

ABSORÇÃO DIFERENCIAL DE FÓSFORO EM CULTIVARES DE CACAU¹

PERCY CABALA ROSAND² e ANTONIO H. MARIANO³

RESUMO - Foi realizado experimento, em casa de vegetação, em solução nutritiva de Hoagland modificada (0,2 da concentração), comparando-se as cultivares de cacau SIC 864 x; SIC 328, SIC 823 x ICS 1, SIC 831 x Sca 6, SIC 831 x IMC 67 e Catongo de polinização livre. O objetivo foi o de verificar quais as mais eficientes na absorção de nutrientes e na tolerância à acidez do solo. Utilizou-se o desenho experimental inteiramente casualizado, com três repetições. Avaliou-se o desenvolvimento e absorção de fósforo a 0, 10, 20, 30, 40, 60 e 90 dias após o transplante. As produções de massa seca e o conteúdo de fósforo evidenciaram a superioridade da combinação SIC 831 x Sca 6, que apresentou também maior área foliar, e também maior área e comprimento das raízes secundárias. O desenvolvimento das cultivares em função do tempo ajustou-se segundo uma função exponencial, mostrando, para massa seca e conteúdo de fósforo nas folhas, superioridade da combinação SIC 831 x Sca 6, seguida da SIC 831 x IMC 67, em todos os períodos. A cultivar Catongo apresentou o pior desempenho. Verificou-se uma estreita associação entre a absorção de fósforo e o comprimento e área das raízes secundárias. Quando considerado o fluxo de fósforo por unidade de área ou comprimento da raiz, a diferenciação entre os híbridos foi menor, sendo, porém, acentuada com relação à cultivar Catongo. A extensão do sistema radicular das cultivares, portanto, influi significativamente na absorção de fósforo.

Termos para indexação: Theobroma cacao, cultivares, nutrição fosfatada.

DIFFERENTIAL PHOSPHORUS ABSORPTION BY CACAO VARIETIES

ABSTRACT - An experiment was carried out in greenhouse, in a modified Hoagland solution (0.2 of the concentration), comparing the cacao cultivar crosses SIC 864 x SIC 328, SIC 823 x ICS 1, SIC 831 x Sca 6, SIC 831 x IMC 67 and Catongo from open pollination, to determine which of them were the most efficient in nutrient absorption and in tolerance to soil acidity. A completely randomized design was used with three replications. Growth, leaf area, root development and P content at 0, 10, 20, 30, 40, 60 and 90 days from transplanting were measured. For total dry matter production and P content SIC 831 x Sca 6 was superior to the other cultivars, and also had both higher secondary root surface and length and also larger leaf area. An exponential equation for cultivar growth in relation to time was suitable for adjusting the experimental data and again SIC 831 x Sca 6, followed by SIC 831 x IMC 67, were superior in all periods. 'Catongo' showed the worst performance. A high correlation between the dry matter content of the secondary roots and P absorption was found. It was concluded, therefore, that the extension of the root system strongly influenced the P absorption capacity of the five cultivars.

Index terms: *Theobroma cacao* varieties, phosphorus nutrition.

INTRODUÇÃO

O fósforo é o nutriente comumente deficiente em solos do sul da Bahia. A ele são creditadas maiores respostas do cacauzeiro, tanto em produção de biomassa, como em produção de amêndoas (Cabala-Rosand & Santana 1972, Cabala-Rosand et al. 1982), constituindo-se, por isso, o nutriente mais recomendado e também usado em maiores dosagens (Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira 1978).

Para reduzir o custo de adubação fosfatada procura-se aumentar a utilização do fósforo nativo no solo, empregar fontes alternativas (rochas fosfatadas), usar informações sobre a reciclagem de nutrientes, bem como selecionar cultivares mais eficientes na absorção de fósforo.

As diferenças entre espécies com relação à absorção de nutrientes têm sido tópico extensamente investigado e abordado sob diferentes prismas. A mais elevada capacidade da seringueira em absorver nutrientes em relação ao cacauzeiro tem sido explicada pela maior taxa de crescimento relativo e também maior intensidade respiratória do sistema radicular (Alvim et al. 1969). Verificou-se, porém, em solos australianos, que a maior capacidade do trigo sarraceno em extrair fósforo

¹ Aceito para publicação em 23 de novembro de 1984.

² Eng. - Agr., M.Sc., Ph.D., CEPLAC/Centro de Pesquisas do Cacau (CEPEC), Caixa Postal 07, CEP 45600 Itabuna, BA.

³ Eng. - Agr., M.Sc., CEPLAC/CEPEC.

não estava relacionada com a taxa de respiração das raízes e sim com alterações no pH do solo (McLachlan 1976).

