

**PRODUTIVIDADE DO CACAUEIRO EM FUNÇÃO DE
CARACTERÍSTICAS DO SOLO.
II. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-MORFOLÓGICAS
E ALGUNS ELEMENTOS EXTRAÍDOS
PELO ATAQUE SULFÚRICO⁽¹⁾**

J. O. SOUZA Jr.⁽²⁾, J. C. KER⁽³⁾, J. W. V. MELLO⁽³⁾ & C. D. CRUZ⁽⁴⁾

RESUMO

Com base na produtividade em sete anos (1989 a 1995) de 36 talhões produtivos de cacau, cultivados numa propriedade agrícola no sul da Bahia, foram obtidas as médias dos três anos mais e menos produtivos, correspondendo, respectivamente, a anos de maior e menor quantidade de chuvas. Essas produtividades foram relacionadas, por análise de trilha, com as características físico-morfológicas do solo (profundidade do horizonte A; cor, porosidade, densidades aparente e de partícula dos horizontes A e B; textura das camadas de 0-20 e 30-50 cm e presença de cascalho ou pedras até à profundidade de 50 cm) e com os teores totais de elementos (Ti, K, Cu, Fe, Mn e Zn), obtidos pelo ataque sulfúrico, na camada de 30-50 cm de profundidade. Os micronutrientes extraídos pelo ataque sulfúrico foram correlacionados com aqueles extraídos pelo Mehlich-1. Em geral, as características físicas explicaram melhor a produtividade dos anos mais secos, enquanto os teores de elementos extraídos pelo ataque sulfúrico correlacionaram-se melhor com a produtividade dos anos mais chuvosos. Os talhões mais produtivos tinham horizonte A mais profundo, solo mais poroso, com maiores teores de micronutrientes catiônicos e Ti e menor teor de K obtido pelo ataque sulfúrico. Em anos mais secos, os talhões mais produtivos foram aqueles que apresentavam solo com maior teor de argila e menores teores de silte e areia. A presença de cascalho até à profundidade de 50 cm e a cor dos horizontes do solo não se correlacionaram significativamente com a produtividade das plantas. Cobre, Mn e, ou, Zn, extraídos pelo ataque sulfúrico, indicaram solos de maior fertilidade natural em micronutrientes catiônicos para o cacauzeiro.

Termos de indexação: *Theobroma cacao*, produtividade, características físicas, reserva de nutriente, análise de trilha.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em junho de 1997 e aprovado em setembro de 1999.

⁽²⁾ Professor Assistente do Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Estadual de Santa Cruz. Rod. Ilhéus/Itabuna, km 16, CEP 45650-000 Ilhéus (BA). E-mail: olimpio@jacaranda.uescba.com.br.

⁽³⁾ Professor Adjunto do Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa - UFV. CEP 36571-000 Viçosa (MG).

⁽⁴⁾ Professor Titular do Departamento de Biologia Vegetal, UFV.

SUMMARY: *CACAO TREE PRODUCTIVITY AS A FUNCTION OF SOIL CHARACTERISTICS. II. MORPHOLOGICAL - PHYSICAL CHARACTERISTICS AND SOME ELEMENTS EXTRACTED BY USING CONCENTRATED SULFURIC ACID*

Based on the seven year-productivities (1989 to 1995) of 36 cacao-producing areas, on a farm in southern of Bahia, Brazil, the average of the three most and least productive years was obtained corresponding, respectively, to the highest and lowest rain availability. By path analysis, these productivities were related to both the soil morphological-physical characteristics (A-horizon depth; color, soil and particle densities of A and B horizons; texture of soil layers at 0-20 and 30-50 cm depth and the presence of gravel or stones down to a 50 cm depth) and the element contents (Ti, K, Fe, Mn, Zn) extracted from a 30-50 cm depth layer by using concentrated sulfuric acid. The micronutrients extracted by the concentrated sulfuric acid were correlated with those extracted by Mehlich-1. Generally, the physical characteristics showed a better correlation with the drier years' productivity whereas the element contents extracted by concentrated sulfuric acid showed a better correlation with that of rainier years. The most productive areas were those having a deeper A horizon, a soil with greater porosity, higher contents of Ti and cationic micronutrients, and a lower content of K, all extracted by concentrated sulfuric acid. During the drier years, the most productive areas were those with higher contents of clay and lower contents of silt and sand. Gravel occurrence down to 50 cm depth and the color of the soil horizons did not correlate significantly with plant productivity. Cu, Mn and, or Zn contents, extracted by concentrated sulfuric acid, indicated soils of greater fertility in cationic micronutrients for the cacao tree.

