

ESTUDO DE SISTEMAS AGRÍCOLAS IRRIGADOS¹

PEDRO MARQUES DA SILVEIRA², SILVANDO CARLOS DA SILVA³, OSMIRA FÁTIMA DA SILVA⁴
e MEIRE APARECIDA DAMACENO⁵

RESUMO - O trabalho foi conduzido no Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão - CNPAF/ EMBRAPA, em Goiânia, por quatro anos consecutivos e sob irrigação por aspersão, sistema pivô central. O objetivo foi estudar diferentes profundidades de aração do solo (15 e 30 cm), doses de adubo (200 e 400 kg/ha) e rotações de cultura (R1 = arroz-feijão; R2 = milho-feijão e R3 = arroz-trigo-milho-feijão) na produção de grãos, economicidade e no desempenho de características físico-químicas do solo. De modo geral, as concentrações de Al, Ca+Mg, P, K e matéria orgânica no solo diminuíram durante o período de estudo, com os sistemas agrícolas empregados. Nos tratamentos de aração a 30 cm, os valores de densidade aparente a 20 e 30 cm de profundidade do solo foram menores no final em relação ao início do estudo. A aração a 30 cm de profundidade propiciou os maiores rendimentos do arroz, e a cultura produziu mais na rotação com trigo-milho-feijão, do que na rotação com feijão. O rendimento do feijoeiro foi menor após o milho do que após o arroz. A profundidade de aração não teve efeito sobre as produtividades do milho, feijão e trigo. Maiores rendimentos de arroz, milho, feijão e trigo foram conseguidos na maior dose de adubo. A rotação milho-feijão foi a mais rentável.

Termos para indexação: arroz, feijão, milho, trigo, características físico-químicas do solo, custos de produção, rotação de cultura.

AGRICULTURAL SYSTEM UNDER IRRIGATION

ABSTRACT - A field experiment was conducted at the National Rice and Bean Research Center of EMBRAPA, Goiânia-Goiás, Brazil, during four consecutive years under sprinkler irrigation using center pivot. The objective of this study was to evaluate effects of plowing at different depths (15 and 30 cm), fertilizer levels (200 and 400 kg ha⁻¹) and crop rotation (R1 = rice-bean; R2 = corn-bean and R3 = rice-wheat-corn-bean) on grain yield, and physical and chemical properties of soil. In general, concentrations of Al, Ca+Mg, P, K and MO in soil decreased during the experimentation period with the agricultural system employed. Under treatment of plowing at 30 cm depth, bulk density at 20 and 30 cm depths were lower as compared to initial values. Plowing treatment at 30 cm depth produced higher grain yield of rice in rotation with wheat-corn and bean as compared to rotation with bean. Bean yield was lower after corn than after rice. Plowing depth had no effect on yield of corn, bean and wheat. Higher yields of rice, corn, bean and wheat were obtained at higher fertilizer level. Agricultural system with highest rentability was corn-bean rotation.

Index terms: rice, bean, corn, wheat, soil physical and chemical properties, production cost, crop rotation.

INTRODUÇÃO

Com a expansão das áreas irrigadas no País, aumentou a necessidade de estudar diferentes sistemas

agrícolas a serem implementados nessas áreas. A escolha de um sistema deve basear-se, entre outros, na aptidão agrícola da região, no solo, e no retorno econômico do investimento. Numa agricultura intensiva é fundamental conservar e melhorar as características físicas, químicas e biológicas do solo para que a lucratividade e a produtividade se mantenham altas ao longo dos anos. Todas as práticas culturais e suas interações devem ser estudadas com o objetivo de determinar a melhor rotação, preparo

¹ Aceito para publicação em 10 de março de 1994.

² Eng. - Agr. Dr. EMBRAPA-Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAP), Bolsista do CNPq, Cx. Postal 179, CEP 74001-970, Goiânia-GO.

³ Eng. - Agr. CNPAF.

⁴ Economista, CNPAF

⁵ Enga. - Agra. Bolsista do CNPq

do solo, adubação, variedade e tratamento fitossanitário das culturas do sistema agrícola.

Estima-se que no Brasil, mais de 50.000 ha de arroz são cultivados atualmente com irrigação suplementar por aspersão. Todavia, neste plantio, ainda não foram determinados os sistemas de produção da cultura para diferentes condições ambientais.

O trigo irrigado em Minas Gerais, dentro do Programa de Assentamento Dirigido do Alto Paranaíba (PADAP), na safra de 1987, alcançou um rendimento médio de 63 sacos/ha, e em algumas lavouras atingiu 90 sacos/ha (Reunião da Comissão Centro-Brasileira de Pesquisa de Trigo, 1988). O grande aumento da produtividade de trigo na região deveu-se ao uso de melhores tecnologias de produção, como irrigação e variedade, entre outras.

