter levado à menor precipitação de P e, conseqüentemente, à maior disponibilidade do nutriente no solo profundo.

Outra explicação para a maior disponibilidade de P no solo profundo é o fluxo hídrico horizontal favorecido pelas variações no microrrelevo da área. Esse fluxo pode ter transportado sedimentos contendo P, resultando em maior acúmulo do nutriente no solo mais profundo, localizado na posição mais baixa do microrrelevo. Efeitos da topografia influenciando na distribuição espacial de P já foram observados por outros autores (Florinsky et al. 2002; Xu et al. 2014).

Os maiores teores de Na no solo profundo não representaram risco de sodicidade, pois o valor de PST obtido nesse solo (1,8%) ficou abaixo do limite crítico de 15% adotado pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos para definir solos sódicos (Embrapa 2013). Além disso, os teores foram baixos quando comparados com os teores das outras bases trocáveis, sem prejudicar as relações Ca:Mg:K:Na.

Os maiores teores de MO no solo profundo estão associados às melhores condições encontradas nesse solo

para o desenvolvimento das raízes e da parte aérea das plantas. Assim, a fitomassa tanto do sistema radicular quanto da parte aérea contribuiu com os maiores teores de MO no solo mais profundo.

Foram detectados maiores valores de Cu, Fe e Mn no solo profundo, o que pode ser explicado pelos menores valores de pH nesse solo. A biodisponibilidade de micronutrientes diminui na medida em que aumenta o pH do solo (Imtiaz et al. 2010). O aumento na disponibilidade de B no solo profundo pode ser explicado pelo fato de a matéria orgânica do solo poder melhorar a biodisponibilidade do nutriente (Shaaban 2010).

O Zn e o B são os micronutrientes com maior frequência de deficiência nas bananeiras (Borges 2003). Quando teores de B na camada de 0 – 20 cm do solo são inferiores a 0,21 mg·kg<sup>-1</sup> e os teores de Zn são inferiores a 0,6 mg·kg<sup>-1</sup>, pode ocorrer deficiências, recomendando-se adubação com esses elementos (Borges 2003). Tanto o solo profundo quanto o raso apresentaram deficiência de Zn.

A CE foi maior no solo raso, provavelmente pelas maiores concentrações de Ca (Tabela 3). Ao analisar as variações na CE nas camadas de solo avaliadas (Tabela 3), foi constatado aumento nos valores do atributo em profundidade, o que pode ser reflexo da lixiviação de íons em virtude da fertirrigação. Entretanto, os valores de CE encontrados nos dois solos não

representaram riscos de salinidade. D'Almeida et al. (2005) avaliaram a importância relativa dos íons na salinidade em um Cambissolo da Chapada do Apodi e não consideraram possíveis efeitos limitantes em profundidade no Cambissolo para o desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, no desempenho produtivo da bananeira.

Os maiores valores de SB e V% encontrados no solo raso também se devem aos maiores valores de Ca nesse solo. Os valores de V% indicam SB maior que 50 %, sendo os solos classificados como eutróficos (Embrapa 2013).

Quanto aos atributos químicos em que foi constatada interação entre profundidade efetiva e profundidade de coleta, destaca-se o  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ , que foi maior no solo raso em todas as profundidades de coleta (Tabela 4). Além disso, houve redução dos valores em profundidade, principalmente no solo mais profundo (Tabela 4). Dois processos explicam o menor pH no solo mais profundo: a remoção de bases (com destaque para o K, que é absorvido em grandes quantidades pelas bananeiras) e a extrusão radicular de  $\text{H}^+$  (Guo et al. 2010). Os teores de K também merecem destaque por terem sido superiores no solo mais profundo (Tabela 4), contribuindo com maior absorção do elemento

pelos plantas, que, por sua vez, estimulou a extrusão de  $\text{H}^+$  e a acidificação do solo.

Na avaliação do estado nutricional das bananeiras, ao comparar as concentrações de nutrientes nas folhas, foi constatado que as plantas que cresceram no solo profundo apresentaram maiores concentrações de N, P, K, Na, B, Cu e Mn. Por outro lado, as plantas que cresceram no solo raso apresentaram maiores concentrações de Ca e Mg (Tabela 5).

