

Morfologia e distribuição de raízes de arroz irrigado por inundação e sua relação com a absorção de nutrientes e o rendimento de grãos¹

André Dabdab Abichequer² e Humberto Bohnen³

Resumo - O desenvolvimento de genótipos mais eficientes na absorção dos nutrientes é um dos fatores que pode levar ao aumento do rendimento do arroz irrigado por inundação (*Oryza sativa* L.), além de reduzir a necessidade de adubação, pela diminuição das perdas e melhor aproveitamento dos nutrientes. A eficiência de absorção de nutrientes pode estar relacionada com a morfologia e a distribuição do sistema radicular no solo. Conduziu-se um experimento de campo, num Gleissolo, em Cachoeirinha (RS), comparando-se genótipos de diferentes tipos de planta: IRGA 417 (moderno), EEA 406 (tradicional), Avaxi (híbrido, moderno) e Bluebelle (americano), quanto à densidade de raízes, área superficial e raio médio das raízes, absorção de nutrientes (P e K) e rendimento de grãos. A distribuição das raízes nas profundidades de 0 a 5, 5 a 20, 20 a 30 e 30 a 40 cm foi avaliada pelo método do monólito. Os genótipos diferenciaram-se quanto à morfologia e à distribuição das raízes, com 'Avaxi' e 'EEA 406' apresentando maior densidade de raízes e distribuição mais superficial, especialmente 'Avaxi'. Os genótipos modernos (IRGA 417 e Avaxi) apresentaram maior rendimento de grãos. Os genótipos diferenciaram-se, apenas, quanto à absorção de K na maturação, sendo que 'IRGA 417' e 'Avaxi' absorveram maior quantidade do que 'EEA 406'. Não foi observada a relação da morfologia e distribuição das raízes no solo com absorção de nutrientes e rendimento de grãos.

Termos de indexação: densidade de raízes, arquitetura de raízes, nutrição vegetal, *Oryza sativa* L.

Root morphology and distribution of paddy rice and their relationship with nutrient uptake and grain yield

Abstract - The development of more efficient genotypes in nutrient uptake is one of the factors that can result in yield increases in paddy rice (*Oriza sativa* L.), besides lowering fertilizer need, by reducing nutrient losses and improving nutrient use. Nutrient uptake efficiency can be related to root morphology and distribution in soil. A field experiment was conducted in a Gleissolo, in Cachoeirinha (RS – Brazil), to compare genotypes of different plant types: IRGA 417 (modern), EEA 406 (traditional), Avaxi (hybrid, modern) and Bluebelle (american) in relation to root density, root surface area and root radio, nutrient uptake (P and K) and grain yield. Root distribution (depth 0 to 5, 5 to 20, 20 to 30 and 30 to 40 cm) was sampled by monolith method. Genotypes differed in root morphology and distribution, with 'Avaxi' and 'EEA 406' having higher root density and a more superficial distribution, especially 'Avaxi'. Modern genotypes (IRGA 417 and Avaxi) had greater grain yield. Genotypes differed in nutrient uptake only by K uptake on mature grain stage, when 'IRGA 417' and 'Avaxi' had greater uptake than 'EEA 406'. There was no relationship between root morphology and distribution in soil with nutrient uptake and grain yield.

Index terms: root density, root architecture, plant nutrition, *Oriza sativa* L.

¹ Parte do trabalho de tese do primeiro autor, para obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo na Faculdade de Agronomia da UFRGS. Recebido para publicação em

² Eng. Agr., Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO). Rua Gonçalves Dias 570, CEP 90130-060, Porto Alegre (RS). E-mail : andre-abichequer@fepagro.rs.gov.br

³ Eng. Agr., Colaborador Convidado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Faculdade de Agronomia da UFRGS. Caixa Postal 776, CEP 90001-970, Porto Alegre (RS).

Recebido para publicação em 03/10/2006

Introdução

A lavoura de arroz irrigado por inundação no Rio Grande do Sul apresenta alto custo de produção, por ser uma cultura irrigada, com grande utilização de insumos e mecanização agrícola. Portanto, é necessário que a pesquisa busque o aumento do rendimento de grãos, com o objetivo de ampliar a receita do produtor, contribuindo para que a cultura apresente viabilidade econômica. Além disto, a obtenção de maior rendimento do arroz reduz a necessidade de expansão de área, diminuindo o impacto ambiental provocado pela cultura, relacionado à captação de água, contaminação com agrotóxicos, alteração do ambiente com a inundação e outros fatores. O aumento do rendimento foi conseguido, principalmente a partir dos anos 80, com a introdução das variedades modernas e a melhoria do manejo da cultura. Porém, o incremento do rendimento sofreu uma desaceleração nos últimos anos, sendo que a média atual ainda se encontra bastante abaixo do potencial da cultura, que é de cerca de 12.000 kg/ha, segundo IRGA (2004), situando-se em torno de 6.000 kg/ha.