Atualmente, a área plantada com feijão irrigado por aspersão, nos principais estados que utilizam esta técnica, é de cerca de 180.000 ha. Neste plantio, denominado plantio de feijão de inverno (maio a julho), o agricultor sente-se estimulado a utilizar níveis mais elevados de tecnologia, obtendo produtividade três a cinco vezes superior às obtidas nas outras épocas tradicionais da cultura (Stone & Moreira, 1986).

Bermardes (1988), utilizando um sistema de produção próprio para a cultura do milho, alcançou um rendimento de 16.000 kg/ha. Para conseguir esta elevada produtividade, o autor usou no seu sistema de produção altas doses de adubo.

O uso de quantidades pequenas de adubos e corretivos e o sistema de aração superficial do solo têm mantido a concentração de nutrientes somente na camada superficial. Além disto, tem-se registrado com freqüência a formação de camadas compactadas no solo, o que constitui impedimento físico ao crescimento profundo das raízes. O crescimento das raízes limitado a poucos centímetros superficiais, diminui a quantidade de nutrientes e de água disponíveis que poderiam ser usados pelas plantas.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a influência da profundidade de aração do solo, da adubação, e de rotações de cultura no desempenho das características físico-químicas do solo, na economicidade, e na produção de grãos, de diferentes sistemas de produção dentro de diferentes sistemas agrícolas irrigados.

MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi conduzido sob irrigação por aspersão, sistema de pivô central, no Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão - CNPAF/EMBRAPA - Goiânia-GO. A duração do estudo foi de quatro anos, iniciando-se na safra agrícola 88/89 e terminando na safra de inverno de 1992. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em parcelas sub-subdivididas. Os tratamentos incluíram três rotações de cultura, duas profundidades de aração do solo e duas doses de adubo. Nas parcelas ficaram as profundidades de aração, nas sub-parcelas as doses de adubo, e nas sub-subparcelas, as rotações de cultura. Os tratamentos de rotação foram R1 = arroz-feijão; R2 = milho-feijão; R3 = arroz-trigo-milho-feijão. As rotações R1 e R2 foram anuais, e a rotação R3, bienal. O arroz e o milho foram semeados no verão (novembro-dezembro), e o feijão e o trigo, no inverno (maio-junho). Os tratamentos de profundidade de aração do solo foram 15 e 30 cm. Foi usado o arado de aiveca nos dois tratamentos de aração. Os tratamentos de adubação foram 200 e 400 kg/ha, ambos com a fórmula 5-30-15. As sub-subparcelas experimentais tinham inicialmente 2,1 ha cada, e nos dois últimos anos de plantio foram reduzidas para 1 ha. As amostragens (repetições), num total de seis, foram feitas dentro das sub-subparcelas.

Ao longo dos quatro anos de estudo, os sistemas de produção foram sendo modificados, na tentativa de alcançar maiores produtividades das culturas. A descrição dos sistemas de produção e as alterações feitas nos mesmos são relatadas a seguir:

Os plantios de arroz foram feitos nos dias 21/11/88 (1º plantio, ciclo de 135 dias), 3/11/89 (2º plantio, ciclo de 145 dias), 1/11/90 (3º plantio, ciclo de 132 dias) e 9/11/91 (4º plantio, ciclo de 146 dias). Foram usadas as cultivares Araguaia (1º e 3º plantio) e a Rio Paranaíba (2º e 4º plantio). Os espaçamentos de plantio foram de 0,5 m entre fileiras (1º e 2º plantio) e de 0,45 m (3º e 4º plantio) e 60-80 sementes por metro, com exceção do 4º plantio, onde foram usadas 80-100 sementes. Em todos os plantios, as sementes foram tratadas com carbofuran na dose de 525 g para 100 kg de sementes. Foram utilizados os herbicidas pendimethalin (1º, 2º e 4º plantio), em pré-emergência, na dosagem de 1.500 g/ha e oxadiazon (3º plantio), também em pré-emergência, na dose de 750 g/ha. Houve necessidade de aplicação de herbicida em pós-emergência, devido ao controle ineficiente de plantas daninhas, e foram usados o 2,4-D amina (1º plantio) na dose de 1.440 g/ha e o fenoxaprop-ethyl (3º plantio) na dose de 120 g/ha. As quantidades de N aplicado em cobertura foram 30 kgN/ha (1º e 2º plantio), 40 kg N/ha (3º plantio) e 50 kg N/ha (4º plantio, em duas aplicações).