Espécies que apresentam elevada capacidade de troca catiônica no sistema radicular também têm sido consideradas como mais eficientes na absorção do fósforo nativo e do fósforo de rochas fosfatadas aplicadas ao solo (Drake & Steckel 1955). A ligação do Ca com os colóides das raízes propiciaria a dissolução dos cristais da rocha fosfatada, enquanto a complexação do Al e Fe por ânions orgânicos solubilizaria fosfatos ligados a esses elementos.

As alterações no pH do solo provocadas pela atividade da própria planta têm sido explicadas pelo balanço catiônico e aniônico na planta que pode ser afetado pela fonte nitrogenada (Kirkby 1969). A absorção de N-NH₄ provocou o aumento da absorção de fósforo pela soja (*Glycine max*) e também pelo *Paspalum plicatulum* (Riley & Barber 1971, Cabala-Rosand & Wild 1982).

Quanto às características da planta, a geometria e a densidade do sistema radicular constituem características que devem influenciar a absorção de nutrientes (Barber 1979), destacando-se, de modo mais específico, a intensidade como se processa essa absorção em função da área ou comprimento da raiz (Nye & Tinker 1977). Quando a taxa de absorção de um nutriente em função do tempo é expressa considerando também o comprimento da raiz, obtém-se o fluxo desse elemento. Procedimento semelhante pode ser adotado com relação à área de absorção (Brewster & Tinker 1972).

Embora tenham sido derivadas diversas equações para calcular a absorção de nutrientes pelas raízes das plantas, chegou-se à conclusão de que o método mais indicado consiste em medir o conteúdo de nutrientes na planta a diferentes tempos (Brewster & Tinker 1972). Um ajuste posterior de uma equação de regressão permitirá a diferenciação com relação ao tempo, podendo-se calcular com relação a qualquer uma das unidades em que se efetuou a medição do sistema radicular (comprimento, área ou massa).

No presente trabalho, compararam-se cinco cultivares de cacau no que se relaciona à velocidade de crescimento e capacidade de absorção de fós-

foro do meio de crescimento, em sete períodos preestabelecidos.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação da Divisão de Geociências, do Centro de Pesquisas do Cacau, utilizando a solução nutritiva de Hoagland modificada (1/5 da concentração) e com a seguinte composição em $\mu\text{g ml}^{-1}$: Ca = 39,5; Mg = 9,9; P = 6,3; N-NO₃ = 26,1; N-NH₄ = 16,3; K = 49,5; Zn = 0,03; Mn = 0,08; Cu = 0,03; Fe = 0,52; e B = 0,07. Utilizou-se um sistema de circulação forçada em que, a cada três horas durante o dia e quatro horas durante a noite, ativava-se o sistema de circulação pelo espaço de 15-20 minutos. As plantas foram cultivadas na solução nutritiva contida em caixas de madeira, revestidas internamente com plástico, tendo sido fixadas com espuma plástica em furos circulares abertos nas tampas.

Periodicamente, coletavam-se amostras da solução nutritiva após a ativação do sistema, constatando-se pequenas variações em relação ao início; ocorreram reduções de Ca, Mg, P, N-NO₃, N-NH₄ e K na quarta e quinta amostragem, ou seja quando as plantas estavam mais desenvolvidas. Após cada análise, procedia-se às complementações necessárias, sendo que, no caso dos elementos menores, à exceção do boro, as alterações foram muito pequenas, não detectáveis pelos métodos de análise empregados.

Utilizou-se o esquema inteiramente casualizado, com três repetições, onde as cultivares SIC 823 x ICS 1, SIC 831 x Sca 6, SIC 831 x IMC 67, SIC 864 x SIC 328, e Catongo (polinização livre) cresceram durante 0, 10, 20, 30, 40, 60 e 90 dias. A unidade experimental constou de três plântulas, que foram colocadas nas bandejas, decorrida uma semana da germinação. Após a adaptação das plantas ao meio de crescimento procedeu-se à retirada dos cotilédones.

A data do transplante foi considerada como o tempo zero e, nessa ocasião, procedeu-se à medição da altura, área foliar, massa fresca e massa seca (70°C-75°C), em três plantas de cada cultivar. Foram também medidos o comprimento e a massa fresca e seca da raiz principal, registrando também a massa fresca e seca das raízes secundárias. Uma parte destas (25% a 50%) foi conservada na solução FAA (formol, álcool e ácido acético) para determinação do comprimento das raízes. Utilizou-se a técnica modificada de Newman (1966) fazendo a medição em uma placa com 64 quadrantes (8 x 8), que permite realizar medidas bastante precisas até 1,50 m de comprimento. Para a determinação dos diâmetros considerou-se a massa fresca das raízes em que cada g corresponderia ao volume de 1 cm³. O comprimento da raiz principal foi medido diretamente com régua, e o diâmetro superior, com paquímetro.