Juntamente com outros fatores, o desenvolvimento de genótipos mais eficientes na absorção e utilização dos nutrientes, aliado ao manejo adequado da adubação, pode levar a incrementos de rendimento do arroz. Além disto, genótipos mais eficientes podem reduzir a necessidade de adubação, pela diminuição das perdas e melhor aproveitamento dos nutrientes. Porém, deve ser feita a ressalva de que nem sempre uma maior absorção de nutrientes resulta em maior rendimento de grãos da cultura, porque isto depende também da utilização do nutriente na planta, além de poder haver limitação do rendimento por fatores climáticos, moléstias e outras causas. Pode haver consumo de luxo, em que a planta absorve o nutriente em quantidade superior à necessária para ótimo crescimento e isto não é traduzido em aumento de rendimento (EPSTEIN, 1972).

Lavouras de alto rendimento apresentam grande densidade de afilhos por área, pois utilizam altas densidades de semeadura ou são formadas por genótipos de grande potencial de afilhamento (como os híbridos), o que pode causar esgotamento de nutrientes pela competição entre raízes adjacentes na camada superficial. Assim, pode ser vantajosa uma exploração de maior volume de solo pelas raízes, atingindo camadas mais profundas.

Espécies e variedades de plantas diferenciam-se quanto à capacidade de absorver nutrientes devido à variação na dimensão e morfologia do sistema radicular e/ou na cinética de absorção de nutrientes (ANGHINONI et al., 1989). Além desses aspectos, a distribuição das raízes ao longo do perfil do solo também influencia a absorção de nutrientes pelo arroz. Conforme a arquitetura das raízes, o sistema radicular tende a atingir camadas mais profundas do solo ou localizar-se superficialmente. Segundo Morita e Yamazaki (1993), existe relação entre altos rendimentos de grãos de arroz e a dimensão e o padrão de distribuição do sistema radicular no solo, sendo vantajosa a localização das raízes em maior profundidade. Porém, ao relacionarem

tipo de planta e distribuição de raízes, Yoshida et al. (1982) observaram que variedades de porte alto e com menor perfilhamento, que normalmente são menos produtivas, tendem a desenvolver raízes mais profundas.

O aprofundamento das raízes é prejudicado no ambiente anaeróbico em que o arroz irrigado é cultivado, sendo que raramente ocorrem raízes abaixo de 40 cm de profundidade (YOSHIDA, 1981). Em camadas profundas do solo pode ocorrer maior concentração de substâncias tóxicas (Fe, H₂S) que inibem a expansão das raízes, pois o ambiente é mais reduzido (OTTOW et al., 1983; KONO, 1993). Outro fator que pode limitar o aprofundamento das raízes é a presença de camada de solo compactada em subsuperfície, que ocorre em solos do Rio Grande do Sul. Por outro lado, em maior profundidade pode haver maior concentração de nutrientes, o que beneficia o crescimento das raízes e da própria planta. Em trabalho com a variedade BR-IRGA 409 num Planossolo em Cachoeirinha (RS), Lopes et al. (1994) observaram que cerca de 55% do comprimento radicular encontrava-se na camada de 0 a 5 cm de profundidade e 87% na camada de 0 a 20 cm. Macedo et al. (1999) e Teo et al. (1995) também observaram um desenvolvimento de sistema radicular superficial no arroz irrigado.

Com relação à morfologia das raízes, plantas com maior capacidade de absorção de nutrientes podem ser obtidas pela seleção de genótipos com maior comprimento, menor raio e maior área superficial de raízes. Segundo Teo e Beyrouty (1991), citados por Teo et al. (1995), as diferenças de absorção de nutrientes em variedades de arroz irrigado foram explicadas pela variação do comprimento das raízes das plantas, em casa-de-vegetação. No entanto, Teo et al. (1995) não observaram relação entre a morfologia radicular de três variedades de arroz e a absorção de N, P e K em experimento de campo. Os autores atribuíram a variação de absorção observada a diferenças nos parâmetros cinéticos de absorção, estudados em experimento anterior (TEO et al., 1992). Em experimento anterior (Abichequer e Bohnen, 2008), em solução nutritiva com suporte das plantas em meio poroso de poliestireno, foram comparados os genótipos de arroz irrigado IRGA 417 e IRGA 419 (modernos), Bluebelle (americano), EEA 406 (tradicional) e Avaxi (híbrido, RiceTec) quanto ao comprimento e arquitetura das raízes, no estágio de 8 a 10 folhas (V8 a V10, segundo Counce et al., 2000). O maior comprimento foi apresentado pelo cultivar IRGA 417, enquanto 'Bluebelle' e 'IRGA 419' desenvolveram raízes de menor comprimento. O cultivar Avaxi desenvolveu raízes com arquitetura mais superficial, enquanto 'EEA 406' e 'Bluebelle' apresentaram raízes mais profundas. Houve correlação significativa entre comprimento das raízes e absorção de nutrientes e produção de massa seca, com vantagem para as plantas de maior comprimento.

Os nutrientes cuja absorção é mais influenciada pela morfologia e distribuição radicular são aqueles transportados para as raízes por difusão, como o P e o K (BARBER, 1984). A disponibilidade destes nutrientes é aumentada com o alagamento do solo (CAMARGO e TEDESCO, 2004), mas a competição entre raízes adjacentes pode esgotá-los na camada superficial.