Os plantio de milho foram feitos nos dias 28/11/88 (1º plantio, ciclo de 155 dias), 3/11/89 (2º plantio, ciclo de 151 dias), 9/11/90 (3º plantio, ciclo de 150 dias) e 19/11/91 (4º plantio, ciclo de 142 dias). Foram usados os híbridos Cotimax 322A (1º plantio), Pioneer 3210 (2º plantio) e BR-201 (3º e 4º plantio). O espaçamento empregado para o milho foi de 1,0 metro entre fileiras (1º plantio) e 0,9 metro (2º, 3º e 4º plantio), com média de sete sementes por metro e gastando em torno de 20 a 22 kg/ha de sementes. As sementes de milho foram tratadas com carbofuran (700 g/100 kg sementes), como também foram as de feijão (525g/100 kg) e de trigo (350g/100 kg).

Em todos os plantios de milho foi usado o herbicida pré-emergente atrazine + simazine, na dosagem de 1.250 g/ha. As quantidades de N aplicadas no milho em cobertura foram 30 kgN/ha (1º e 2º plantio) e 45 kgN/ha (3º e 4º plantio). Para realizar essa adubação no 1º e 2º plantio, usou-se o cultivador/adubador, e no 3º e 4º plantio, essa adubação foi parcelada em duas aplicações, sendo que a 2ª aplicação foi feita via água, utilizando-se do sistema de irrigação pivô central.

Os plantios de feijão da safra de inverno foram feitos no dia 07/06/89 (1º plantio, ciclo de 93 dias), dia 16/06/90 (2º plantio ciclo de 90 dias), dia 30/05/91 (3º plantio, ciclo de 90 dias), dia 15/06/92 (4º plantio, ciclo de 90 dias). Foram semeadas as cultivares EMGOPA 201-Ouro (1º plantio), Carioca (2º, 3º plantio) e Aporé (4º plantio), com média de 15 a 16 sementes por metro e gastando de 60 a 70 kg/ha de sementes. O espaçamento de plantio foi de 0,50 m (1º e 2º plantio) e de 0,45 m (3º e 4º plantio) entre fileiras. Os herbicidas usados para o feijão foram o pendimethalin (1º e 3º plantio) e o EPTC (2º e 4º plantio). A adubação nitrogenada em cobertura foi de 30 kg N/ha (1º plantio), 45 kg N/ha (2º, 3º e 4º plantio).

O plantio de trigo foi feito no dia 30/05/89 (1º plantio, ciclo de 113 dias), e no dia 31/05/91 (2º plantio, ciclo de 118 dias). Foram usadas as variedades BR-12 Aruanã (1º plantio) e BR-10 Formosa (2º plantio), semeadas no espaçamento de 0,18 m entre linhas, 80 sementes por metro e gastando em torno de 170 kg/ha de sementes. Nas adubações de plantio foram adicionados 8 kg/ha de bórax. Nos dois plantios de trigo foi usado o herbicida pendimethalin em pré-emergência, na dosagem de 1.500 g/ha. Na aplicação de N em cobertura, foram empregados 45 kg N/ha (1º plantio) e 60 kg N/ha parcelados em duas aplicações (2º plantio).

Os plantios de inverno foram conduzidos totalmente sob irrigação. No feijão e no trigo, o controle das irrigações foi feito por tensiômetros instalados na linha de plantio, em três locais da área irrigada, nas profundidades de 15 e 30 cm, num total de seis tensiômetros. A instala-

ção foi em linha reta, de modo que a 1ª bateria ficou a 85 m; a 2ª a 205 m, e a 3ª a 325 m da base do pivô central.

Ao lado de cada bateria de tensiômetros foi instalado um pluviômetro, para coleta e posterior determinação da água de irrigação e de chuva. Durante todo o ciclo das culturas foram feitas leituras nos tensiômetros e pluviômetros, diariamente, sempre às 9:00 horas da manhã. As irrigações foram feitas quando a média das leituras dos tensiômetros instalados a 15 cm de profundidade estavam na faixa de 0,3 a 0,4 bar.

No início do estudo, antes do 1º plantio de 1988, foram coletadas amostras de solo da área experimental para análise físico-química. As amostras foram retiradas até 0,30 m de profundidade em camadas de 0,10 em 0,10 m e com 12 repetições. No inverno de 1992, quatro anos depois da 1ª amostragem e após a colheita da última cultura, foram coletadas amostra do solo em todos os tratamentos, para nova análise química. Ressalta-se que antes do plantio de inverno de 1990 foram aplicadas ao solo 2,5 t/ha de calcário. Durante os quatro anos, foram determinados os rendimentos das culturas, e no final do estudo foi realizada uma análise econômica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta a análise química das amostras do solo coletadas em 1988 e em 1992. A análise estatística dos dados, comparando o ano de 1992 com o ano de 1988 mostrou que, de modo geral, as concentrações de Ca+Mg, P, K e M.O. foram menores em 1992, havendo assim uma diminuição da fertilidade do solo com os sistemas agrícolas utilizados. O valor de pH foi maior e o de Al foi menor em 1992, provavelmente devido ao efeito da calagem. Pelo resultado, pode-se inferir que as diferentes culturas retiraram, nos quatro anos de plantio, maiores quantidades de nutrientes do solo do que o reposto pelas adubações. Também, as diferentes rotações de culturas não conseguiram manter o teor inicial de MO do solo.