Mediu-se a área foliar utilizando folhas de papel acetinado, recortadas conforme o formato de cada folha, e

relacionando a massa do papel recortado com a massa de uma área conhecida do mesmo papel (100 cm²), submetido previamente à temperatura de 75°C.

Em cada um dos períodos preestabelecidos, foram colhidas três repetições (nove plantas) de cada uma das cultivares, para registro das variáveis anteriormente descritas. Após a determinação das produções de matéria seca da parte aérea e das raízes, procedeu-se à moagem das plantas, submetendo-se uma parte (50 mg - 100 mg) ao ataque com os ácidos nítrico, perclórico e sulfúrico 10:4:1 (v:v:v). Após a digestão do material, elevou-se o volume do extrato para 50 ml, com água destilada, e dosou-se o fósforo pelo método Murphy e Riley, descrito por Watanabe & Olsen (1965).

A interpretação de resultados constou da análise de variância para cada variável de resposta, ajustando-se, posteriormente, regressões para essas variáveis em função do tempo. Para a massa seca, comprimento e superfície das raízes secundárias, efetuou-se o cálculo das correlações em que essas variáveis foram comparadas com a absorção de fósforo.

Para cálculo do fluxo de fósforo em cada cultivar por cm² de superfície radicular ou metro linear de raiz, utilizou-se a equação de fluxo (Inflow), apresentada por Nye & Tinker (1977), e consideraram-se os valores de área e comprimento de raiz, registrados aos 0 e 90 dias. No caso do fósforo, consideraram-se os valores obtidos a partir da equação de regressão que propiciou melhor ajuste dos dados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Produção de massa e conteúdo de fósforo

As análises estatísticas para as produções globais das cinco cultivares em que se considerou o somatório das massas das folhas, caule e raízes, evidenciaram uma superioridade ($P < 0,05$) da combinação SIC 831 x Sca 6 sobre as três combinações que, por sua vez, se diferenciaram estatisticamente ($P < 0,01$) da cultivar Catongo de polinização livre. A mesma tendência se manifestou para a variável conteúdo de fósforo nas plantas.

As produções de biomassa nas folhas e nas raízes secundárias, bem como o conteúdo de fósforo nessas partes evidenciaram a mesma diferenciação entre a cultivar SIC 831 x Sca 6 e as demais. Verificou-se, todavia, que, no caso dos caules, essa combinação apresenta um desempenho similar ao das cultivares SIC 823 x ICS 1, SIC 864 x SIC 328 e SIC 831 x IMC 67. Para todas essas variáveis a cultivar Catongo foi inferior às combinações híbridos (Tabela 1).

Quando consideradas essas variáveis em relação ao tempo, confirmou-se a diferenciação entre as cultivares ensaiadas. Com relação à massa seca das folhas e conteúdo de fósforo nesses órgãos, destacou-se a superioridade da combinação SIC 831 x Sca 6, em todos os períodos, seguida das cultivares SIC 823 x ICS 1 e SIC 831 x IMC 67 (Fig. 1).

O ajuste dos dados, após transformação logarítmica (natural), evidenciou, na maioria dos casos, uma distribuição exponencial, já referida para explicar o crescimento de plantas (Radford 1967). Em todos os casos, os coeficientes de determinação foram elevados e explicam a variância em mais de 96%. Utilizando-se essas equações, calcularam-se as taxas de crescimento e de absorção de fósforo para cada cultivar, considerando-se toda a planta, e também o crescimento de raízes secundárias (Tabela 2). A taxa de crescimento médio (produção de biomassa) foi maior nas cultivares SIC 831 x Sca 6 e SIC 831 x IMC 67, situando-se em posição intermediária as cultivares SIC 864 x SIC 328 e SIC 823 x ICS 1, enquanto que a cultivar Catongo apresentou a menor taxa de crescimento. Quanto à absorção de fósforo, obteve-se a seguinte sequência: SIC 831 x Sca 6 > SIC 831 x IMC 67 > SIC 823 x ICS 1 > SIC 864 x SIC 328 > Catongo. A mesma tendência observou-se para as taxas de desenvolvimento da área foliar e conteúdo de fósforo nas folhas. A cultivar Catongo apresentou, neste experimento, um desempenho marcadamente inferior ao assinalado por Grangier Júnior & Alvim (1964).

Desenvolvimento do sistema radicular

Aos dez dias, a massa das raízes secundárias mostrou-se mais baixa que na data do transplante (0 dia), em decorrência, certamente, da adaptação das plantas ao meio de crescimento. A partir dos 20 dias, observou-se incremento de massa em todas as cultivares.

No cômputo global, a massa seca das raízes secundárias evidenciou uma superioridade consistente das combinações SIC 831 x Sca 6 e SIC 831 x IMC 67. O desenvolvimento das raízes secundárias, em função do tempo, confirmou a mesma diferenciação entre cultivares com relação ao crescimento das plantas.