O objetivo deste trabalho foi estudar a morfologia (densidade de raízes, raio médio e área superficial) e a distribuição das raízes de genótipos de arroz irrigado com diferentes tipos de planta e sua relação com a absorção de nutrientes e o rendimento de grãos, em experimento de campo.

Material e métodos

Foi realizado um experimento de campo, de dezembro de 2002 a abril de 2003, comparando-se quatro genótipos de arroz irrigado: IRGA 417 (tipo de planta moderno, de porte baixo), EEA 406 (tipo de planta tradicional, de porte alto), Avaxi (híbrido, RiceTec, com tipo de planta semelhante ao moderno) e Bluebelle (tipo de planta americano, de porte intermediário). O cultivo foi conduzido em um Gleissolo Háptico distrófico na Estação Experimental do Arroz (EEA) do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), em Cachoeirinha (RS). As plantas foram cultivadas no sistema convencional, sendo utilizadas uma aração e duas gradagens no preparo do solo. Foi realizada a amostragem e a análise química do solo, segundo Tedesco et al. (1995), obtendo-se os seguintes resultados: argila 170 g/dm³; pH 5,2; índice SMP₃ 6,0; P 11,4 mg/dm³; K 21 mg/dm³; matéria orgânica 9 g/dm³; Al 0,4 cmolc/dm³; Ca 1,3 cmolc/dm³; Mg 0,6 cmolc/dm³, CTC efetiva 2,4 cmolc/dm³ e CTC a pH 7 de 3,7 cmolc/dm³. A adubação do solo foi feita conforme as recomendações da Comissão... (1995), com a aplicação de 10 kg/ha de N, 20 kg/ha de P₂O₅ e 60 kg/ha de K₂O no dia da semeadura. A adubação foi realizada a lanço, sem incorporação. A semeadura foi realizada em 13/12/2002, cerca de um mês após o período recomendado, em função do excesso de chuvas ocorrido na época recomendada. Os genótipos foram semeados na densidade de 500 sementes aptas por m², em linhas espaçadas de 20 cm. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. As dimensões das parcelas foram de 1,8 x 8 m. A emergência ocorreu em 20/12/2002. Os estádios de desenvolvimento do arroz foram referidos conforme a escala de Counce et al. (2000). O solo foi inundado 17 dias após a emergência, quando as plantas estavam no estádio de 3 folhas (V3). Foi mantida uma lâmina de água de 10 a 15 cm até 15 dias após a plena floração. Para o controle de plantas daninhas, foram utilizados os herbicidas propanil, na dose de 2,16 kg/ha de i.a., e quinclorac, na dose de 375 g/ha de i.a.. A adubação nitrogenada em cobertura foi aplicada em duas vezes, no início do perfilhamento (V4 a V5) e na diferenciação da panícula (R1); as doses foram diferenciadas por genótipo, conforme recomendado pela Comissão... (1995): 70 kg/ha de N para IRGA 417 e Avaxi, 55 kg/ha para Bluebelle e 40 kg/ha para EEA 406.

As raízes foram amostradas no estádio de enchimento de grãos (R6 a R7). A amostragem das raízes foi realizada pelo método do monólito (BOHM, 1979), retirando-se um bloco de solo com raízes de 20 cm de largura, 5 cm de espessura e 40 cm de profundidade, centralizado na linha de semeadura do arroz. O monólito foi dividido em quatro camadas, nas profundidades de 0 a 5, 5 a 20, 20 a 30 e 30 a 40 cm. Cada camada foi lavada isoladamente com jatos de água em

um conjunto de duas peneiras para separar as raízes, sendo a superior com malhas de 2,0 mm e a inferior com malhas de 1,19 mm, conforme realizado por Lopes et al. (1994). Foi determinada a massa fresca das raízes e medido o comprimento das raízes presentes em cada camada pelo método de Tennant (1975). A área superficial e o raio médio das raízes foram calculados conforme Shenk e Barber (1979). A densidade de raízes (comprimento das raízes / volume de solo) nas diferentes profundidades foi calculada conforme Yoshida (1981). A percentagem de raízes presentes em cada camada foi calculada da seguinte forma: (comprimento das raízes na camada / comprimento das raízes em todo o monólito) x 100. A massa seca das raízes foi determinada após secagem a 60°C até massa constante.

A parte aérea foi coletada na floração ('IRGA 417' em R5, outros genótipos em R4) e na maturação (R9), sendo amostrada uma área de 0,25 m², escolhida ao acaso em cada parcela. As amostras foram secadas em estufa a 60°C até massa constante. Foram analisados os teores dos nutrientes P e K na parte aérea, segundo Tedesco et al. (1995). O rendimento de grãos foi avaliado em área de 2 m², sendo a colheita realizada com cerca de 115 dias após a emergência.

Os resultados foram submetidos a análise da variância (P<0,05), com a comparação entre médias dos tratamentos pelo teste de Duncan (P<0,05). Além disso, foram analisadas as correlações dos parâmetros morfológicos das raízes e da densidade radicular em diferentes profundidades com a absorção de nutrientes e o rendimento de grãos.