Analisando os dados do ano de 1992, verificou-se que não houve efeito da rotação de cultura sobre o teor dos nutrientes avaliados no solo. A profundidade de aração afetou, respectivamente, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, o pH ($F = 38,81^{**}$; $24,47^{**}$) e os teores de Ca+Mg ($F = 9,92^{**}$; $23,72^{**}$), P ($F = 14,35^{**}$; $18,29^{**}$) e K ($F = 26,44^{**}$; $6,50^{*}$) do solo, os

*, ** respectivamente, significativos a 1 e 5%.

TABELA 1. Análise química do solo em 1988 e em 1992, em função da profundidade de aração, da dose de adubo e da rotação de cultura nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade.

Variável	Proporção/ Unidade	Valor médio inicial	1992											
			Aração a 15 cm				Aração a 30 cm							
			400 kg/ha		200 kg/ha		400 kg/ha		200 kg/ha		400 kg/ha		200 kg/ha	
R3*	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2			
-----Profundidade do solo de 0-10 cm-----														
pH com água	1,25	5,5	5,0	5,9	6,0	6,2	6,1	5,7	5,5	5,7	5,8	5,8	5,6	5,6
Ca ⁺⁺ +Mg ⁺⁺ /l	mE/100ml	3,5	4,1	3,1	2,4	4,9	4,2	3,5	2,7	2,7	2,6	3,5	2,4	2,6
Al ⁺⁺⁺	mE/100ml	0,17	0,07	0,10	0,10	0,10	0,10	0,13	0,13	0,13	0,10	0,10	0,13	0,10
P 2/	ppm	18,0	21,2	19,5	12,2	9,9	9,5	7,8	8,1	6,7	6,2	3,8	3,8	9,3
K ⁺ 2/	ppm	120	93	92	98	103	103	62	48	88	51	57	35	37
M.O. 3/	%	1,99	1,36	1,53	1,73	1,73	1,73	1,73	1,63	1,40	1,27	1,63	1,83	1,93
-----Profundidade do solo de 10-20 cm-----														
pH	1,25	5,6	6,1	5,9	6,1	6,2	6,1	5,6	5,5	5,8	5,7	5,7	5,6	5,7
Ca ⁺⁺ +Mg ⁺⁺	mE/100ml	3,2	3,7	3,9	4,8	4,3	4,2	2,3	2,4	2,8	2,3	3,0	2,7	2,6
Al ⁺⁺⁺	mE/100ml	0,18	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,23	0,17	0,10	0,13	0,17	0,10	0,13
P	ppm	9,7	13,4	16,4	13,8	8,5	7,3	8,1	8,6	7,1	4,5	4,7	4,0	3,0
K ⁺	ppm	90	90	107	68	99	109	42	42	100	45	55	53	56
M.O.	%	1,89	1,43	1,50	1,56	1,60	1,56	1,53	1,5	1,33	1,20	1,57	1,73	1,80
-----Profundidade do solo de 20-30 cm-----														
pH	1,25	5,6	5,9	5,6	6,0	5,8	5,9	5,1	5,4	5,7	5,6	5,7	5,5	5,6
Ca ⁺⁺ +Mg ⁺⁺	mE/100ml	2,4	2,6	3,3	3,9	2,7	2,5	1,4	2,8	2,6	2,4	3,1	2,4	2,6
Al ⁺⁺⁺	mE/100ml	0,20	0,10	0,13	0,07	0,10	0,10	0,30	0,17	0,10	0,10	0,10	0,10	0,13
P	ppm	4,3	3,8	2,9	2,5	2,9	2,1	1,3	9,5	5,2	5,1	3,4	2,5	3,1
K ⁺	ppm	56	68	49	39	53	41	31	38	74	63	56	46	50
M.O.	%	1,65	1,20	1,27	1,6	1,03	1,16	1,11	1,47	1,17	1,33	1,50	1,60	1,80

1/ - extrator KCl 2/ - extrator melilich 3/ - oxidação com K₂Cr₂O₇

4/ - R3 = rotação 3. Arroz - trigo - milho - feijão

R1 = rotação 1. Arroz - feijão

R2 = rotação 2. Milho - feijão

quais foram maiores na aração a 15 cm em relação à aração a 30 cm. A aração a 15 cm revolveu menor volume de solo, e assim, os nutrientes se mantiveram nesta profundidade. Na camada de 20-30 cm, o teor de P foi maior ($F = 6,78^{**}$) na aração a 30 cm do que a 15 cm. O maior revolvimento do solo com a aração de maior profundidade levou o elemento para a camada mais profunda. Quanto ao efeito da adubação, encontrou-se que o teor de P nas camadas 0-10 cm ($F = 6,78^{*}$), 10-20 cm ($F = 5,90^{*}$) e 20-30 cm ($F = 7,57^{**}$) foi maior na adubação de 400 kg/ha em relação à dose de 200 kg/ha.