As concentrações de N encontrado nas folhas das bananeiras no solo profundo provavelmente foram superiores devido aos maiores teores de MO. A maior parte do N no solo (95% ou mais) encontra-se em combinações orgânicas (Mello et al. 1989). Além disso, a posição do solo no microrrelevo certamente também contribuiu com os maiores teores de N proveniente das adubações que atingiram essa posição por meio do escoamento lateral de água.

As altas concentrações de K encontrado nas folhas da bananeira refletem o alto teor do elemento no solo da área experimental, destacando-se os maiores valores no solo profundo. Os valores mais elevados de K, em detrimento dos valores de Mg observados nos solos raso e profundo, representam riscos de desequilíbrio

→

**Tabela 4.** Médias de  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ , teores de potássio, magnésio, boro e zinco no solo considerando-se as interações entre profundidade efetiva e de coleta.

PC	$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$		K ( $\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$ )		Mg ( $\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$ )		B ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )		Zn ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	
	SR	SP	SR	SP	SR	SP	SR	SP	SR	SP
0 – 10	8,0Aa <sup>(1)</sup>	7,7Ba	148,4Ba	506,0Aa	2,3Aab	3,3Aa	0,2Ba	0,4Aa	0,3Ba	1,2Aa
10 – 20	7,9Aa	7,6Ba	79,6Bab	324,0Ab	2,9Aa	2,0Bb	0,3Aa	0,4Aa	0,2Ba	0,8Ab
20 – 30	7,8Ab	7,4Bb	64,0Bb	265,2Abc	2,0Bb	2,9Aa	0,3Aa	0,3Aab	0,2Ba	0,6Ab
30 – 40	7,7Ab	7,0Bc	58,4Bb	207,2Abc	1,8Bb	2,8Aa	0,3Aa	0,3Aab	0,1Aa	0,3Abc
40 – 50	7,7Ab	6,9Bc	60,8Bb	186,0Abcd	1,8Bb	2,7Aa	0,3Aa	0,2Ab	0,2Aa	0,3Abc
50 – 60	7,8Aa	6,8Bc	55,6Bb	140,0Abcd	2,4Aab	2,7Aa	0,3Aa	0,1Aa	0,1Aa	0,4Abc
DMS	0,2		77,6		0,8		0,1		0,3	
CV(%)	1,5		33,7		20,6		25,1		57,1	

<sup>(1)</sup>Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. PC = Profundidade de coleta; SR = Solo raso; SP = Solo profundo; DMS = Diferença mínima significativa; CV(%) = Coeficiente de variação.

**Tabela 5.** Teores de macro, micronutrientes e sódio no tecido vegetal de bananeiras cultivadas em solo raso e solo profundo.

PE	N	P	K ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	Ca	Mg	Na	B	Cu	(mg·kg <sup>-1</sup> )		
									Fe	Mn	Zn
SR	24,2B <sup>(1)</sup>	1,4B	30,4B	10,9A	3,5A	210,2B	23,4B	6,4B	100,1A	153,4B	11,1A
SP	26,1A	1,6A	37,3A	7,7B	2,5B	248,4A	26,4A	7,1A	80,7A	214,9A	12,7A
DMS	1,0	0,1	3,4	1,0	0,4	20,8	2,0	0,7	24,7	4,04	2,2
CV(%)	6,4	9,4	15,5	17,3	18,4	14,2	12,5	26,4	42,6	26,4	42,6

<sup>(1)</sup>Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste t de Student, a 5% de probabilidade. PE = Profundidade efetiva; SR = Solo raso; SP = Solo profundo; DMS = diferença mínima significativa; CV(%) = coeficiente de variação.

nutricional entre K e Mg. Os dois solos apresentaram relação K:Mg superior a 13, o que pode provocar o distúrbio denominado “azul da bananeira” (Borges 2004).