Resultados e discussão

Morfologia das raízes

Os resultados da avaliação das características morfológicas das raízes em todo o monólito (de 0 a 40 cm de profundidade) encontram-se na Tabela 1. A densidade de raízes, que é relacionada ao comprimento das raízes, distinguíu os genótipos em dois grupos, com os cultivares EEA 406 e Avaxi apresentando maior densidade do que 'Bluebelle' e 'IRGA 417'. Em experimento anterior (ABICHEQUER e BOHNEN, 2008), em que foram avaliadas plantas em V8 a V10 cultivadas em solução nutritiva, o cultivar IRGA 417 apresentou o maior comprimento das raízes e o 'Bluebelle' o menor, com 'Avaxi' e 'EEA 406' ocupando posição intermediária. Os resultados obtidos concordam parcialmente com os de Anghinoni et al. (1989), em solução nutritiva, em que o cultivar EEA 406 apresentou maior comprimento das raízes do que o 'Bluebelle'. Porém, no trabalho de Anghinoni et al. (1989) o cultivar moderno BR-IRGA 409 desenvolveu raízes mais compridas do que o 'Bluebelle', o que não aconteceu com o 'IRGA 417'.

Com relação ao raio médio das raízes, não houve diferenças entre os genótipos testados (Tabela 1). Os cultivares EEA 406 e Bluebelle também não se diferenciaram quanto ao raio médio das raízes no trabalho de Anghinoni et al. (1989).

O cultivar EEA 406 apresentou maior área superficial das raízes do que o 'Bluebelle' e o 'IRGA 417', com o híbrido Avaxi não se diferenciando destes dois grupos. De forma semelhante à densidade de raízes, nos resultados de

Anghinoni et al. (1989) o 'EEA 406' também desenvolveu raízes de maior área superficial do que o 'Bluebelle'. No entanto, o cultivar moderno utilizado (BR-IRGA 409) apresentou raízes com maior área superficial do que o 'Bluebelle', o que não ocorreu com o 'IRGA 417' neste trabalho.

TABELA 1 - Densidade de raízes, raio médio e área superficial das raízes de genótipos de arroz irrigado, coletadas no enchimento de grãos, em experimento de campo.

	Densidade	Raio médio	Área
	cm ³ /cm	mm	m ² raiz m ⁻² área lavoura
Avaxi	27,3 a	0,134 a	82,3 ab
IRGA 417	19,9 b	0,124 a	66,8 b
Bluebelle	20,5 b	0,134 a	69,0 b
EEA 406	29,2 a	0,134 a	97,9 a

Médias de genótipos seguidas de mesma letra minúscula não diferem pelo teste de Duncan (P<0,05).

As avaliações da morfologia das raízes em solo e em solução nutritiva podem apresentar resultados distintos. No solo, podem ocorrer fatores como compactação e presença de substâncias tóxicas, que prejudicam o desenvolvimento das raízes. Assim, os genótipos mais tolerantes a estas condições adversas seriam beneficiados, apresentando maior desenvolvimento radicular.

Distribuição das raízes no solo

Os genótipos apresentaram arquitetura de raízes superficial, como pode ser observado pela porcentagem do comprimento das raízes presente em cada camada (Tabela 2). No entanto, os cultivares Avaxi e EEA 406 desenvolveram raízes mais superficiais do que o 'IRGA 417' e o 'Bluebelle', com 92,8 % ('Avaxi') e 91,3 % ('EEA 406') do comprimento das raízes presente na profundidade de 0 a 20 cm, contra 86,6 % do 'IRGA 417' e 84,2 % do 'Bluebelle'. O 'Avaxi' apresentou a maior porcentagem de raízes de 0 a 5 cm de profundidade e a menor porcentagem de 20 a 40 cm, caracterizando-se como o genótipo de arquitetura de raízes mais superficial. Este genótipo também apresentou raízes mais superficiais no experimento anterior (ABICHEQUER e BOHNEN, 2008), em solução nutritiva, enquanto que 'Bluebelle' e 'EEA 406' apresentaram raízes com maior aprofundamento no vaso. Como no caso da morfologia, a distribuição das raízes também pode ser diferente no solo em relação à solução nutritiva, em função de fatores como compactação e ocorrência de substâncias tóxicas. As porcentagens obtidas são semelhantes às encontradas por Lopes et al. (1994) e Macedo et al. (1999), em experimento de campo no mesmo solo da EEA – IRGA. Lopes et al. (1994) observaram que cerca de 55 % do comprimento das raízes do cultivar moderno BR-IRGA 409 encontravam-se na camada de 0 a 5 cm de profundidade e 87 % na de 0 a 20 cm. Estes resultados assemelham-se aos obtidos com o cultivar moderno IRGA 417, com 42,6 % do comprimento das raízes de 0 a 5 cm e 86,6 % de 0 a 20 cm. Em trabalho em solo, com avaliação das raízes até 40 cm de profundidade,

Teo et al. (1995) obtiveram resultados bastante próximos, com cerca de 90 % do comprimento das raízes de três variedades de arroz irrigado situados na camada de 0 a 20 cm. O cultivar do tipo tradicional EEA 406, de porte alto e baixa capacidade de perfilhamento, não desenvolveu raízes mais profundas, diferindo da tendência observada por Yoshida et al. (1982) para este tipo de planta.