A Tabela 2 mostra o valor do diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP), em 1988 e em 1991, para os diferentes tratamentos nas profundidades de 15 e 30 cm de solo. O cálculo desse índice, DMP, facilita a comparação entre a agregação de diferentes solos ou horizontes ou tratamentos dentro de um mesmo solo, pois, passa-se a trabalhar com um único número e não com uma coleção deles. O índice de agregação é um indicador sensível das condições de manejo que o solo recebeu. Comparando-se os dados, encontrou-se que o DMP proveniente da aração a 30 cm de profundidade foi maior em 1991 do que 1988 (condição inicial do solo), o que mostra que houve uma melhora na condição estrutural do solo durante o período, com este tratamento. A análise de variância dos dados de 1991 mostrou efeito significativo da rotação de cultura ($F = 6,22^{**}$; $5,02^{*}$) e da profundidade de aração ($F = 19,35^{**}$; $19,41^{**}$) sobre o DMP dos agregados do solo das camadas de 15 e de 30 cm de profundidade, respectivamente. Não houve efeito da dose de adubo sobre esta variável. A rotação 3 (arroz-trigo-milho-feijão) teve o DMP igual à rotação 1 (arroz-feijão), mas superior à rotação 2 (milho-feijão). Os dados mostraram que a rotação que envolve maior quantidade de culturas foi favorável ao diâmetro médio ponderado dos agregados do solo. Também a aração a 30 cm de profundidade proporcionou um valor de DMP superior ao da aração a 15 cm, evidenciando, assim, o efeito da aração profunda nos agregados do solo.

Os valores de densidade aparente do solo, em função da profundidade de aração, em cinco profundidades, nos anos de 1988 e 1992, são apresentados na Tabela 3. Nota-se, que nas profundidades

de 20 e 30 cm, no ano de 1988 quando se iniciou o estudo, o solo apresentava altos valores de densidade aparente, o que caracterizava uma compactação naquelas profundidades. Em 1992, esta compactação do solo permaneceu nos tratamentos de aração a 15 cm, porque estes não atingiam aquelas profundidades. Já nos tratamentos de aração a 30 cm, os valores de densidade aparente em 20 e 30 cm foram menores em 1992 em relação a 1988, mostrando que o tratamento foi eficiente na descompactação do solo.

Os rendimentos das culturas de arroz, feijão, milho e trigo, em função dos tratamentos e dos anos de plantio, são apresentados na Tabela 4. Para a cultura do arroz, a análise estatística conjunta dos quatro anos de plantio mostrou que a profundidade de aração ($F = 121,9^{**}$) e a dose de adubo ($F = 4,12^{*}$) afetaram significativamente o rendimento da cultura. Maiores rendimentos foram conseguidos com a maior profundidade de aração (30 cm) e com a maior dose de adubo (400 kg/ha). Para o tratamento de profundidade de aração, as médias de quatro anos foram de 2.458 kg/ha e 1.891 kg/ha, respectivamente, para 30 e 15 cm de profundidade de aração. Efeito positivo semelhante da aração profunda em relação à aração superficial, na cultura de arroz, foi observado por Benatti et al. (1981), em um solo podzólico vermelho-amarelo. Para o tratamento de doses de adubo, as mesmas médias foram de 2.270 kg/ha, e 2.078 kg/ha, respectivamente, para 400 e 200 kg/ha de adubação. Também ocorreu efeito da rotação sobre a produtividade do arroz. A cultura produziu mais na rotação 3 (2.377 kg/ha, média de dois anos) do que na rotação 1 (2.073 kg/ha, média de quatro anos). A rotação 3 (arroz-trigo-milho-feijão), por incluir mais culturas entre dois plantios de arroz do que na rotação 1 (arroz-feijão), favoreceu o rendimento da cultura.

Comparando o rendimento do arroz na rotação 1, no plantio de 1991 (média de 2.184 kg/ha), com o dos anos anteriores, 1990 (2.229 kg/ha); 1989 (1.814 kg/ha) e 1988 (2.063 kg/ha), observa-se que o maior rendimento foi alcançado em 1990, mas foram baixos em relação ao potencial que pode ser alcançado para a cultura. Nenhum dos sistemas de produção usados conseguiu elevar substancialmente a produtividade da cultura. Convém ressaltar que

TABELA 2. Diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados do solo em 1988 e em 1991, em função de profundidade de aração, da dose de adubo e da rotação de cultura nas profundidades de 15 e 30 cm.

