

UTILIZAÇÃO DE FÓSFORO E CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA RADICULAR E DA PARTE AÉREA DA PLANTA DE ARROZ

IVALDO PACHECO SANT'ANA¹
EDVALDO VIEIRA PACHECO SANT'ANA²
NAND KUMAR FAGERIA¹
ADELSON DE BARROS FREIRE¹

RESUMO – A seleção de plantas mais eficientes no uso do fósforo é importante para tornar mais econômica a cultura do arroz e, assim, maximizar a produção de grãos. Conduziu-se este trabalho com o objetivo de estudar as inter-relações que possam ocorrer entre a eficiência no uso do P e outras características da planta do arroz (*Oryza sativa* L.). Foram avaliados 25 genótipos de terras altas cultivados em solo e *in vitro*, nos níveis baixo (0 mg de P dm⁻³) e alto (150 mg de P dm⁻³, em solo, e 17 mg de P dm⁻³ em meio de cultura).

Em solo com nível baixo de P, a altura e o número de raízes da planta foram as características que tiveram maior efeito direto na eficiência de utilização do P. No nível alto de P, o número de folhas e comprimento das raízes da planta foram as características que tiveram maior efeito direto. *In vitro*, tanto no baixo como no alto nível de P, o teor de P acumulado e o volume da raiz foram as características que tiveram maior efeito direto na eficiência de utilização do P.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: *Oryza sativa*, correlação, raízes, folhas, fósforo.

PHOSPHORUS UTILIZATION AND CHARACTERISTICS OF ROOT AND TOP OF RICE PLANT

ABSTRACT – The improvement of rice plants (*Oryza sativa* L.) for better P use efficiency is important to decrease the cost of rice production and maximizing yields. The objective of the present study was to understand the relationship among root and shoot characteristics with P use efficiency and other characteristics of the rice plant. Twenty-five genotypes of rice were grown in soil and *in vitro* under two level of P: low (0 mg of P dm⁻³) and high (150 mg of P dm⁻³)

in soil, and 0 and 17 mg of P dm⁻³ *in vitro*. In soil at low level of P, the plant height and number of root per plant had the highest direct effect on P use efficiency. At high P level, the number of leaves per plant and root length had the highest direct effect on P use efficiency. *In vitro*, under all conditions of evaluation and levels of P, the level of P accumulation in the plant and root volume had the highest direct effect on P use efficiency.

INDEX TERMS: *Oryza sativa*, correlation, roots, leaves, phosphorus.

INTRODUÇÃO

O fósforo é um dos principais nutrientes do arroz e sua deficiência pode afetar a planta, provocando redução no crescimento, no perfilhamento, no sistema radicular e, conseqüentemente, na produtividade (Fageria, 1999).

No Brasil, o arroz de terras altas é cultivado principalmente em solos de cerrados que se caracterizam pela baixa capacidade de retenção de água, alta acidez, baixa disponibilidade de nutrientes, principalmente N, P, Ca e Mg. Nesses solos, o P acha-se fortemente fixado e indisponível para a planta e, assim, altos níveis de fertili-

zantes fosfatados são necessários para se produzir nessas condições (Fageria, 1984; Barbosa Filho, 1989).

Há diferenças significativas entre genótipos de arroz na capacidade de absorver e utilizar o P disponível no solo (Sant'Ana, 2000; Furlani & Furlani, 1991; Clark & Duncan, 1991; Fageria, 1992). O perfilhamento, a altura da planta e o desenvolvimento radicular são influenciados pelo nível de P disponível para a planta de arroz (Fageria, 1992). Entretanto, as possíveis associações entre essas características da planta de arroz com sua capacidade de absorver e utilizar o P são, ainda, indefinidas.

1. Engenheiro Agrônomo, Dr., Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPaf), Caixa Postal 179 – 75375-000 – Santo Antônio de Goiás, GO. fageria@cnpaf.embrapa.br.

2. Engenheiro Agrônomo, M.Sc., Universidade Federal de Goiás (UFG), Caixa Postal 131 – 74001-970 – Goiânia, GO.

Furlani et al. (1983) constataram que em condições de baixa disponibilidade de P em solução nutritiva, a massa da parte aérea e das raízes secas foram as características que mais se relacionaram com a eficiência de utilização de P e permitiram a diferenciação de genótipos de arroz. Fageria et al. (1988), trabalhando com quatro níveis de P, observaram que os genótipos de arroz variaram consideravelmente na capacidade de extração do P do solo e que a produção de massa da parte aérea e grãos secos foram as características que possibilitaram a distinção entre eles em eficientes e não-eficientes.