TABELA 1. Produção de biomassa, área foliar e absorção de fósforo apresentadas pelas cinco cultivares de cacau.

Variável	Combinações híbridas				Catongo ¹
	SIC 864 x SIC 328	SIC 823 x ICS 1	SIC 831 x SCA 6	SIC 831 x IMC 67	
Massa seca folhas (g. planta ⁻¹)	0,9589	1,0718	1,2305	1,0390	0,7285
Fósforo folhas (mg. planta ⁻¹)	10,435	11,346	14,434	10,761	4,085
Massa do caule (g. planta ⁻¹)	0,4615	0,5454	0,5441	0,4993	0,3761
Fósforo caule (mg. planta ⁻¹)	5,50	6,39	6,89	6,38	4,38
Massa raiz (g. planta ⁻¹)	0,2433	0,2575	0,3123	0,2808	0,1985
Fósforo raiz (mg. planta ⁻¹)	1,379	1,751	2,290	2,105	1,155
Raízes secundárias (g. planta ⁻¹)	0,120	0,104	0,152	0,139	0,083
Área foliar (cm ² . planta ⁻¹)	466,65	497,54	514,47	477,59	350,76
Massa total ²	1,6637	1,8747	2,0869	1,8191	1,3031
Conteúdo total ³	17,314	19,487	23,614	19,246	9,620

¹ Polinização livre² DMS (5%) = 0,15662³ DMS (5%) = 3,7204

TABELA 2. Equações de regressão utilizadas para o cálculo das taxas de incremento médio de massa e incremento médio de fósforo com relação ao tempo.

Variável	Cultivar	Equação	R ²	Taxa
Massa da planta	SIC 864 x SIC 328	$\text{Ln } y = -1,2386 + 0,0346 t$	0,9758	69,5 ¹
	SIC 823 x ICS 1	$\text{Ln } y = -1,0813 + 0,0338 t$	0,9931	75,4 ¹
	SIC 831 x Sca 6	$\text{Ln } y = -1,0984 + 0,0363 t$	0,9632	93,6 ¹
	SIC 831 x IMC 67	$\text{Ln } y = -1,1995 + 0,0356 t$	0,9786	79,0 ¹
	Catongo	$\text{Ln } y = -1,4571 + 0,0340 t$	0,9862	52,4 ¹
Conteúdo de fósforo	SIC 864 x SIC 328	$\text{Ln } y = 0,4474 + 0,0420 t$	0,9815	743,0 ²
	SIC 823 x ICS 1	$\text{Ln } y = 0,5660 + 0,0418 t$	0,9793	823,8 ²
	SIC 831 x Sca 6	$\text{Ln } y = 0,5335 + 0,0455 t$	0,9895	1.122,6 ²
	SIC 831 x IMC 67	$\text{Ln } y = 0,4908 + 0,0436 t$	0,9908	904,7 ²
	Catongo	$\text{Ln } y = 0,3900 + 0,0354 t$	0,9895	382,5 ²