Profun- didade (cm)	DMP 1988 (mm)	DMP 1991 (mm)											
		Aração a 15 cm				Aração a 30 cm				Aração a 30 cm			
		400 kg/ha		200 kg/ha		400 kg/ha		200 kg/ha		400 kg/ha		200 kg/ha	
	R3 ¹	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
15	3,10	3,45	2,65	2,70	3,66	3,35	3,12	3,67	4,01	3,74	3,87	3,72	3,04
30	2,78	3,53	2,58	2,73	3,39	3,28	3,46	3,79	4,01	3,60	4,20	3,71	3,11

¹ R3 = rotação 3. Arroz - trigo - milho - feijão.

R1 = rotação 1. Arroz - feijão.

R2 = rotação 2. Milho - feijão.

TABELA 3. Valores da densidade aparente (Dap) do solo, em função da profundidade de aração, em cinco profundidades, nos anos de 1988 e 1992.

Profun- didade (cm)	Dap cm 1988 (g/cm ³)	Dap em 1992 (g/cm ³)									
		Aração a 15 cm					Aração a 30 cm				
		R1 ¹	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média		
10	1,20	1,21	1,10	1,19	1,17	1,14	1,08	1,13	1,12		
20	1,34	1,33	1,38	1,31	1,34	1,16	1,11	1,10	1,12		
30	1,35	1,34	1,28	1,41	1,34	1,22	1,17	1,17	1,18		
40	1,31	1,20	1,19	1,18	1,19	1,32	1,27	1,33	1,31		
50	1,22	1,17	1,17	1,19	1,18	1,21	1,16	1,18	1,18		

¹ R1 = rotação 1. Arroz - feijão.

R2 = rotação 2. Milho - feijão.

R3 = rotação 3. Arroz - trigo - milho - feijão.

TABELA 4. Rendimento de grãos de arroz, feijão, milho e trigo em função da profundidade de aração, da dose de adubo e da rotação de cultura.

Profundidade de aração (cm)	Doses de adubo (kg/ha)	Rotação 1		Rotação 2		Rotação 3			
		Arroz	Feijão	Milho	Feijão	Arroz	Trigo	Milho	Feijão
Safr 88/89 (kg/ha)									
15	200	1558	1837	5610	1625	1400	3031	-	-
15	400	1734	2076	5931	1681	1690	3305	-	-
30	200	2277	1873	6105	1681	2155	3131	-	-
30	400	2684	1930	6402	1864	2644	3418	-	-
Safr 89/90 (kg/ha)									
15	200	1539	2142	7492	1874	-	-	8998	1913
15	400	1598	2260	8206	1928	-	-	8623	2148
30	200	2151	2209	7815	2135	-	-	8132	1925
30	400	1968	2427	8167	1989	-	-	7720	2316
Safr 90/91 (kg/ha)									
15	200	1923	1119	8939	1128	2313	4726	-	-
15	400	1954	1260	8813	1146	2859	4817	-	-
30	200	2494	1170	9633	1106	2991	4377	-	-
30	400	2547	1286	9684	1176	2965	4851	-	-
Safr 91/92 (kg/ha)									
15	200	2140	3222	7797	3105	-	-	8354	3493
15	400	1978	3850	9114	3563	-	-	8358	3692
30	200	2002	3275	7061	2990	-	-	8032	3253
30	400	2617	3634	7567	3382	-	-	8103	3284

plantios consecutivos de arroz na mesma área não estão alcançando boas produtividades. Aparentemente, fatores físicos, químicos (alelopatia, nutrição) do solo estão atuando negativamente no desempenho da cultura nestas áreas. Já foi observado efeito negativo da própria palhada do arroz remanente no solo sobre o rendimento da cultura no plantio seguinte. Ventura et al. (1984) relataram redução no crescimento e produtividade do arroz de sequeiro, causada pelo seu cultivo contínuo, e atribuíram este fato a uma interação entre vários organismos que provocam "doença do solo".

Quanto à cultura do milho, a análise conjunta dos quatro anos mostrou efeito significativo da dose de adubo ($F = 11,99^{**}$) e não mostrou efeito da profundidade de aração. Chaplin et al. (1986) também não encontraram efeito de diferentes profundidades de preparo do solo sobre a produtividade do milho. Analisando o rendimento médio do milho, na rota-

ção 2, 6.012 kg/ha (1988); 7.920 kg/ha (1989); 9.267 kg/ha (1990) e 7.885 kg/ha (1991), verifica-se que houve um acréscimo significativo na produtividade da cultura nos três primeiros anos de plantio. As alterações nos sistemas de produção foram positivas, e conseguiram elevar o rendimento da cultura. O maior rendimento foi alcançado em 1990 (9.267 kg/ha). Apesar de se ter usado o mesmo sistema de produção em 1990 e 1991, o rendimento de 1991 foi menor devido a um menor estande inicial da lavoura e a um maior acamamento da cultura no final do ciclo. A cultura produziu mais na rotação 3 (8.290 kg/ha) do que na rotação 2 (7.771 kg/ha). Semelhantemente ao arroz, a rotação 3 (arroz-trigo-milho-feijão), por incluir mais culturas entre dois plantios de milho do que na rotação 2 (milho-feijão), favoreceu o rendimento da cultura.