Index terms: Theobroma cacao, productivity, physical characteristics, nutrient stock, path analysis.

INTRODUÇÃO

O cacauzeiro (*Theobroma cacao* L.) é cultivado há milhares de anos no continente americano. Os astecas e os incas apreciavam a bebida derivada de seu fruto, muito antes de Colombo descobrir o Novo Mundo. A importância do cacauzeiro era tanta, que atribuíam a ele origem divina e sua plantação era, muitas vezes, cercada de cerimônias religiosas. A amêndoa circulou comercialmente como moeda e seu consumo era um luxo, ficando restrito basicamente aos senhores e nobres (Bondar, 1938). Para o estado da Bahia, o cacau é o principal produto agrícola e já representou de 40 a 50% das suas exportações, contribuindo com cerca de 50% da composição de suas receitas (Gramacho et al., 1992).

As propriedades e as características físicas do solo revestem-se de importância capital no cultivo de planta perene, como o cacauzeiro, principalmente quando associadas ao volume e distribuição das chuvas (Ahenkorah, 1981). Elas influem na capacidade de retenção de água e drenagem do solo, bem como na profundidade de penetração do sistema radicular (Braudeau, 1970), além de influenciar as reações químicas e a absorção de nutrientes pela planta.

A ocorrência de "piçarra", termo popular utilizado nas regiões produtoras de cacau do Brasil para

designar presença de maior quantidade de cascalho ao longo do perfil do solo, dificulta o desenvolvimento do sistema radicular da planta. Por isto, Garcia et al. (1985) consideram profundidade efetiva mínima de 1,20 m para o cultivo do cacauzeiro, enquanto Gramacho et al. (1992) recomendam que até à profundidade de 80 cm não deva ocorrer "piçarra" nem camada impermeável.

Aparentemente, os fatores físicos que afetam o espaço radicular, conferindo maior resistência mecânica ao solo, contribuem expressivamente para reduzir a produtividade do cacauzeiro (Cadima Z. & Alvim, 1973).

O cacauzeiro é encontrado em solos com as mais diferentes texturas. Contudo, seu cultivo só é indicado para solos arenosos, quando as adubações são parceladas e balanceadas, e para regiões com precipitação pluvial elevada e bem distribuída ao longo do ano. Em regiões com períodos de escassez de chuva, os solos argilosos e bem estruturados seriam os mais indicados (Hardy, 1960; Braudeau, 1970; Garcia, 1985).

Dentre os aspectos morfológicos, a coloração do solo reveste-se de grande importância no processo natural de avaliação, pois reflete, em termos gerais, o teor de matéria orgânica, o tipo de óxido de ferro predominante e a drenagem do perfil, dando, assim, uma idéia geral do pedoambiente e da fertilidade

dos solos (Carmo et al., 1990). Contudo, a cor, apesar de ser uma característica de fácil avaliação e de refletir uma série de atributos do solo, não necessariamente correlaciona-se com a produtividade do solo (Lepsch et al., 1991), pois, às vezes, não retrata limitações ou excessos específicos presentes no solo. Para a cultura do cacau, Hardy (1960) destaca que solos com horizonte B bruno-avermelhado, vermelho ou vermelho-amarelado seriam os mais indicados do que os de coloração pálida, cinzenta ou branca, pois, de modo geral, apresentam maior concentração de nutrientes e são bem drenados.

No Brasil, o método do ataque sulfúrico vem sendo empregado por mais de meio século em trabalhos de pedologia, sendo determinante na diferenciação de classes do sistema brasileiro de classificação (Camargo et al., 1987; Oliveira et al., 1992). Além disto, ele permite quantificar espécies mineralógicas (Resende et al., 1987) e pode também fornecer informações sobre a reserva potencial de alguns elementos no solo (Curi & Fransmeier, 1987; Resende et al., 1987; Ker, 1995). Apesar de toda essa potencialidade, os resultados do ataque sulfúrico vêm sendo empregados, quase que exclusivamente, em trabalhos pedológicos de classificação, sobretudo pelo fato de, ultimamente, só serem dosados silício, Al, Fe e Ti. Como a produtividade e o conteúdo de nutrientes em determinada cultura, principalmente perene, nem sempre se correlacionam com os teores de alguns elementos disponíveis (Melo et al., 1995), faz-se necessário correlacionar outros métodos, que não os de rotina, com a produtividade.

O objetivo deste trabalho foi relacionar produtividades de anos mais e menos chuvosos de 36 talhões produtores de cacau, de uma propriedade no sul da Bahia, com características físico-morfológicas e com elementos químicos obtidos pelo ataque sulfúrico.