A produção de massa de grãos secos e os componentes de produção foram significativamente aumentados com a aplicação de P e a produção de grãos aumentou até a dose de 150 mg de P kg⁻¹ do solo (Fageria, 1991).

A obtenção de plantas de arroz mais eficientes na utilização do P é a maneira mais econômica de se reduzir os custos de produção dessa cultura, especialmente nas condições de cerrado (Clark & Duncan, 1991; Fageria, 1992). O conhecimento das associações dessa eficiência com outras características da planta do arroz é de grande importância no melhoramento desse cereal e o parâmetro que melhor define essas relações é o coeficiente de correlação genotípica, que é isento de efeito ambiental (Venkovski & Barriga, 1992). Esse coeficiente mede o grau com que as duas variáveis estão associadas mediante a quantidade de variação de um dado caracter que pode ser explicado pela função linear de um outro (Gomez & Gomez, 1976).

Objetivou-se com este trabalho determinar as possíveis associações que possam ocorrer entre a eficiência no uso de P e outras características da planta de arroz.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em solo (condição S), em casa-de-vegetação e *in vitro* (condição V) no Laboratório de Biotecnologia da Embrapa Arroz e Feijão, em Santo Antônio de Goiás, GO. No experimento em solo, as plantas desenvolveram-se em vasos com 0,75 kg de um Latossolo Vermelho-Escuro, textura argilosa (LE), cuja análise química (0-20 cm) da amostra revelou os seguintes resultados: pH (H₂O) = 5,3; M.O. = 27 g kg⁻¹; Ca = 0,9 cmol_c dm⁻³; Mg = 0,4 cmol_c dm⁻³; Al = 0,8 cmol_c dm⁻³; P = 0,3 mg dm⁻³; K = 48 mg dm⁻³; Cu = 2,0 mg dm⁻³; Zn = 0,6 mg dm⁻³; Fe = 138 mg dm⁻³ e Mn = 7,0 mg.dm⁻³.

O Ca, Mg e Al foram extraídos com solução de 1 mol L⁻¹ KCl, sendo o Ca e o Mg determinados por titulação de EDTA, e o Al, por titulação de NaOH. O P e o K foram extraídos pelo extrator Mehlich 1 (0,05 mol L⁻¹ HCl + 0,0125 mol L⁻¹ H₂SO₄) e determinados por colorímetro e fotômetro de chama, respectivamente. Os micronutrientes foram determinados na mesma solução do P, por absorção atômica, e a matéria orgânica (M.O.), pelo método de Walkley e Black (Embrapa, 1997).

No experimento em solo, os tratamentos de P foram: 0 mg de P dm⁻³ (baixo) e 150 mg de P dm⁻³ (alto) do solo (super triplo). Cada vaso recebeu 80 mg de N [(NH₄)₂SO₄], 10 mg de K (KCl) e 75 mg de FTE-BR-12 como fonte de micronutrientes. Foram semeadas dez sementes por vaso. Após dez dias da semeadura, foi realizado o desbaste, deixando-se cinco plantas por vaso. As plantas invasoras foram retiradas manualmente, não tendo sido observados ataques de pragas e doenças que justificassem seu controle químico. Foram efetuadas duas irrigações diárias, sendo uma pelo manhã e outra, no final da tarde.

No experimento *in vitro*, foi utilizado o meio de cultura MS modificado (Murashige & Skoog, 1962) para cultura de embriões, suplementado com 30 g L⁻¹ de sacarose, 2,0 mg L⁻¹ de glicina, 0,5 mg L⁻¹ de ácido nicotínico, 0,5 mg L⁻¹ de pirodoxina e 0,1 mg L⁻¹ de tiamina.

O P foi adicionado ao meio de cultura na forma de fosfato monobásico de potássio (KH₂PO₄). As dosagens utilizadas do produto foram 0 e 17 mg dm⁻³ de P, que correspondem ao baixo e ao alto nível de P.

Após o ajuste do pH para 5,8 com NaOH (0,5 N), o meio foi solidificado com Phytigel (5 g L⁻¹) e submetido à autoclavagem por 15 minutos, à uma temperatura de 120°C e pressão de 1,5 atm.

Sementes das cultivares/linhagens foram descascadas manualmente (eliminação da lema e pálea) e, em seguida, foram desinfestadas em uma solução de álcool etílico 70% durante dois minutos. Uma segunda desinfestação foi feita usando uma solução de hipoclorito de sódio a 3%, na qual permaneceram por 25 minutos. A seguir, as sementes foram lavadas quatro vezes em água destilada e esterilizada e, depois, colocadas em placas de Petri com água destilada, onde permaneceram durante 20 horas.