Quanto à cultura do feijão, a análise estatística conjunta dos quatro anos de experimento mostrou

que a cultura produziu menos quando plantada após o milho ($R_2 = 2.023$ kg/ha) do que após o arroz ($R_1 = 2.223$ kg/ha), e significativamente mais na rotação 3 ($R_3 = 2.753$ kg/ha). A adubação teve efeito sobre o rendimento da cultura, alcançando 2.344 kg/ha e 2.153 kg/ha, respectivamente em relação às doses de adubo de 400 e 200 kg/ha. Não houve efeito da profundidade de aração sobre o rendimento da cultura, semelhantemente ao encontrado por Silva (1992).

No que se refere à cultura do trigo, a análise de duas safras mostrou que houve aumento do rendimento na safra de 1991 (4.693 kg/ha) quando comparada com a safra de 1989 (3.221 kg/ha), o que mostra que as alterações nos sistemas de produção foram benéficas. Houve efeito da dose de adubo ($F = 6,92^*$), e os rendimentos médios foram de 4.098 kg/ha e 3.816 kg/ha, respectivamente, para as doses de adubo de 400 e 200 kg/ha. Não houve efeito da profundidade de aração sobre o rendimento da cultura. Camp et al. (1984) afirmaram que o preparo profundo do solo nem sempre aumenta a produção das culturas.

Um demonstrativo dos rendimentos, receitas brutas, custos de produção, e relação benefício/custo das diferentes culturas, encontra-se na Tabela 5. O rendimento de cada cultura foi considerado igual à média da produtividade obtida nos quatro anos do estudo. Observa-se, na Tabela 5, que a cultura de maior custo de produção foi a do feijão, seguida, em ordem, pela do trigo, milho e arroz. Quanto ao feijão o custo de sua produção foi, na média dos tratamentos, equivalente a US\$561,93/ha ou a 26,3 sacos de feijão/ha, considerando o preço mínimo de cotação do produto. Quanto às produtividades de arroz alcançadas, que foram baixas, a cultura teve receita líquida negativa e relação benefício/custo menor do que 1. O milho foi a cultura que teve a maior relação benefício/custo, atingindo o valor de 1,91. Entre as rotações, os maiores benefícios/custos, possíveis de obter foram de 1,18 para a rotação 1 (arroz-feijão); 1,63 para a rotação 2 (milho-feijão); e 1,36 para a rotação 3 (arroz-trigo-milho e feijão). A melhor rotação foi, portanto, a rotação 2 (milho-feijão), com o benefício/custo de 1,63, ou seja, para cada dólar investido houve um retorno de 1,63 dólar.

A Tabela 6 mostra os custos das diferentes ope-

rações/insumos empregados nos sistemas de produção, respectivamente para as culturas do arroz, milho, feijão e trigo. As operações/insumos foram listados em preparo do solo, plantio, defensivos, colheita, sementes, fertilizantes/corretivos e irrigação. O fertilizante/corretivo foi o insumo de maior custo, atingindo, por hectare, o equivalente a 17,4 sacos de

TABELA 5. Rendimento, receita bruta, custos de produção e relação benefício/custo das diferentes culturas do sistema agrícola.

Produto	Rendimento (kg/ha)	Receita bruta (US\$/ha)	Custo produção (US\$/ha)	Rendimento (Sc.60kg)	Custo produção (Sc.60kg)	Relação benefício/custo
Feijão	2251	801,38	561,93	37,5	26,3	1,43
Arroz	2174	304,44	371,78	36,0	44,2	0,82
Trigo	3957	605,88	485,73	66,0	52,9	1,25
Milho	7965	798,13	420,18	133,0	69,9	1,91

¹ US\$ 1,00 = Cr\$26108,50 (05/04/93)

TABELA 6. Custos médios, por hectare, das diferentes operações/insumos empregados nos sistemas de produção de arroz, feijão, milho e trigo.