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi desenvolvido na Fazenda Oceania, pertencente à empresa Mendonça Agropecuária Ltda, no município de Itagibá (BA). Selecionaram-se 36 talhões, com média de 5,0 ha, 920 plantas/ha, 95% de plantas "produtivas" (acima de sete anos de idade), com o predomínio de uma unidade de solo por talhão e pequena ou nenhuma presença de plantas que apresentassem comprovadamente problemas genéticos (cacaueiros auto-intercompatíveis de grande vigor vegetativo). A produtividade anual de cada um dos 36 talhões, dos anos de 1989 a 1995, foi estimada pela divisão da produção pelo número de plantas produtivas de cada talhão e ano.

Maiores produtividades do cacaueiro são verificadas em anos mais chuvosos (Almeida, 1986;

Alvim, 1988; Scerne, 1988). Por isto, dos sete anos deste estudo, utilizaram-se as médias das três maiores e das três menores produtividades anuais de cada talhão, ou seja, condições de maior e menor quantidade de chuva, respectivamente (Souza Jr., 1997).

Retiraram-se 20 amostras simples de solo por talhão, nas profundidades de 0-20 e 30-50 cm, que foram homogeneizadas, secas ao ar, peneiradas ($\phi = 2,0$ mm) e caracterizadas quanto à textura, com dispersão em NaOH 0,5 mol L⁻¹ (Moura Filho, 1964).

Durante o processo de tradagem, verificou-se a existência de pedras ou cascalhos ao longo do perfil, indicadores de possível impedimento físico, até à profundidade máxima amostrada. Observada a presença desse possível impedimento, anotou-se a profundidade em que ele ocorria; caso contrário, considerou-se que não havia impedimento até 50 cm de profundidade. Com os dados das 20 observações por talhão, calculou-se a profundidade média da ocorrência de pedras e cascalhos até os 50 cm. Essa variável foi denominada de "profundidade efetiva aparente até 50 cm" (PEA₅₀).

As amostras compostas de terra fina seca ao ar, da profundidade de 30-50 cm, foram submetidas ao ataque sulfúrico (EMBRAPA, 1997). No extrato ácido, foram dosados Fe e Ti, conforme EMBRAPA (1997); K, por fotometria de chama, e Cu, Mn e Zn, por espectrofotometria de absorção atômica.

Em cada talhão, abriu-se uma trincheira com a finalidade de avaliar a profundidade do horizonte A e a cor, por intermédio de Carta de Munsell, dos horizontes A e B. Com o auxílio de anel volumétrico, retiraram-se duas amostras de solo em cada horizonte, para determinação das densidades aparentes e de partículas (EMBRAPA, 1997).

Para transformar a cor em um fator quantitativo, utilizou-se o índice de vermelho (IV = (10 - Matiz) x Cromo ÷ Valor), proposto por Torrent et al. (1980), e fator de vermelho (FV = (10 - Matiz) + (Croma ÷ Valor)), sugerido por Santana (1984).

Cada produtividade (média das máximas e média das mínimas) foi considerada como variável principal na análise de trilha. As variáveis explicativas (independentes) foram separadas em dois grupos: características da camada superficial (profundidade, cor, densidades e porosidade do horizonte A, PEA₅₀ e textura da camada de 0-20 cm) e da camada subsuperficial (cor, densidades e porosidade do horizonte B, textura e teor de elementos do ataque sulfúrico da camada de 30-50 cm). Quando duas variáveis independentes apresentaram elevada colinearidade ($r > 0,80$), uma delas foi excluída da análise, optando-se por manter aquela que gerou o modelo com maior coeficiente de determinação. Finalmente, foram aceitas as variáveis cujos efeitos diretos apresentaram significância até 10%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos talhões estudados neste trabalho, observaram-se diferentes materiais de origem dos solos. Foram identificadas as seguintes rochas: granito, gnaíse e gnaíse-anfibolítico. A associação do material de origem à posição do solo na paisagem (relevo e altitude) possibilitou a formação de ampla variação de solos: Latossolos Vermelho-Amarelo, solos com horizonte B textural e Cambissolos. Os Podzólicos formavam a classe de solo de maior domínio.

A produtividade média dos três anos mais produtivos (mais chuvosos) e dos três anos menos produtivos (mais secos) variou de 1.447 a 2.675 e de 705 a 1.976 kg por 1.000 plantas produtivas, respectivamente. Nos três anos mais chuvosos, a precipitação entre março e fevereiro, período de 12 meses de chuva que mais se correlacionou com a produção anual de cacau da lavoura em estudo (Souza Jr., 1997), variou de 1.136 a 1.590 mm e, nos três anos mais secos, de 723 a 897 mm.