¹ = mg planta⁻¹ dia⁻¹² = µg planta⁻¹ dia⁻¹

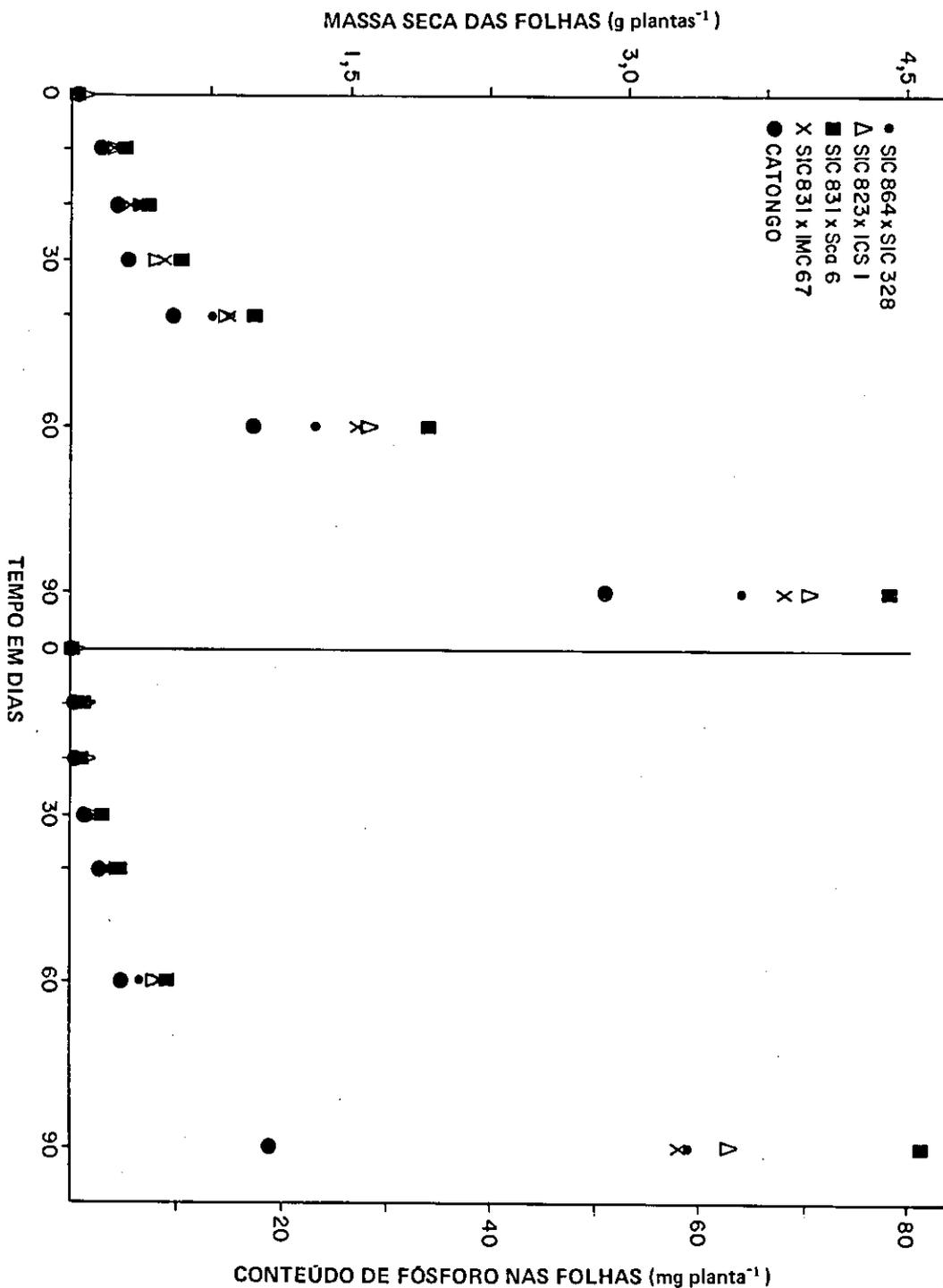


FIG. 1. Produção de massa seca e conteúdo de fósforo nas folhas das cinco cultivares de cacau.