As concentrações médias de P nas folhas das plantas do solo profundo ficaram dentro da faixa adequada ( $1,6 - 2,7 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) para as cultivares do subgrupo Cavendish (Borges e Souza 2004), resultado similar ao encontrado por Costa et al. (2011b). Já o teor médio de P nas folhas das plantas que cresceram no solo raso ficou abaixo da faixa de suficiência. O favorecimento do sistema radicular das bananeiras no solo profundo, constatado por Miotti et al. (2013), contribuiu com o estado nutricional da cultura nesse solo.

As maiores concentrações de Ca nas bananeiras do solo raso ocorreram em função dos teores superiores do nutriente nesse solo (Tabela 3). As concentrações foliares de Mg também foram maiores mediante cultivo no solo raso, ficando dentro da faixa adequada ( $2,7 - 6,0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) para cultivares do subgrupo Cavendish (Borges e Souza 2004). No entanto, as concentrações foliares de Mg encontradas para as plantas do solo profundo ficaram abaixo das faixas adequadas para esse grupo.

Com relação aos micronutrientes, houve maior variabilidade nas concentrações foliares (Tabela 5). As concentrações de Zn nas folhas ficaram abaixo da faixa adequada ( $20 - 50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) para as cultivares do subgrupo Cavendish (Borges e Souza 2004). Vale destacar também que foram observados baixos teores de Zn nos solos estudados.

As concentrações foliares de Mn, Cu e B foram maiores nas plantas que cresceram no solo profundo. Os valores de Mn encontrados no tecido vegetal das plantas que cresceram no solo mais profundo ficaram na faixa considerada adequada por Borges e Souza (2004). No solo raso, as concentrações de Mn ficaram abaixo dessa faixa devido aos menores teores do micronutriente nesse solo. Em relação ao Cu, as concentrações médias nas folhas também ficaram dentro da faixa adequada ( $6 - 30 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) estabelecida em Borges e

Souza (2004). As concentrações de B nas folhas de plantas que se desenvolveram no solo raso ficaram dentro da faixa considerada adequada ( $10 - 25 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), segundo Borges e Souza (2004). No solo profundo, as concentrações de B ficaram acima dessa faixa.

A concentração de Na foi maior nas plantas que cresceram no solo profundo. De modo geral, teores de Na nos dois solos estudados ficaram acima do teor crítico de  $165 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  proposto por Moreira (1999). Neves et al. (2002) concluíram que altos teores de Na no solo, combinados com Ca, podem reduzir a massa da matéria fresca da parte aérea, a altura e a área foliar da bananeira. Porém, é interessante que os teores de Ca no solo sejam superiores aos de Na, pois o Ca é um nutriente importante em plantas expostas a estresse salino devido ao seu papel na manutenção da permeabilidade seletiva das membranas, extensão da parede celular, recuperação do estresse celular e prevenção da absorção do íon sódio em níveis que causam injúria (Hansen e Munns 1988).

Os únicos atributos de produtividade que diferiram entre solos foram peso de cachos e produtividade estimada. O peso de cachos no solo profundo foi  $3,2 \text{ kg}$  superior em relação ao observado para as plantas que cresceram no solo raso. Isso levou a uma diferença na produtividade estimada de  $6,4 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  a mais no solo profundo (Tabela 6).

Não foi observada diferença significativa para número de palmas, calibre máximo e calibre mínimo (Tabela 6). Quanto ao calibre máximo e mínimo, na Chapada do Apodi, cada empresa trabalha com uma faixa de calibração exigida pelos importadores. No caso da propriedade onde foi realizado este estudo, a calibração mínima é de  $30 \text{ mm}$  e a máxima, de  $38 \text{ mm}$ . Tanto na área de solo raso como na de solo profundo, os frutos atingiram o calibre mínimo adequado para comercialização,  $31,21$  e  $31,31 \text{ mm}$ , respectivamente (Tabela 6), de modo que a profundidade efetiva do solo não prejudicou a qualidade dos frutos para a exportação.

**Tabela 6.** Número de palmas, calibre máximo e mínimo de frutos, peso de cacho e produtividade estimada das bananeiras cultivadas em solo raso e solo profundo.