No quadro 1, são dados os valores médios, máximos e mínimos das características físicas avaliadas na superfície (horizonte A ou camada de 0-20 cm) e na subsuperfície (horizonte B ou camada de 30-50 cm). Observa-se ampla variação da espessura do horizonte A, da densidade e porosidade dos horizontes e da textura dos solos dos talhões. Percebeu-se também grande variação entre os elementos dosados no extrato do ataque sulfúrico, em especial para K, Cu e Mn (Quadro 2).

Os baixos coeficientes de determinação encontrados indicam que as características físicas avaliadas na superfície explicaram pouco a produtividade do cacau. Tais características tiveram maior relação com a profundidade dos anos

Quadro 2. Teores médios, mínimos e máximos de elementos extraídos pelo ataque sulfúrico, na terra fina seca ao ar, na camada de 30-50 cm, de 36 talhões de cacau

Valor	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	K	Cu	Mn	Zn
	— g kg ⁻¹ —		— mg kg ⁻¹ —			
Médio	50	8,8	881	13,2	179	39,6
Mínimo	14	3,5	303	0,5	31	11,5
Máximo	89	13,2	4.267	28,8	549	57,0

mais secos do que com a dos anos mais chuvosos (Quadro 3), fato também observado na subsuperfície (Quadro 4).

Na subsuperfície, onde se avaliaram simultaneamente características físicas e derivadas do ataque sulfúrico, foram observados melhores coeficientes de determinação (Quadro 4) do que quando analisadas apenas as características físicas da superfície (Quadro 3).

Os valores absolutos dos efeitos, direto e total, bem como suas significâncias, indicam que a produtividade dos anos mais chuvosos se correlacionou melhor com as variáveis químicas (elementos extraídos pelo ataque sulfúrico) do que com as variáveis físicas avaliadas na subsuperfície (Quadro 4).

Independentemente da disponibilidade de água, os talhões mais produtivos foram os de horizonte A mais poroso. Todavia, sua espessura teve efeitos, direto e total, significativos apenas sobre a produtividade dos anos mais chuvosos (Quadro 3).

Quadro 1. Valores médios, mínimos e máximos das características físico-morfológicas⁽¹⁾, avaliadas na camada de 0-20 cm (ou horizonte A) e de 30-50 cm (ou horizonte B) do solo de 36 talhões de cacau

Valor	PEA ₅₀	ESPA	IV	FV	DA	DP	Po	AG	AF	Silte	Argila
	— cm —		— kg dm ⁻³ —				%	— g kg ⁻¹ —			
Camada de 0-20 cm ou horizonte A											
Médio	--	17	0,0	0,8	1,44	2,58	44	420	220	100	260
Mínimo	--	05	0,0	0,6	1,24	2,47	33	190	130	30	110
Máximo	--	40	0,0	1,3	1,75	2,67	52	570	350	180	560
Camada de 30-50 cm ou horizonte B											
Médio	46	--	2,5	3,2	1,46	2,65	45	330	180	110	380
Mínimo	36	--	0,0	0,6	1,21	2,56	32	170	110	40	140
Máximo	50	--	9,6	8,5	1,78	2,73	56	500	270	280	640

⁽¹⁾ Profundidade efetiva aparente até 50 cm (PEA₅₀); espessura do horizonte A (ESPA); índice de vermelho (IV), fator de vermelho (FV), densidade aparente (DA), densidade de partícula (DP) e porosidade (Po) dos horizontes; e teor de areia grossa (AG), areia fina (AF) nas camadas.

Quadro 3. Desdobramentos das correlações em efeitos diretos e indiretos⁽¹⁾, entre a produtividade média do cacau e características físicas da superfície do solo (camada de 0-20 cm ou do horizonte A) de 36 talhões de cacau

Variável	Espessura do A	Porosidade do A	Total ⁽²⁾
Considerando a média das maiores produtividades (anos mais chuvosos)			
Espessura do A	<u>0,29*</u>	-0,01	0,28*
Porosidade do A	-0,01	<u>0,30*</u>	0,29*
R ² = 0,17*; efeito da variável residual = 0,91			
Variável	Porosidade do A	Silte de 0-20 cm	Total ⁽²⁾
Considerando a média das menores produtividades (anos mais secos)			
Porosidade do A	<u>0,32*</u>	-0,06	0,26°
Silte de 0-20 cm	0,04	<u>-0,42**</u>	-0,38*
R ² = 0,24*; efeito da variável residual = 0,87			

⁽¹⁾ Leituras dos efeitos diretos na diagonal (sublinhado) e dos efeitos indiretos na horizontal. ⁽²⁾ Coeficiente de correlação linear simples (r). **, * e ° significativos a 1, 5 e 10%, respectivamente, pelo teste F.