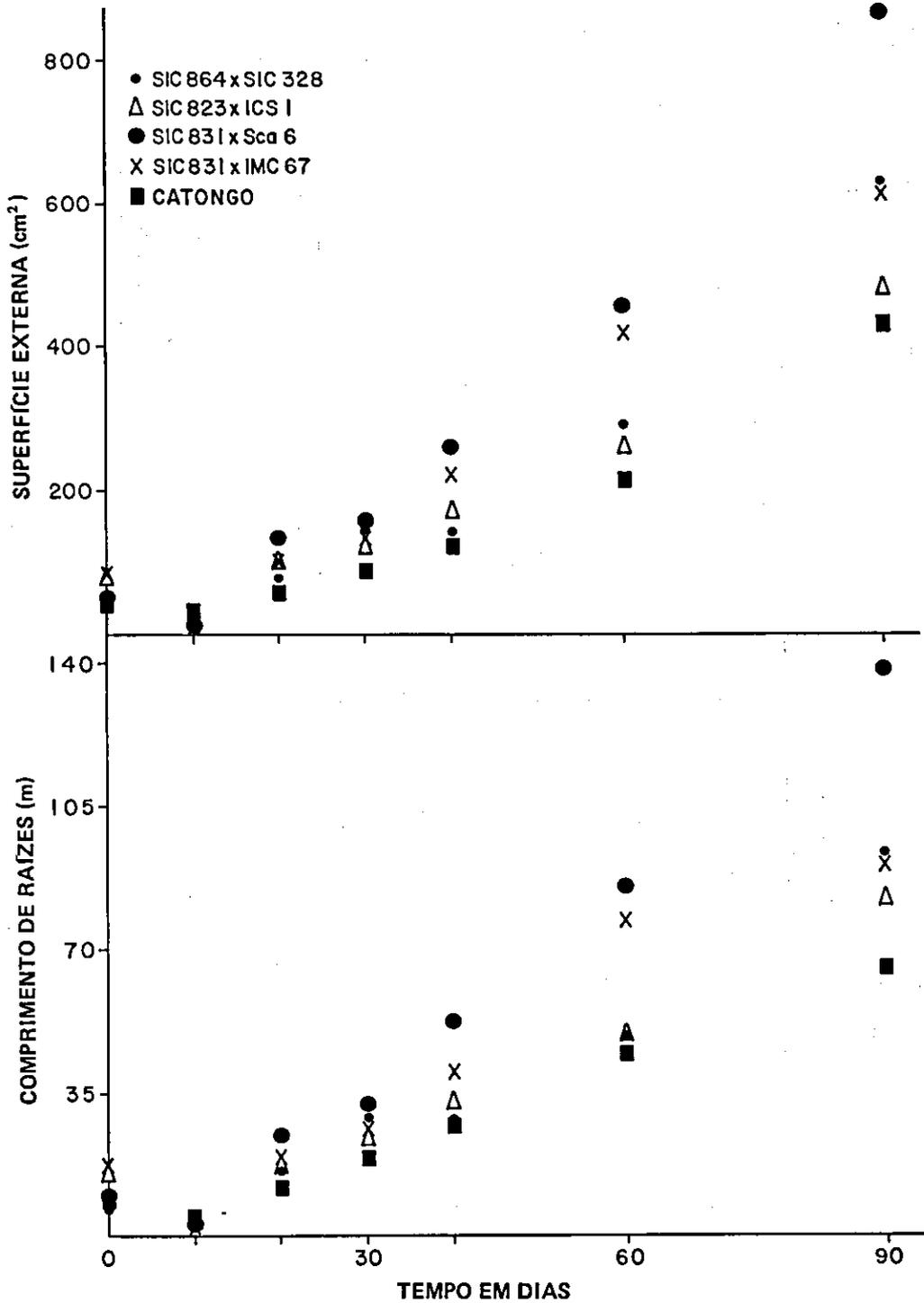


FIG. 2. Diferenciação entre comprimento e superfície de raiz nas cinco cultivares de cacau.

Quando se considerou o desenvolvimento da superfície externa das raízes secundárias e o seu comprimento em relação ao tempo, confirmou-se a diferenciação entre cultivares (Fig. 2). As combinações SIC 831 x Sca 6 e SIC 831 x IMC 67, de modo geral, superaram os demais híbridos, enquanto que a cultivar Catongo apresentou menor comprimento e menor superfície externa.

No caso destas duas variáveis, o ajuste dos dados dentro de uma função linear mostrou-se satisfatório. Para ambas as variáveis os coeficientes de determinação foram superiores a 0,91, sendo menores, no particular, os coeficientes obtidos para uma função exponencial.

Com base nessas equações de regressão (Tabela 3), calcularam-se as taxas de incremento do sistema radicular (raízes secundárias) para ambas as variáveis e verificou-se novamente a diferenciação acentuada entre cultivares e segundo a estratificação antes referida.

Absorção de fósforo

Para todas as cultivares e sem considerar os dados registrados aos 90 dias, verificou-se uma associação estreita entre o conteúdo de fósforo na planta e as variáveis comprimento e superfície de raízes (Fig. 3), indicando, assim, que a absorção de fósforo é dependente da extensão do sistema radicular. Cultivares de cacau, apresentando tanto maior área como maior comprimento de raízes

(SIC 831 x Sca 6 e SIC 831 x IMC 67), absorveram mais fósforo do meio de crescimento, pelo que devem ser mais apropriadas para cultivo em solos de baixa fertilidade e com menores quantidades de adubos fosfatados. Estes resultados são compatíveis com os obtidos para essas cultivares em solos de elevada e baixa fertilidade natural (Silva et al. 1982).

O fluxo de fósforo avaliado em função do comprimento e da área de raízes mostrou que a combinação SIC 831 x Sca 6 apresenta maior eficiência. As cultivares SIC 864 x SIC 328 e SIC 823 x ICS 1 com eficiência similar foram superiores ao híbrido SIC 831 x IMC 67, situando-se em último lugar a cultivar Catongo (Tabela 3). Esta, por apresentar também menor extensão do sistema radicular (área, comprimento e massa), não é indicada para cultivo em solos de baixa fertilidade e/ou com utilização de doses limitadas de adubos.

A combinação SIC 831 x Sca 6, além de apresentar maior eficiência de absorção de fósforo por unidade de área e de comprimento de raiz, mostrou também maior extensão de sistema radicular, constituindo, assim, a cultivar com maior capacidade de absorver aquele nutriente do meio de crescimento. Na combinação SIC 831 x IMC 67, a eficiência inferior em absorver fósforo por área ou comprimento de raiz é plenamente compensada pela extensão do sistema radicular, de modo a mostrar um desempenho satisfatório com relação às demais cultivares.

TABELA 3. Taxa de crescimento das raízes secundárias em área e comprimento e fluxo de fósforo.