A excisão dos embriões foi feita utilizando bisturi submerso em álcool etílico a 70% e flambado antes de cada operação. Os embriões foram cuidadosamente seccionados e imediatamente transferidos para o meio de cultura em magentas com capacidade de 650 cm³, contendo 40 ml de meio de cultura. Em se-

guida, as magentas foram vedadas com parafilme e incubadas em câmara de crescimento a uma temperatura de 26°C e fotoperíodo de 16 horas de luz. Os da-

dos foram coletados de cinco plantas, sendo, portanto, descartadas duas plantas por magenta.

Em ambos os experimentos, foram utilizados 25 genótipos de arroz de terras altas (Tabela 1).

TABELA 1 – Nome, origem, tipo de planta e número de identificação das cultivares e linhagens de arroz (*Oryza sativa*) de terras altas utilizadas nos experimentos conduzidos em solo e *in vitro*.

Cultivares e linhagens	Origem	Tipo de planta	Identificação da Embrapa
ITA 235	Nigéria	Tradicional	CNA 3178
Rio Paranaíba	Brasil	Tradicional	CNA 4120
Guarani	Brasil	Tradicional	CNA 4121
CNA 444-B38-7-B-4	Brasil	Tradicional	CNA 4178
CNA 425-BM46-1-B-1	Brasil	Tradicional	CNA 4181
Nº 7452 Chianan8 X Kagoshima Hakamuri 1	Coréia	Tradicional	CNA 4474
TOX 1785-19-18	Nigéria	Tradicional	CNA 4640
L 80-67	Costa do Marfim	Tradicional	CNA 5021
CNA 095-BM30-BM27P-15-2	Brasil	Tradicional	CNA 5164
CNA 095-BM30-BM27P-17-2	Brasil	Tradicional	CNA 5165
Douradão	Brasil	Tradicional	CNA 5166
Caiapó	Brasil	Tradicional	CNA 6187
Carajás	Brasil	Tradicional	CNA 6710
CT 6949-2-3-3-1-B	Colômbia	Não tradicional	CNA 7460
Canastra	Brasil	Não tradicional	CNA 7475
CT 6196-33-2-6-B	Colômbia	Não tradicional	CNA 7755
Progresso	Brasil	Não tradicional	CNA 7937
Primavera	Brasil	Não Tradicional	CNA 8070
Carisma	Brasil	Não tradicional	CNA 8305
CT 11251-7-2-M-1-M-M	Colômbia	Não tradicional	CNA 8436
Maravilha	Brasil	Não radicional	CNA 8533
CNAx 4883-7-M-M2-9	Colômbia	Tradicional	CNA 8693
CNAx 4914-78-M-M-8	Colômbia	Tradicional	CNA 8705
3A-79-BRM2-M-M2-3	Brasil	Tradicional	CNA 8707
CNAx 4914-36-M-M-3	Brasil	Tradicional	CNA 8711

O experimento foi um fatorial disposto em delineamento de blocos completos casualizados com 25 cultivares em dois níveis de P e três repetições, sendo utilizada a média dos genótipos para cada variável estudada. Os coeficientes de correlações e análises de trilha (path analysis) foram obtidos pelo programa Genes.

Os dados foram coletados após 25 dias, a contar da data de emergência das plântulas. Na colheita, as plantas tiveram suas raízes lavadas cuidadosamente em água corrente para eliminação do solo ou meio de cultura. Foram tomados os seguintes dados: altura da planta (AP) - medida da ponta da folha mais longa ao colo da planta; número de perfilhos (NP) - total de perfilhos por planta; número de folhas (NF) - total do número de folhas por planta; comprimento das raízes (CR) - medido

do colo da planta até a ponta da raiz mais longa; número de raízes (NR) - número total de raízes por planta; diâmetro da raiz (DR) - medido na porção mediana da raiz mais longa; volume médio das raízes (VR) - medido pelo deslocamento de água provocado pela introdução das raízes em uma proveta graduada.

Na determinação do teor e acúmulo de P (AC), as plantas foram secas em estufa a 70°-80°C durante 72 horas. Em seguida, foram pesadas e moídas em moinho equipado com peneira de malha de 20 “meshes”. A digestão foi feita com uma mistura de 2:1 de ácido nítrico e perclórico (Moraes & Rabelo, 1986) e o P, determinado pelo método colorimétrico (Yoshida et al., 1976).