TABELA 2 - Distribuição percentual do comprimento das raízes de genótipos de arroz irrigado em quatro camadas do solo, sendo as raízes coletadas no enchimento de grãos.

Camada do solo	Genótipo			
	Avaxi	IRGA 417	Bluebelle	EEA 406
cm	----- % -----			
0 - 5	60,1	42,6	29,9	46,3
5 - 20	32,8	44,0	54,3	45,0
20 - 30	5,0	8,1	12,0	6,7
30 - 40	2,1	5,3	3,8	2,0

Obs.: Raízes acima do solo foram incluídas na camada de 0 a 5 cm de profundidade.

A densidade de raízes dos cultivares de arroz em cada camada de solo encontra-se na Tabela 3. Os valores obtidos estão próximos dos observados por Lopes et al. (1994), que avaliaram a distribuição das raízes da variedade BR-IRGA 409 no solo até a profundidade de 30 cm. Os valores também são semelhantes aos referidos por Yoshida (1981) e aos obtidos por Teo et al. (1995), em que a densidade de raízes variou de 93 cm/cm³, na camada de 0 a 5 cm de profundidade, para 2 cm/cm³, na camada de 35 a 40 cm. A densidade de raízes decresceu com o aumento da profundidade, havendo uma concentração de raízes na superfície. Diferenças entre os genótipos foram verificadas, apenas, na camada de 0 a 5 cm, sendo que 'Avaxi' e 'EEA 406' apresentaram maior densidade de raízes, concordando com sua arquitetura mais superficial.

TABELA 3 - Densidade de raízes de genótipos de arroz irrigado em quatro camadas do solo, sendo as raízes coletadas no enchimento de grãos.

Camada do solo	Genótipo			
	Avaxi	IRGA 417	Bluebelle	EEA 406
cm	----- % -----			
0 - 5	137,6 a	68,5 b	48,8 b	108,9 a
5 - 20	22,1 a	23,5 a	29,7 a	34,9 a
20 - 30	5,1 a	6,2 a	10,0 a	7,6 a
30 - 40	2,1 a	3,9 a	3,1 a	2,3 a

Médias de genótipos seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste de Duncan (P<0,05).

Rendimento de grãos

Os cultivares IRGA 417 e Avaxi apresentaram maior rendimento de grãos (Tabela 4). Explica-se este resultado pelo fato destes genótipos possuírem um potencial de rendi-

mento muito superior ao do 'Bluebelle' e do 'EEA 406'. Os genótipos do tipo moderno, dentro do qual enquadram-se 'IRGA 417' e 'Avaxi', apresentam porte baixo, folhas curtas e eretas (melhor aproveitamento da radiação solar), colmos fortes (resistentes ao acamamento) e alta capacidade de perfilhamento, respondendo a maiores doses de N e atingindo maiores rendimentos (IRGA, 2001). Entretanto, o rendimento de grãos obtido ficou abaixo do pretendido, provavelmente por causa da semeadura em período posterior ao recomendado. Esta implica em limitações climáticas ao rendimento, como menor disponibilidade de radiação solar e possibilidade de baixas temperaturas na floração (IRGA, 2001). No caso deste experimento, o principal fator limitante deve ter sido a menor disponibilidade de radiação solar. Como comparativo, Lopes et al. (2005), em experimento realizado no mesmo local, semeado na época recomendada (em 11/11/2003), obteve rendimentos de 8.151 kg/ha para 'IRGA 417', 6.557 kg/ha para 'EEA 406' e 6.462 kg/ha para 'Bluebelle'. O potencial de rendimento do cultivar IRGA 417 situa-se entre 8.000 e 10.000 kg/ha (IRGA, 2004) e o do 'Avaxi' chega a 12.000 kg/ha (RICETEC, 2004).

TABELA 4 - Rendimento de grãos de genótipos de arroz irrigado em experimento de campo, em Cachoeirinha (RS), na safra 2002/2003.

Genótipos	Rendimento
	----- kg/ha -----
Avaxi	5981 a
IRGA 417	6238 a
Bluebelle	3860 b
EEA 406	3278 b

Médias de genótipos seguidas de mesma letra minúscula não diferem pelo teste de Duncan ($P < 0,05$).

As características contrastantes do 'IRGA 417' e do 'Avaxi', genótipos que apresentaram maior rendimento de grãos, quanto à morfologia das raízes, indicam não haver relação entre estas características e o rendimento de grãos. 'Avaxi' enquadrou-se no grupo de genótipos com maior densidade de raízes e 'IRGA 417' no de menor densidade. Outro exemplo é o comportamento do cultivar EEA 406, que apresentou maior densidade de raízes e maior área superficial das raízes, e apresentou menor rendimento de grãos do que 'IRGA 417' e 'Avaxi'. A análise da correlação entre o rendimento de grãos e a densidade de raízes em todo o monólito confirma esta tendência: $r = -0,294$, não apresentando significância a 5 % de probabilidade.