Variável	Cultivar	Taxa de crescimento ¹	Fluxo de fósforo ²
Área (cm ²)	SIC 864 x SIC 328	6,54	3,47
	SIC 823 x ICS 1	4,77	3,72
	SIC 831 x Sca 6	9,37	3,95
	SIC 831 x IMC 67	9,66	3,33
	Catongo	4,46	2,25
Comprimento (m)	SIC 864 x SIC 328	0,98	22,15
	SIC 823 x ICS 1	0,83	21,11
	SIC 831 x Sca 6	1,54	23,20
	SIC 831 x IMC 67	1,01	20,58
	Catongo	0,70	13,28

¹ cm² dia⁻¹ e m dia⁻¹

² µg (cm²)⁻¹ dia⁻¹ e µg m⁻¹ dia⁻¹

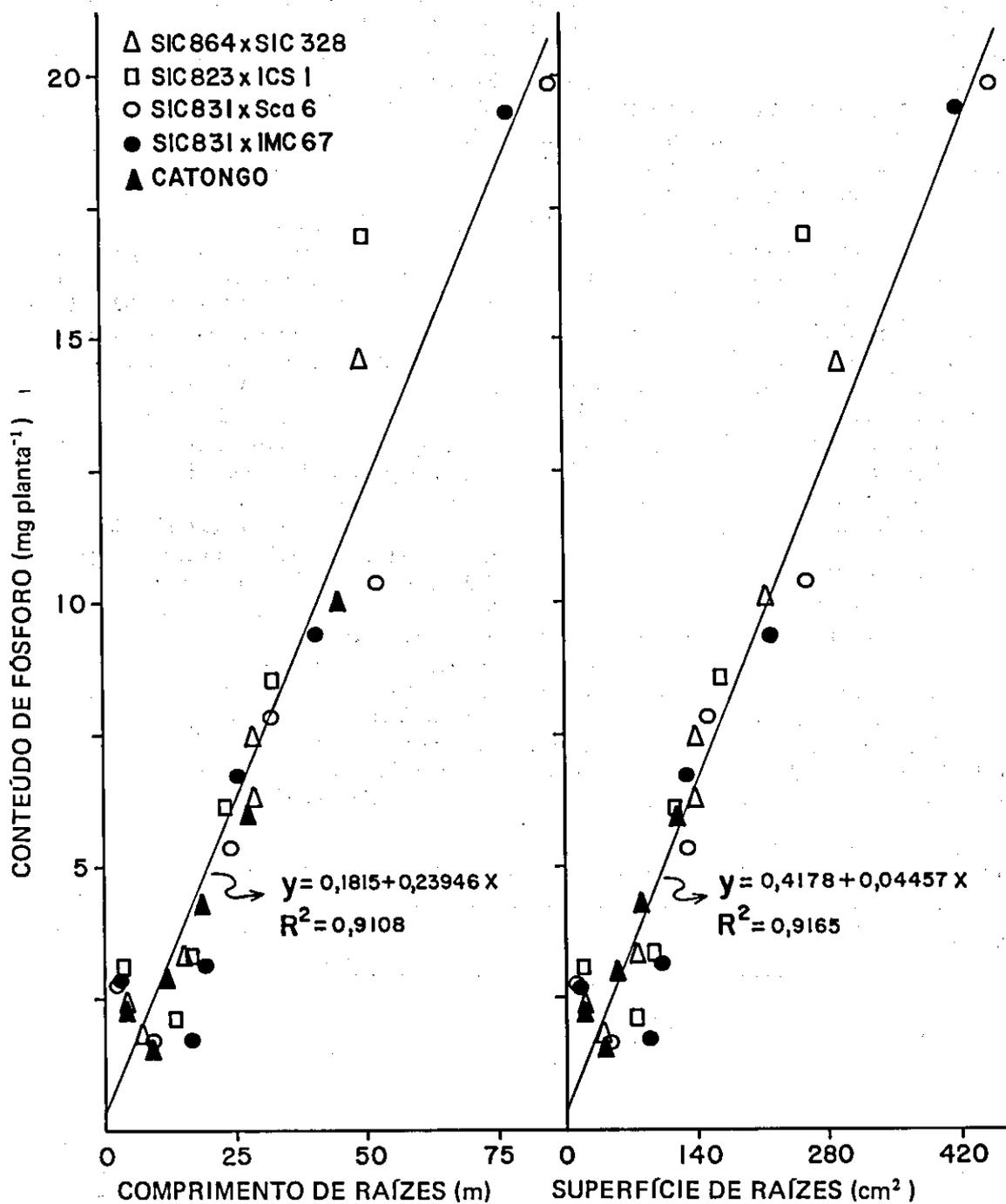


FIG. 3. Influência do comprimento e superfície de raízes sobre o conteúdo de fósforo nas cinco cultivares de cacau.

CONCLUSÕES

1. A combinação SIC 831 x Sca 6 é mais precoce e apresenta maior área foliar e maior quantidade de raízes secundárias, situando-se em plano intermediário os híbridos SIC 864 x SIC 328, SIC 823 x ICS 1 e SIC 831 x IMC 67 e, em plano inferior, a cultivar Catongo.