Quadro 4. Desdobramentos das correlações em efeitos diretos e indiretos⁽¹⁾, entre a produtividade média do cacau e características físicas da subsuperfície do solo (camada de 30-50 cm ou do horizonte B) e teores de alguns elementos extraídos pelo ataque sulfúrico (camada de 30-50 cm), de 36 talhões de cacau

Variável	Areia grossa de 30-50 cm	K	Mn	Total ⁽²⁾
Considerando a média das maiores produtividades (anos mais chuvosos)				
Areia grossa de 30-50 cm	<u>-0,36*</u>	0,20	0,10	-0,08
K	0,13	<u>-0,58*</u>	-0,03	-0,26°
Mn	-0,08	0,04	<u>0,43**</u>	0,42**
R ² = 0,31*; efeito da variável residual = 0,83				
Variável	Porosidade do B	Silte de 30-50cm	Zn	Total ⁽²⁾
Considerando a média das menores produtividades (anos mais secos)				
Porosidade do B	<u>0,21°</u>	0,11	0,05	0,37*
Silte de 30-50 cm	-0,07	<u>-0,33*</u>	-0,06	-0,46**
Zn	0,04	0,07	<u>0,28*</u>	0,39**
R ² = 0,34*; efeito da variável residual = 0,81				

⁽¹⁾ Leituras dos efeitos diretos na diagonal (sublinhado) e dos efeitos indiretos na horizontal. ⁽²⁾ Coeficiente de correlação linear simples (r). **, * e ° significativos a 1, 5 e 10%, respectivamente, pelo teste F.

A maior porosidade do horizonte B também favoreceu o aumento da produtividade dos anos mais secos (Quadro 4). Cadima Z. & Alvim (1973) não encontraram qualquer correlação da porosidade ou da densidades do solo com a produtividade do cacau.

É válido ressaltar que, como a densidade de partícula variou pouco (Quadro 1), a porosidade apresentou alta co-variância com a densidade aparente, ou seja, horizontes mais porosos seriam

sinônimos de horizontes menos densos, e mais propícios para o desenvolvimento do cacau (Yaw, 1981).

Para os anos mais chuvosos, a textura da camada de 0-20 cm não apresentou efeitos, direto ou total, significativos (p > 0,10) sobre a produtividade. Já a areia grossa da camada de 30-50 cm apontou efeito direto, significativo e negativo, nas maiores produtividades (Quadro 4). Correia (1993), trabalhando

com análise de trilha, concluiu que, dentre as características físicas avaliadas, as que mais prejudicaram a produtividade do eucalipto foram os teores de areia grossa e areia fina na profundidade de 90-110 cm.

Para os anos mais secos, os solos mais siltosos, tanto na superfície (Quadro 3) quanto na subsuperfície (Quadro 4), foram os menos produtivos, possivelmente por apresentarem menor agregação, menor capacidade de retenção de água e maiores impedimentos físicos que dificultam o desenvolvimento normal do sistema radicular. Isto indica que, diferentemente do sugerido por Garcia et al. (1985), os solos mais siltosos não seriam apropriados para o cultivo do cacau, em regiões sujeitas a estiagens.

Além do silte, outras frações do solo, apesar de não apresentarem efeitos diretos significativos ($p > 0,10$), correlacionaram-se significativamente com a produtividade do cacau nos anos mais secos: areia fina da superfície ($r = -0,28$, $p < 0,10$) e argila ($r = 0,25$, $p < 0,10$) e areia fina da subsuperfície ($r = -0,26$, $p < 0,10$). Isso confirma que solos mais argilosos são mais indicados para regiões sujeitas à escassez de chuvas (Braudeau, 1970). Cadima Z. & Alvim (1973) não encontraram correlações significativas entre a produtividade média de três anos, de 14 propriedades de cacau, com o teor de argila dos horizontes A e B, porém constataram correlação significativa e negativa entre o teor de argila no horizonte C e a produtividade. Esses autores alertam que a menor aeração do solo pode ser a causa dessa correlação, de modo que esses resultados podem ter sido obtidos em anos mais chuvosos, em que a maior quantidade de argila poderia estar dificultando a drenagem do solo. O teor médio de argila do horizonte C encontrado por esses autores, 480 g kg^{-1} , foi superior ao médio determinado neste trabalho, na profundidade de 30-50 cm, que foi de 380 g kg^{-1} .