O rendimento de grãos não se correlacionou com a distribuição das raízes no solo. Os genótipos de maior rendimento tiveram comportamento contrastante: o 'Avaxi' apresentou distribuição das raízes mais superficial e o 'IRGA 417' distribuição mais profunda; da mesma forma, os genótipos de menor rendimento, 'Bluebelle' e 'EEA 406', também desenvolveram raízes de distribuição contrastante. A correlação do rendimento de grãos com a densidade de raízes nas camadas estudadas não foi significativa nas camadas de 0 a 5 cm e 30 a 40 cm, enquanto foi negativa e significativa nas demais camadas (Tabela 5).

No entanto, a obtenção de rendimentos de grãos abaixo do esperado possivelmente tenha prejudicado a análise da relação dos mesmos com a morfologia e a distribuição das raízes. Caso os rendimentos fossem maiores, poderia ter havido maior demanda nutricional e maior competição por nutrientes por raízes adjacentes. Nesta situação, um sistema radicular de maior extensão e mais profundo poderia ser uma vantagem competitiva e proporcionar maiores rendimentos.

TABELA 5 - Correlações do rendimento de grãos dos genótipos de arroz com a densidade de raízes nas quatro camadas de solo estudadas.

Rendimento	Camada do solo			
	0-5 cm	5-20 cm	20-30 cm	30-40 cm
	0,083 NS	-0,711 **	-0,544 *	0,195 NS

NS = r não significativo

* = r significativo a 5 % de probabilidade

** = r significativo a 1 % de probabilidade

Absorção de nutrientes

A absorção de nutrientes foi avaliada através do conteúdo de P e K na parte aérea, nos estádios de floração e maturação (Tabela 6). Os genótipos diferenciaram-se somente com relação ao conteúdo de K na maturação, em que os cultivares IRGA 417 e Avaxi absorveram maior quantidade do nutriente do que o 'EEA 406', com o 'Bluebelle' em posição intermediária. No experimento anterior (ABICHEQUER e BOHNEN, 2008), em solução nutritiva, o cultivar Avaxi também absorveu maior quantidade de K, não havendo diferenças entre os demais genótipos avaliados (IRGA 417, IRGA 419, EEA 406 e Bluebelle). Porém, no trabalho anterior o 'Avaxi' também superou os demais genótipos na absorção de P.

TABELA 6 - Conteúdo de P e K na parte aérea de genótipos de arroz irrigado, na floração e maturação, em experimento de campo.

Genótipos	Floração	
	P	K
	----- g/m ² -----	
Avaxi	3,5 a	18,0 a
IRGA 417	3,1 a	20,9 a
EEA 406	2,7 a	16,7 a
Bluebelle	2,6 a	16,1 a
Genótipos	Maturação	
	P	K
	----- g/m ² -----	
Avaxi	3,2 a	15,6 a
IRGA 417	2,9 a	16,1 a
Bluebelle	2,9 a	14,7 ab
EEA 406	2,6 a	11,6 b

Médias de genótipos seguidas de mesma letra minúscula não diferem pelo teste de Duncan ($P < 0,05$).

As características dos genótipos com maior absorção de K na maturação indicam não haver relação entre a morfologia e a distribuição das raízes e a absorção, pois tiveram comportamento contrastante. ‘Avaxi’ apresentou maior densidade radicular em todo o monólito (de 0 a 40 cm de profundidade) e arquitetura das raízes mais superficial, enquanto que ‘IRGA 417’ apresentou menor densidade radicular e aprofundou mais as raízes. Raciocinando inversamente, na maioria dos casos não houve diferença no conteúdo de nutrientes, mas os genótipos diferenciaram-se quanto à morfologia e distribuição das raízes. Outra indicação é o comportamento do ‘EEA 406’, que possuiu maior densidade radicular e maior área superficial das raízes, o que possibilitaria maior acesso aos nutrientes e maior número de sítios de absorção. No entanto, não absorveu maior quantidade de P e K, nutrientes supridos por difusão e mais afetados pela morfologia das raízes, sendo inclusive superado por ‘IRGA 417’ e ‘Avaxi’ na absorção de K na maturação. A análise das correlações confirma, em termos gerais, a ausência de relação entre morfologia e distribuição das raízes e a absorção de nutrientes. As correlações dos conteúdos de P e K com os parâmetros morfológicos densidade radicular, raio médio e área superficial de raízes foram todas não significativas (Tabela 7). No experimento anterior (ABICHEQUER e BOHNEN, 2008), em solução nutritiva, houve correlação significativa entre absorção de P e K e comprimento de raízes dos genótipos de arroz. Porém, na solução nutritiva não existem fatores importantes no solo, como interação dos íons com os colóides do solo, presença de substâncias tóxicas, atividade de microrganismos e impedimentos ao crescimento radicular, que podem alterar a resposta dos genótipos quanto à absorção de nutrientes. Teo e Beyrouthy (1991), citados por Teo et al. (1995), explicaram as diferenças de absorção de nutrientes em variedades de arroz irrigado pela variação do comprimento das raízes das plantas, em casa-de-vegetação. Porém, os resultados de Teo et al. (1995) concordam com os obtidos neste trabalho, pois não foi observada relação entre a morfologia radicular de três variedades de arroz e a absorção de N, P e K em experimento de campo.