PE	Número de palmas (unidade)	Calibre máximo (mm)	Calibre mínimo (mm)	Peso de cacho (kg)	Produtividade estimada ( $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ )
SR	9,5A <sup>(1)</sup>	35,0A	31,2A	28,7B	57,4B
SP	9,8A	35,0A	31,3A	31,9A	63,8A
DMS	0,7	0,7	0,8	3,0	6,0
<b>CV(%)</b>	<b>12,4</b>	<b>2,5</b>	<b>3,1</b>	<b>16,3</b>	<b>16,3</b>

<sup>(1)</sup>Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste t de Student, a 5% de probabilidade. PE = Profundidade efetiva; SR = Solo raso; SP = Solo profundo; DMS = Diferença mínima significativa; CV(%) = Coeficiente de variação.

## CONCLUSÃO

O solo profundo apresentou maiores valores de atributos indicativos de fertilidade. Dentre esses atributos, são destacados os teores de P, Cu, Fe, Mn e MO por

apresentarem maior potencial de contribuir com o desenvolvimento das bananeiras. O estado nutricional da cultura foi favorecido no solo profundo quanto aos teores de N, P, K, Cu, Mn e B, o que resultou em maior produtividade estimada nesse solo.

## REFERÊNCIAS

- Aquino, A. B., Aquino, B. F., Ferreyra Hernandez, F. F., Holanda, F. J. M., Freire, J. M., Crisóstomo, L. A., Costa, R. I., Uchôa, S. C. P. e Fernandes, V. L. B. (1993). Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Ceará. Fortaleza: UFC.
- Araya, M. e Blanco, F. (2001). Changes in the stratification and spatial distribution of the banana (*Musa AAA cv. Grand Naine*) root system of poor, regular, and good developed plants. *Journal of Plant Nutrition*, 24, 1679-1693. <http://dx.doi.org/10.1081/PLN-100107306>.
- Borges, A. L. (2003). Cultivo da banana para o Agropólo Jaguaribe-Apodi, Ceará. Embrapa; [acessado 30 Jan 2011]. <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Banana/BananaCeara/solos.htm>
- Borges, A. L. (2004). Interação entre nutrientes em bananeira. Cruz das Almas: Embrapa. (Circular Técnica 55).
- Borges, A. L. e Souza, L. S. (2004). O cultivo da bananeira. Cruz das Almas: Embrapa.
- Brasil. Ministério da Agricultura. Divisão de Pesquisa Pedológica, DNPEA (1973). Levantamento exploratório — reconhecimento de solos do Estado do Ceará. Recife: Convênios MA/DNPEA-SUDENE/DRN, MA/CONTAP/ USAID/ETA, 2v. Boletim Técnico, 28.
- Costa, C. L. L., Batista, J. E. B., Costa Júnior, C. O., Santos, A. P. e Silva, M. L. (2011a). Uso de adubo fosfatado na cultura do melão em solos de origem calcária. *Revista Verde*, 6, 58-62. <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v6i3.723>.
- Costa, M. C. G., Almeida, E. L., Ferreira, T. O., Oliveira, D. P. e Romero, R. E. (2011b). Profundidade do solo e micro-relevo em bananais irrigados: impactos na nutrição mineral e potencial produtivo. *Revista Ciência Agronômica*, 42, 567-578. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902011000300001>.
- D'Almeida, D. M. B. A., Andrade, E. M., Meireles, A. C. M. e Ness, R. L. L. (2005). Importância relativa dos íons na salinidade de um Cambissolo na Chapada do Apodi, Ceará. *Engenharia Agrícola*, 25, 615-621. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162005000300006>.
- Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (2009). Perímetro irrigado Jaguaribe-Apodi; [acessado 6 Maio 2009]. [http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/perimetros\\_irrigados/ce/jaguaribe\\_apodi.html](http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/perimetros_irrigados/ce/jaguaribe_apodi.html)
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2013). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa.
- Ferreira, D. F. (2011). Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, 35, 1039-1042. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>.
- Florinsky, I. V., Eilers, R. G., Manning, G. R. e Filler, L. G. (2002). Prediction of soil properties by digital terrain modeling. *Environmental Modelling & Software*, 17, 295-311. [http://dx.doi.org/10.1016/S1364-8152\(01\)00067-6](http://dx.doi.org/10.1016/S1364-8152(01)00067-6).
- Guo, J. H., Liu, X. J., Zhang, Y., Shen, J. L., Han, W. X., Zhang, W. F., Christie, P., Goulding, K. W. T., Vitousek, P. M. e Zhang, F. S. (2010). Significant acidification in major Chinese croplands. *Science*, 327, 1008-1010. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1182570>.
- Hansen, E. H. e Munns, D. N. (1988). Effect of CaSO<sub>4</sub> and NaCl on mineral content of *Leucaena leucocephala*. *Plant and Soil*, 107, 101-105. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02371550>.
- Imtiaz, M., Rashid, A., Khan, P., Memon, M. Y. e Alsam, M. (2010). The role of micronutrients in crop production and human health. *Pakistan Journal of Botany*, 42, 2565-2578.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2015). Levantamento sistemático da produção agrícola. vol. 29. Rio de Janeiro: IBGE.
- Köppen, W. (1948). *Climatologia: con un estudio de los climas de la Tierra*. Mexico: Fondo de Cultura Económica.
- Lemos, M. S. S., Curi, N., Marques, J. J. G. S. M. e Ernesto Sobrinho, F. (1997). Evaluation of characteristics of Cambisols derived from limestone in low tablelands in northeastern Brazil: implications for management. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 32, 825-834.