Operações e insumos	Culturas											
	Arroz			Milho			Feijão			Trigo		
	(US\$ ¹)	Sc. 60kg	Partic. %	(US\$)	Sc. 60kg	Partic. %	(US\$)	Sc. 60kg	Partic. %	(US\$)	Sc. 60kg	Partic. %
Preparo do solo	54,63	6,5	14,70	54,63	9,1	13,00	54,63	2,6	9,72	54,63	6,0	11,25
Plantio	14,47	1,7	3,89	14,47	2,4	3,44	14,47	0,7	2,57	19,51	2,1	4,02
Defensivos	39,08	4,6	10,51	40,38	6,7	9,61	112,03	5,2	19,94	66,64	7,3	13,72
Colheita	53,16	6,3	14,30	125,31	20,8	29,82	62,47	2,9	11,12	58,32	6,4	12,00
Sementes	53,06	6,3	14,27	28,01	4,7	6,67	123,94	5,8	22,06	71,16	7,8	14,65
Fert/Corret.	146,38	17,4	39,37	146,38	24,3	34,84	137,36	6,4	24,44	153,34	16,7	31,57
Irrigação	11,00	1,3	2,96	11,00	1,8	2,62	57,03	2,7	10,15	62,13	6,8	12,79

¹ US\$ 1,00 = Cr\$ 26108,50 (Oficial)

Preço mínimo do arroz (Sc. 60kg) = US\$ 8,41

Preço mínimo do milho (Sc. 60kg) = US\$ 6,01

Preço mínimo do feijão (Sc. 60kg) = US\$ 21,37

Preço do trigo (Sc. 60kg) = US\$ 9,18

arroz, 24,3 de milho, 6,4 de feijão e 16,7 de trigo, respectivamente, dentro do sistema de produção do arroz, milho, feijão e trigo.

CONCLUSÕES

1. As concentrações de Al, Ca+Mg, P, K e M.O. no solo, diminuíram durante o período de estudo, com os sistemas agrícolas empregados.

2. Não houve efeito da rotação sobre o teor de nutrientes no solo. A profundidade de aração afetou o pH e os teores de Ca+Mg, P e K nas camadas de solo de 0-10 e 10-20 cm, os quais foram maiores na aração a 15 cm em relação à aração a 30 cm. O teor de P na camada de 20-30 cm foi maior com aração a 30 cm de profundidade, e também foi maior na adubação de 400 kg/ha.

3. Nos tratamentos de aração a 30 cm, os valores da densidade aparente em 20 e 30 cm de profundidade foram menores no final, em relação ao início do estudo. A aração a 30 cm de profundidade diminuiu a densidade aparente do solo nas camadas de 20 e 30 cm de profundidade, quando comparados com a aração a 15 cm.

4. Maiores rendimentos de arroz foram conseguidos com a maior profundidade de aração (30 cm) e com a maior dose de adubo (400 kg/ha). Houve efeito da rotação sobre a produtividade da cultura.

5. Houve efeito significativo da dose de adubo e não houve da profundidade de aração sobre os rendimentos das culturas de milho, feijão e trigo.

6. A cultura de maior custo de produção foi a do feijão, seguida, em ordem pela do trigo, do milho e do arroz. O milho foi a cultura que teve a maior relação benefício/custo. A rotação mais rentável foi a rotação milho-feijão. O fertilizante foi o insumo de maior custo.

REFERÊNCIAS

- BENATTI, R.; FRANÇA, G.V.; FREIRE, O. Influência do tipo de arado da profundidade de aração sobre a produção de culturas anuais em solo Podzólico Vermelho Amarelo. *Engenharia Agrícola, Botucatu*, v.5., n.2, p.15-20, 1981.
- BERNARDES, L.F. A experiência do campeão: como produzir 16 toneladas de milho/ha. *Potafos Informações Agrônomicas, Piracicaba*, n.44, p.1-2, 1988.
- CAMP, C.R.; CHRISTENBURY, G.D.; DOTY, C.W. Tillage effects on crop yield in coastal plain soil. *Transactions of the ASAE, St. Joseph*, v.27, p.1729-1733, 1984.
- CHAPLIN, J.; LUEDERS, M.; RUGG, D. A study of compaction and crop yields in loamy sand soil after seven years of reduced tillage. *Transactions of the ASAE, St. Joseph*, v.29, p.389-392, 1986.
- REUNIÃO DA COMISSÃO CENTRO-BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO, 4., 1987, São Paulo. **Recomendações da Comissão Centro Brasileira de Pesquisa de trigo para o ano de 1988.** São Paulo: CAC-CC/EMBRAPA-CNPT, 1988. 58p.
- SILVA, J.G. da. **Ordens de gradagem e sistemas de aração do solo: desempenho operacional, alterações na camada mobilizada e respostas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)** Botucatu: UNESP, 1992. 180p. Tese de Doutorado.
- STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. **Irrigação do feijoeiro.** Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1986. 31p. (EMBRAPA-CNPAP. Circular Técnica, 20).
- VENTURA, W.; WATANABE, I.; KOMADA, H.; NISHIO, M.; DE LA CRUZ, A.; CASTILHO, M. **Soil sickness caused by continuous cropping of upland rice, numbean, and other crops.** Manila: IRRI, 1984. 13p. (IRRI Research Paper Series, 99).