TABELA 7 - Correlações do conteúdo de P e K na parte aérea com densidade radicular, raio médio e área superficial de raízes.

Floração			
Nutriente	Densidade	Raio médio	Área
P	0,075 NS	0,196 NS	0,054 NS
K	0,333 NS	0,365 NS	0,279 NS
Maturação			
Nutriente	Densidade	Raio médio	Área
P	0,037 NS	0,066 NS	0,026 NS
K	-0,496 NS	0,301 NS	-0,463 NS

NS = r não significativo

Para avaliar a relação entre o conteúdo de P e K e a distribuição das raízes no solo realizou-se a análise da cor-

relação do conteúdo destes nutrientes com a densidade de raízes nas quatro camadas estudadas (Tabela 8). Não houve nenhuma correlação significativa, com exceção daquela do conteúdo dos nutrientes na floração com a densidade de raízes de 5 a 20 cm de profundidade (que foi negativa, significativa a 5 %). Assim, a distribuição das raízes no solo não foi determinante da absorção de P e K.

TABELA 8 - Correlações do conteúdo de P e K na parte aérea com a densidade de raízes nas quatro camadas de solo estudadas.

Floração				
Camada do solo				
Nutriente	0-5 cm	5-20 cm	20-30 cm	30-40 cm
P	0,217 NS	-0,525 *	-0,360 NS	-0,171 NS
K	-0,071 NS	-0,531 *	-0,272 NS	0,249 NS
Maturação				
Camada do solo				
Nutriente	0-5 cm	5-20 cm	20-30 cm	30-40 cm
P	0,007 NS	-0,021 NS	-0,273 NS	-0,133 NS
K	-0,327 NS	-0,330 NS	-0,264 NS	0,128 NS

NS = r não significativo

* = r significativo a 5 % de probabilidade

Possivelmente, a absorção de P e K pelos genótipos testados esteja associada a características fisiológicas das raízes relativas à afinidade da membrana plasmática com os nutrientes, que são avaliadas pelos parâmetros cinéticos de absorção (BARBER, 1984). Genótipos que apresentam maior Imax (taxa máxima de absorção), menor Km (constante de Michaelis Menten, indica a afinidade do íon com o carregador na membrana) e menor Cmin (concentração do nutriente acima da qual ocorre absorção) conseguem absorver maior quantidade de nutrientes. O parâmetro Imax é mais importante em concentrações maiores do nutriente na solução do solo, enquanto Km e Cmin influenciam a absorção em concentrações menores (BARBER, 1984). Teo et al. (1995) não encontraram relação entre a morfologia radicular de três variedades de arroz e a absorção de N, P e K em experimento de campo e relacionaram a variação de absorção observada a diferenças nos parâmetros cinéticos de absorção, determinados em experimento anterior (TEO et al., 1992). Anghinoni et al. (1989) compararam quatro variedades de arroz, em solução nutritiva, quanto à cinética de absorção de P, K, Ca e Mg. A variedade Bluebelle apresentou parâmetros cinéticos mais favoráveis para a absorção de nutrientes do que as demais, compensando o menor desenvolvimento radicular apresentado.

Outra possível explicação para a absorção de P e K não estar relacionada com a morfologia e distribuição das raízes do arroz é o fato de que a disponibilidade destes nutrientes normalmente aumenta com o alagamento do solo, além do suprimento às raízes por difusão ser facilitado pela grande quantidade de água disponível (CAMARGO e TEDESCO, 2004). Assim, as características das raízes seriam menos importantes para a absorção no ambiente alagado. Porém, isto não seria válido em caso de esgotamento de nutrientes pela competição entre as raízes.

Houve correlação significativa entre rendimento de grãos e conteúdo de nutrientes ($r = 0,594$ para P e $r = 0,599$ para K, ambos significativos a 5 %). Assim, o aumento do rendimento implicou em maior demanda de nutrientes, mas a absorção não foi determinada pela morfologia e distribuição de raízes.

No entanto, o estudo da relação entre a morfologia e a distribuição de raízes e a absorção de nutrientes pode ter sido prejudicado pela obtenção de rendimentos abaixo do esperado, por causa de semeadura após a época recomendada, e a possível redução da demanda nutricional. Caso houvesse maior competição por nutrientes, poderia haver deficiência na camada superficial do solo, e genótipos com raízes mais compridas e com maior aprofundamento poderiam absorver maior quantidade de nutrientes.

Conclusões

1. Os genótipos de arroz irrigado diferenciam-se quanto à morfologia e distribuição das raízes no solo, não haven-

do relação entre o tipo de planta (moderno, tradicional ou americano) e a morfologia e distribuição das raízes.

2. A morfologia e distribuição das raízes no solo não se correlaciona com a absorção de P e K e o rendimento de grãos de arroz.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO), ao Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul pela estrutura disponibilizada para a realização do trabalho. Também agradecem à empresa RiceTec Ltda., pelo fornecimento das sementes do híbrido Avaxi, e aos Pesquisadores do IRGA Vera Mussóli Macedo, Élio Marcolin e Silvio Genro Junior, pelo apoio no desenvolvimento do experimento.