A cor do solo não se apresentou como uma boa característica para identificar áreas de cacau com diferentes potenciais produtivos. O índice e o fator de vermelho não apresentaram efeitos, direto ou total, significativos ($p > 0,10$) sobre as produtividades.

No horizonte A, esse fato se deve ao maior teor de matéria orgânica, cujo poder pigmentante nesses solos homogeneiza sua coloração para cores mais escuras. No horizonte B, 72% dos perfis analisados apresentaram matizes entre 10 YR e 7,5 YR, revelando também uma pequena distinção da cor, com predomínio do vermelho-amarelado.

Independentemente da produtividade considerada, a PEA_{50} , variável que reflete a profundidade de ocorrência de pedras ou cascalho ao longo do perfil do solo até à profundidade de 50 cm, não foi uma característica essencial para explicar as diferenças de produtividades. Tanto seu efeito direto quanto sua correlação linear simples com a produtividade não foram significativos ($p > 0,10$).

O manganês extraído pelo ataque sulfúrico correlacionou-se positiva e significativamente com a produtividade dos anos mais chuvosos (Quadro 4). Outros micronutrientes catiônicos e o Ti também apresentaram correlação linear simples significativa com a média das maiores produtividades: 0,49 ($p < 0,01$) para o Zn, 0,37 ($p < 0,05$) para o Ti, 0,33 ($p < 0,05$) para o Cu e 0,31 ($p < 0,05$) para o Fe.

Nos anos mais secos, o Zn do ataque sulfúrico mostrou correlação significativa com a produtividade (Quadro 4). Outros elementos do ataque sulfúrico também apresentaram correlação linear simples, positiva e significativa, com a média das menores produtividades: 0,34 ($p < 0,05$) para o Fe, 0,28 ($p < 0,05$) para o Ti e 0,27 ($p < 0,10$) para o Cu.

A afinidade geoquímica entre esses elementos é alta (Chesworth, 1991; Alloway, 1993; Ker, 1995), ou seja, a co-variância entre eles é alta e, conseqüentemente, alta correlação de um deles com a produtividade não necessariamente indica que haja uma relação direta entre o teor do referido elemento e a produtividade. Essa afinidade geoquímica é confirmada pelas correlações observadas entre os teores de Cu, Fe, Mn, Zn e Ti do ataque sulfúrico (Quadro 5). Destes elementos, apenas a correlação entre o Fe e o Mn mostrou-se não-significativa (Quadro 5).

Quadro 5. Coeficientes de correlação linear simples (r) entre alguns elementos extraídos pelo ataque sulfúrico (AS) e, desses, com micronutrientes extraídos pelo Mehlich-1 (M1), na terra fina seca ao ar, na camada de 30-50 cm, de 36 talhões de cacau

	Ti _{AS}	Cu _{AS}	Mn _{AS}	Zn _{AS}	K _{AS}	Fe _{M1}	Cu _{M1}	Mn _{M1}	Zn _{M1}
Fe _{AS}	0,54***	0,53***	0,16 ^{ns}	0,53***	-0,25°	-0,69***	0,04 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	-0,19 ^{ns}
Ti _{AS}		0,63***	0,46**	0,65***	-0,39**	-0,23°	0,46**	0,29*	0,16 ^{ns}
Cu _{AS}			0,67***	0,83***	-0,22°	-0,29*	0,78***	0,56***	0,23°
Mn _{AS}				0,68***	-0,06 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	0,78***	0,72***	0,24°
Zn _{AS}					-0,50**	-0,25°	0,74***	0,56***	0,46**

***, **, * e ° significativos a 0,1; 1; 5 e 10%, respectivamente.

O cobre, o manganês e o zinco do ataque sulfúrico, além de se correlacionarem significativamente entre si, também apresentaram correlações significativas com suas formas disponíveis, extraídas pelo Mehlich-1 (Quadro 5). Conseqüentemente, qualquer um desses três nutrientes, dosados no extrato do ataque sulfúrico, poderia ser utilizado em avaliação conjunta da fertilidade do solo nesses três micronutrientes. É válido ressaltar que não foi feita adubação com micronutrientes em nenhum talhão estudado.

No quadro 5, outra correlação que chama atenção é a entre a forma de Fe extraído pelo ataque sulfúrico e pelo Mehlich-1, que é elevada, porém com sinal negativo, indicando uma relação inversa entre as duas formas de Fe no solo. Isto pode ser entendido da seguinte forma: solos mais ricos em Fe total têm esse elemento predominantemente na forma oxidada (Besoain, 1985), de baixíssima solubilidade (Lindsay, 1979), enquanto os solos que estão sujeitos à redução têm maior teor de Fe solúvel, o qual pode ser gradativamente removido do solo e, conseqüentemente, diminuir o teor total Fe. Vários trabalhos, como os de Mello et al. (1992); Borges Jr. et al. (1998), sugerem que a solução de Mehlich-1 extrai parte do Fe amorfo dos solos, considerando a ocorrência de maiores teores de Fe extraído pelo Mehlich-1 em solos com alta relação Fe-oxalato/Fe-ditionito.