- Malavolta, E., Vitti, G. C. e Oliveira, S. A. (1997). Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Potafos.
- Mello, F. A. F., Brasil Sobrinho, M. O. C., Arzolla, S., Silveira, R. I., Cobra Neto, A. e Kiehl, J. C. (1989). Fertilidade do solo. 3. ed. São Paulo: Nobel.
- Miotti, A. A., Costa, M. C. G., Ferreira, T. O. e Romero, R. E. (2013). Profundidade e atributos físicos do solo e seus impactos nas raízes de bananeiras. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35, 536-545. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452013000200024>.
- Moreira, R. S. (1999). Banana: teoria e prática de cultivo. 2. ed. São Paulo: Fundação Cargill. CD-ROM.
- Neves, L. L. M., Siqueira, D. L., Cecon, P. R., Martinez, C. A. e Salomão, L. C. C. (2002). Crescimento, trocas gasosas e potencial osmótico da bananeira-‘prata’, submetida a diferentes doses de sódio e cálcio em solução nutritiva. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 24, 524-529. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452002000200049>.
- Oliveira, D. P., Ferreira, T. O., Romero, R. E., Farias, P. R. S., Costa, M. C. G. (2013). Microrrelevo e a distribuição de frações granulométricas em Cambissolos de origem calcária. *Revista Ciência Agronômica*, 44, 676-684. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902013000400003>.
- Seibert, J., Stendahl, J. e Sorrensen, R. (2007). Topographical influences on soil properties in boreal forests. *Geoderma*, 141, 139-148. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.05.013>.
- Shaaban, M. M. (2010). Role of Boron in plant nutrition and human health. *American Journal of Plant Physiology*, 5, 224-240. <http://dx.doi.org/10.3923/ajpp.2010.224.240>.
- Van Raij, B., Quaggio, J. A., Cantarella, H., Ferreira, M. E., Lopes, A. S. e Bataglia, O. C. (2001). Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas: Fundação Cargill.
- Xu, G., Li, Z., Li, P., Zhang, T. e Cheng, S. (2014). Spatial variability of soil available phosphorus in a typical watershed in the source area of the middle Dan River, China. *Environmental Earth Sciences*, 71, 3853-3962. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-013-2780-6>.
- Zhang, M., Li, C., Li, Y. C. e Harris, W. G. (2014). Phosphate minerals and solubility in native and agricultural calcareous soils. *Geoderma*, 232-234, 164-171. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.05.015>.