Referências

ABICHEQUER, A.D.; BOHNEN, H. Comprimento e Arquitetura de Raízes de Genótipos de Arroz Irrigado por Inundação em Solução Nutritiva e sua Relação com Absorção de Nutrientes e Produção de Matéria Seca. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.14, n.1, 2008. (no prelo)

ANGHINONI, I.; VOLKART, C. R.; FATTORE, N.; ERNANI, P. R. Morfologia de Raízes e Cinética de Absorção de Nutrientes em Diversas Espécies e Genótipos de Plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, n. 3, p. 355-361, 1989.

BARBER, S.A. **Soil Nutrient Bioavailability**. New York: John Wiley and Sons, 1984. 398 p.

BOHM, W. **Methods of Studying Root Systems**. New York: Springer-Verlag, 1979. 189 p.

CAMARGO, F.A.O.; TEDESCO, M. J. Solos Alagados. In: BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.J. ; CAMARGO, F. A. O. (Eds.). **Fertilidade dos Solos e Manejo da Adubação de Culturas**. Porto Alegre: Genesis, 2004. p.187-193.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Recomendações de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 3. ed. Passo Fundo: SBRS/NRS; EMBRAPA-CNPT, 1995. 223 p.

COUNCE, P. A.; KEISLING, T. C.; MITCHELL, A. J. A Uniform, Objective, and Adaptive System for Expressing Rice Development. **Crop Science**, Madison, v. 40, n. 2, p. 436-443, 2000.

EPSTEIN, E. **Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives**. New York: John Wiley, 1972. 412 p.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ. **Arroz Irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil**. Porto Alegre, 2001. 128 p.

_____. Contém informações institucionais, técnicas, notícias, projetos, publicações e serviços. Disponível em: <<http://www.irga.rs.gov.br>>. Acesso em: 1 jun. 2004.

KONO, Y. Soil Factors and Root Morphology. In: MATSUO, T.; HOSHIKAWA, K. (Eds.) **Science of the Rice Plant**. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, 1993. v.1: Morphology, p. 507-525.

LOPES, S. I. G.; LOPES, M. C. B.; LIMA, A. L.; SANTOS, A. S.; FREITAS, P. R.; CREMONESI, J.; COSTA, M. S.; LEAL, C. E. B. Avaliação do Ganho Genético do Programa de Melhoramento do IRGA no Período de 1961 a 2004. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 4.; E REUNIÃO DA CULTURA DE ARROZ IRRIGADO, 26., 2005, Santa Maria. **Anais ...** Santa Maria: UFSM, 2005.

_____.; VOLKWEISS, S.J.; TEDESCO, M.J. Desenvolvimento do Sistema Radicular do Arroz Irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, n. 2, p. 273-278, 1994.

MACEDO, V. R. M.; LOPES, M. S.; CORRÊA, N. I.; KLEPKER, D. Avaliação de Sistemas de Cultivo de Arroz Irrigado: Sistema Radicular. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 1.; REUNIÃO DA CULTURA DE ARROZ IRRIGADO, 23., 1999, Pelotas. **Anais ...** Pelotas: EMBRAPA Clima Temperado, 1999. p.274-276.

MORITA, S.; YAMAZAKI, K. Root System. In: MATSUO, T. e HOSHIKAWA, K. (Eds.) **Science of the Rice Plant**. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, 1993. v.1: Morphology, p. 161-186.

OTTOW, J. C. G.; BENCKISER, G.; WATANABE, I.; SANTIAGO, S. Multiple Nutritional Stress as the Prerequisite for Iron Toxicity of Wetland Rice (*Oriza sativa* L.). **Tropical Agriculture**, Surrey, v. 60, n. 2, p.102-106, 1983.

RICETEC. Contém informações institucionais, técnicas, notícias, projetos, publicações e serviços. Disponível em: <<http://www.ricetec.com.br>>. Acesso em: 1 jun. 2004.

SHENK, M. K.; BARBER, S. A. Root Characteristics of Corn Genotypes as Related to P Uptake. **Agronomy Journal**, Madison, v. 71, n. 6, p. 921-924, 1979.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de Solo, Planta e outros Materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p. Boletim Técnico, 5.

TENNANT, D. A Test of a Modified Line Intersect Method of Estimating Root Length. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 63, p. 995-1000, 1975.

TEO, Y. H.; BEYROUTY, C. A.; GBUR, E. E. Nitrogen, Phosphorus and Potassium Influx Kinetic Parameters of Three Rice Cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 15, n. 4, p. 435-444, 1992.

TEO, Y. H.; BEYROUTY, C. A.; NORMAN, R. J.; GBUR, E. E. Nutrient Uptake Relationship to Root Characteristics of Rice. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 171, n. 2, p. 297-302, 1995.

YOSHIDA, S. **Fundamentals of Rice Crop Science**. Manila: The International Rice Research Institute, 1981. 289 p.

YOSHIDA, Y.; BHATTARHACHARJEE, D. P.; CABUSLAY, G. S. Relationship Between Plant Type and Root Growth in Rice. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 28, n. 4, p. 473-482, 1982.