Observaram-se correlações significativas e negativas entre os teores de K e os teores de Zn, Ti, Fe e Cu determinados no ataque sulfúrico (Quadro 5). O potássio é um elemento mais abundante em rochas ácidas, ricas em feldspatos de K e micas, e em alguns materiais retrabalhados, ricos principalmente em muscovita. Conseqüentemente, solos pobres em minerais ferromagnesianos têm, geralmente, menores teores de Ca, Mg, P e elementos traço (Mason, 1971; Minette, 1985; Alloway, 1993). Tal observação auxiliaria entender a correlação significativa e negativa entre o K com a produtividade dos anos mais chuvosos (Quadro 4). Melo et al. (1995), estudando formas de K, em horizontes de oito solos do Rio Grande do Sul, não encontraram correlação significativa entre o potássio do ataque sulfúrico e a produtividade de eucalipto, porém verificaram alguma correlação com o conteúdo de K nos componentes da parte aérea. As melhores correlações, verificadas por esses autores entre produtividade ou conteúdo do nutriente na planta, foram com o K não trocável, extraído com ácido nítrico a quente.

CONCLUSÕES

1. De modo geral, os fatores físicos correlacionaram-se melhor com a produtividade dos anos mais secos, enquanto os elementos obtidos pelo ataque sulfúrico correlacionaram-se melhor com a produtividade dos anos mais chuvosos.

2. Dentre os fatores físicos estudados, a espessura do horizonte A e a porosidade do solo influenciaram na produtividade do cacauzeiro. Nos anos mais secos, os talhões com solos de textura mais fina foram os mais produtivos.

3. Os solos mais ricos em micronutrientes catiônicos e Ti e mais pobres em K, extraídos pelo ataque sulfúrico, foram os mais produtivos. O teor de qualquer um dos elementos Cu, Mn ou Zn, extraível pelo ataque sulfúrico, mostrou-se bom indicador da fertilidade natural dos solos no que se refere a micronutrientes catiônicos para o cacauzeiro.

4. A presença de cascalho ou pedras até à profundidade avaliada (50 cm) e a cor dos horizontes do solo não se correlacionaram significativamente com a produtividade das plantas.

LITERATURA CITADA

- AHENKORAH, Y. The influence of environment on growth and production of the cacao tree: soils and nutrition. In: CONFERENCE INTERNACIONALE SUR LA RECHERCHE CACAOYERE, 7., Douala, 1979. Actes. Lagos, Cocoa Producers' Alliance, 1981. p.167-176.
- ALLOWAY, B.J. The origins of heavy metals in soils. In: ALLOWAY, B.J., ed. Heavy metals in soils. London, Blackie Academic & Professional, 1993. p.29-39.
- ALMEIDA, H.A. Influência de elementos meteorológicos no lançamento foliar, na floração e frutificação do cacauzeiro (*Theobroma cacao* L.). Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1986. 111p. (Tese de Mestrado)
- ALVIM, P.T. Relações entre fatores climáticos e produção do cacauzeiro. In: CONFERENCIA INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN EM CACAO, 10., Santo Domingo, 1987. Actas. Lagos, Cocoa Producers' Alliance, 1988. p.159-167.
- BESOAIN, E. Mineralogía de arcilas de suelos. San José, IICA, 1985. 1216p.
- BONDAR, G. A cultura de cacao na Bahia. São Paulo, Revista dos Tribunaes, Instituto de Cacao da Bahia, 1938. 205p.
- BORGES Jr., M.; MELLO, J.W.V.; RIBEIRO, A.C. & SOARES, P.C. Avaliação de critérios para calagem de arroz inundado em casa de vegetação. R. Bras. Ci. Solo, 22:281-289, 1998.
- BRAUDEAU, J. El cacao. Traducción: HERNÁNDEZ CARDONA, A.M. Barcelona, Blume, 1970. 297p.
- CADIMA Z., A. & ALVIM, P.T. Algunos factores del suelo asociados con la productividad del cacaoero en Bahia, Brazil. R. Theobroma, 3:13-26, 1973.
- CAMARGO, M.N.; KLAMT, E. & KAUFFMAN, J.H. Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil. Campinas, B. Inf. SBCS, 12:11-33, 1987.
- CARMO, D.N.; RESENDE, M. & SILVA, T.C.A. Avaliação da aptidão das terras para eucalipto. In: BARROS, N.F. & NOVAIS, R.F., eds. Relação solo-eucalipto. Viçosa, Folha de Viçosa, 1990. p.187-235.