2. Existe uma associação estreita entre absorção de fósforo e extensão do sistema radicular expresso em termos de massa, área ou comprimento das raízes.

3. Para efetivar a diferenciação de cultivares de cacau em relação à eficiência de absorção de fósforo, deve-se considerar a extensão do sistema conjuntamente com o fluxo de absorção por unidade de área ou comprimento de raiz.

4. As características e o desempenho da combinação SIC 831 x Sca 6 indicam maior adaptação a solos de baixa fertilidade e com menores doses de fósforo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos Drs. Eduardo Maron Rihan e Marcelo Hage Fialho a análise e interpretação estatística. Ao Dr. Gilson R.P. Melo o fornecimento do material botânico. A Dra. Maria Bernadeth M. Santana a revisão final do manuscrito e aos técnicos de laboratório e agrícola, respectivamente, Marillete Wolff e Renato N. da S. Novais, as análises químicas e a condução do experimento.

REFERÊNCIAS

ALVIM, P. de T.; MACHADO, A.D. & GRANGIER JÚNIOR, A. Alguns estudos sobre as relações de água, solo e crescimento do cacauero. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE PESQUISAS EM CACAU, 2., Salvador, BA, 1967. Memórias... Ilhéus, CEPLAC, 1969. p.316-24.

BARBER, S.A. Growth requirements for nutrients in relation to demand of the root surface. In: HARLEY, J.L. & RUSSELL, R.S., eds. *The soil - root interface*. London, Academic Press, 1979. n.p.

BREWSTER, J.L. & TINKER, P.B.H. Nutrient flow rates into roots. *Soil Fert.*, Farnham Royal, 35(4):355-9, Aug. 1972.

CABALA-ROSAND, P. & SANTANA, M.B.M. Comparação de extratores químicos de fósforo em solos do sul da Bahia. *Turrialba*, San José, 22(1):19-20, ene./mar. 1972.

CABALA-ROSAND, P. & WILD, A. Direct use of low grade phosphate rock from Brazil as fertilizer. II. Effects of mycorrhizal inoculation and nitrogen source. *Plant Soil*, The Hague, 65:363-73, 1982.

CABALA-ROSAND, P.; SANTANA, C.J.L. de & MIRANDA, E.R. de. Respostas de cacauero Catongo a doses de fertilizantes no sul da Bahia, Brasil. *R. Theobroma*, Ilhéus, 12(4):203-16, out./dez. 1982.

COMISSÃO EXECUTIVA DO PLANO DA LAVOURA CACAUEIRA. Centro de Pesquisas do Cacau, Ilhéus, BA. Normas para utilização de fertilizantes e corretivos na região cacaueira da Bahia. Ilhéus, 1978. 74p.

DRAKE, M. & STECKEL, J.E. Solubilization of soil and rock phosphate as related to root cation exchange capacity. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 19(4):449-50, Oct. 1955.

GRANGIER JÚNIOR, A. & ALVIM, P. de T. Crescimento de plantas jovens de cacau Catongo comum e híbrido Catongo x comum. *Cacau Atual.*, Ilhéus, 1(4):5, abr. 1964.

KIRKBY, E.A. Ion uptake and ionic balance in plants in relation to the form of nitrogen nutrition. In: RORISON, I.H., ed. *Ecological aspects of the mineral nutrition of plants*. Oxford, Blackwell, 1969. p.215-35.

MCLACHLAN, K.D. Comparative phosphorus response in plants to a range of available phosphorus situations. *Aust. J. Agric. Res.*, Melbourne, 27:323-41, 1976.

NEWMAN, E.J. A method of estimating the total length of root in a sample. *J. Appl. Ecol.*, Oxford, 3:139-45, 1966.

NYE, P.H. & TINKER, P.B. Solute movement in the soil-root system. Oxford, Blackwell, 1977. n.p.

RADFORD, P.J. Growth analysis formulae, their use and abuse. *Crop Sci.*, Madison, 7:171-5, May/June 1967.

RILEY, D. & BARBER, S.A. Effect of ammonium and nitrate fertilization on phosphorus uptake as related to root induced pH changes at the root-soil interface. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 35(2):301-6, Mar./Apr. 1971.

SILVA, L.F. da; CARLETO, G.A. & MARIANO, A.H. Influência do solo na produtividade de combinações híbridas de cacau. In: COMISSÃO EXECUTIVA DO PLANO DA LAVOURA CACAUEIRA. Centro de Pesquisas do Cacau, Ilhéus, BA. *Informe técnico - 1981*. Ilhéus, 1982. p.13-4.

WATANABE, F.S. & OLSEN, S.R. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO₃ extracts from soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 29(6):677-8, Nov./Dec. 1965.