- CHESWORTH, W. Geochemistry of micronutrients. In: MORTVEDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M. & WELCH, R.M., eds. *Micronutrients in agriculture*. 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, 1991. p.1-30.
- CORREIA, J.R. *Uso de técnicas multivariadas no estudo das inter-relações de características do solo e a produtividade de eucalipto*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1993. 106p. (Tese de Mestrado)
- CURI, N. & FRANSMEIER, D.P. Effect of parent rocks on chemical and mineralogical properties of some oxisols in Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51:153-158, 1987.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos. *Manual de métodos de análise do solo*. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- GARCIA, J.J.S.; MORAIS, F.I.O.; ALMEIDA, L.C. & DIAS, J.C. Sistema de produção do cacauero na amazônia brasileira. Belém, CEPLAC/DEPEA, 1985. 118p.
- GRAMACHO, I.C.P.; MAGNO, A.E.S.; MANDARINO, E.P. & MATOS, A. Cultivo e beneficiamento do cacau na Bahia. Ilhéus, CEPLAC, 1992. 124p.
- HARDY, Cacao manual. Turrialba, Inter-American Institute of Agricultural Sciences, 1960. 395p.
- KER, J.C. Mineralogia, sorção e dessorção de fosfato, magnetização e elementos traços de Latossolos do Brasil. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1995. 181p. (Tese de Doutorado)
- LEPSCH, I.F.; BELLINAZZI Jr., R.; BERTOLINI, D. & ESPÍNDOLA, C.R. Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. 4ª aproximação, Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175p.
- LINDSAY, W.L. *Chemical equilibrium in soils*. New York, John Wiley & Sons, 1979. 449p.
- MASON, B. *Princípios de geoquímica*. Tradução de FRANCO, R.R. São Paulo, Polígono, 1971. 381p.
- MELLO, J.W.V.; FONTES, M.P.F.; RIBEIRO, A.C. & ALVAREZ V., V.H. Inundação e calagem em solos de várzea: I. Alterações de pH, Eh e teores de Fe²⁺ e Mn²⁺ em solução. *R. Bras. Ci. Solo*, 16:309-317, 1992.
- MELO, V.F.; BARROS, N.F.; COSTA, L.M.; NOVAIS, R.F. & FONTES, M.P.F. Formas de potássio e de magnésio em solos do Rio Grande do Sul, e sua relação com o conteúdo na planta e com a produção em plantios de eucalipto. *R. Bras. Ci. Solo*, 19:165-171, 1995.
- MINETTE, E. *Geologia de engenharia: glossário de termos técnicos*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1985. 43p. (Apostila, 207)
- MOURA FILHO, W. *Métodos de campo e laboratório: levantamento e física do solo*. Viçosa, Universidade Rural do Estado de Minas Gerais, 1964. 24p.
- OLIVEIRA, J.B.; JACOMINE, P.K.Y. & CAMARGO, M.N. *Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento*. 2.ed. Jaboticabal, FUNEP, 1992. 201p.
- RESENDE, M.; BAHIA FILHO, A.F.C. & BRAGA, J.M. Mineralogia da argila de Latossolos estimada por alocação a partir do teor total de óxidos do ataque sulfúrico. *R. Bras. Ci. Solo*, 11:17-23, 1987.
- SANTANA, D.P. Soil formation in a toposequence of Oxisols from Patos de Minas region, Minas Gerais state, Brazil. West Lafayette, Purdue University, 1984. 129p. (Tese de Doutorado)
- SCERNE, R.M.C. *Estudo agroclimático do cacauero (Theobroma cacao L.)*, em Belém, PA. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1988. 64p. (Tese de Mestrado)
- SOUZA Jr., J.O. *Fatores edafoclimáticos que influenciam a produtividade do cacauero cultivado no sul da Bahia, Brasil*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 146p. (Tese de Mestrado)
- TORRENT, J.; SCHWERTMANN, U. & SCHULZE, D.G. Iron oxide mineralogy of some soils of two river terrace sequences in Spain. *Geoderma*, 23:191-208, 1980.
- YAW, A. The influence of environment on growth and production of the cacao tree: soils and nutrition. In: CONFERENCE INTERNACIONALE SUR LA RECHERCHE CACAOYERE, 7., Douala, 1979. Actes Lagos, Cocoa Producers' Alliance, 1981. p.167-176.