A eficiência de utilização de P pela planta (EU) foi determinada pela fórmula:

$$\text{Eficiência de utilização de P (EU)} = \frac{\text{Matéria seca da parte aérea (mg)}}{\text{Acumulação de P na parte aérea (mg)}}$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma visão mais detalhada da associação entre variáveis é dada pela análise de trilha (path analysis), que permite o desdobramento dos coeficientes de correlação, mostrando os efeitos diretos e indiretos das variáveis sobre uma outra dependente.

Na condição S, no baixo nível de P, a variável AP teve o maior efeito direto sobre EU (0,886), sendo esse efeito positivo (Figura 1). Isso significa que a seleção de plantas de maior AP levará a um aumento da EU, e isso é confirmado pela correlação positiva (0,393) entre AP e EU (Tabela 2). A maioria das cultivares/linhagens usadas nesse experimento é do tipo tradicional de arroz de terras altas, que se caracterizam pelo porte alto, baixo perfilhamento e folhas longas. Esses materiais são adaptados às condições adversas dos solos de cerrado e têm mostrado serem eficientes na extração do P em solos pobres desse nutriente (Fageria et al., 1988; Fageria & Barbosa Filho, 1982). Entretanto, no nível alto de P, a variável NF teve o maior efeito direto sobre EU (1,618) mostrando que, nessas condições, plantas de arroz com maior NF serão mais eficientes na utilização de P (Figura 2). O efeito indireto de NF sobre EU via AP e NP foi negativo (-0,391), praticamente anulando seu efeito direto e resultando na ausência de associação entre essa característica e EU (Tabela 3). O alto valor negativo obtido indiretamente pela NP é indicativo de que plantas menos perfilhadoras terão maior EU nessas condições. As cultivares de terras altas têm, geralmente, menor capacidade de perfilhamento e isso de-

ve estar associado a sua adaptação às condições deficientes em nutrientes do sistema de terras altas. Entretanto, Sant’Ana (2000) obteve diferenças significativas para o perfilhamento entre níveis de P em arroz de terras altas, o que mostra a capacidade de resposta dessas cultivares ao nutriente. O P aumenta o número de perfilhos dos cereais em geral e, com isso, o número de panículas e, conseqüentemente, desempenha um importante papel na produção de grãos (Barbosa Filho, 1989).

Na condição V, e em ambos os níveis de P, a variável AC apresentou o maior efeito direto e negativo sobre EU (Figuras 1 e 2). Isso indica que a seleção de plantas com maior AC levará a uma redução na EU nas condições desses experimentos. Assim, plantas com alta concentração de P na parte aérea terão menor EU, e isso é confirmado pelas correlações negativas obtidas entre AC e EU (Tabelas 2, 3 e 5). A máxima eficiência do uso de P é dependente do seu nível crítico, acima do qual essa eficiência decai (Fageria, 1992). As cultivares avaliadas, embora eficientes na extração de P em solos pobres nesse elemento, não apresentaram alta eficiência no seu uso nas condições *in vitro*. Isso provavelmente ocorreu por não haver fixação do fósforo no meio de cultura *in vitro* e, conseqüentemente, existir uma maior disponibilidade do elemento para a planta (Caldas et al., 1998). Essa maior disponibilidade pode provocar um desequilíbrio na relação absorção/crescimento da planta, resultando numa associação negativa entre AC e EU (Sant’Ana, 2000; Fageria, 1992).

TABELA 2 – Coeficientes de correlações genéticas entre as variáveis altura da planta (AP), número de folhas por planta (NF), número de perfilhos por planta (NP), teor de P acumulado na planta (AC), comprimento de raiz (CR), número de raízes (NR), diâmetro da raiz (DR), volume das raízes (VR) e eficiência na utilização do P (EU) em plantas de arroz em solo com baixo nível de P.

	NF	NP	AC	CR	NR	DR	VR	EU
AP	-0,520	-0,433	0,328	-0,010	-0,447	0,317	0,258	0,393
NF		0,359	0,619	0,103	0,591	-0,300	-0,672	-0,684
NP			0,061	0,478	-0,178	0,533	-0,246	-0,122
AC				0,250	0,818	-0,721	-0,200	-0,408
CR					-0,255	-0,229	0,095	-0,093
NR						-0,322	-0,212	-0,717
DR							0,035	0,571
VR								-0,186

TABELA 3 – Coeficientes de correlações genéticas entre as variáveis altura da planta (AP), número de folhas por planta (NF), número de perfilhos por planta (NP), teor de P acumulado na planta (AC), comprimento de raiz (CR), número de raízes (NR), diâmetro da raiz (DR), volume das raízes (VR) e eficiência na utilização do P (EU) em planta de arroz em solo com alto nível de P.

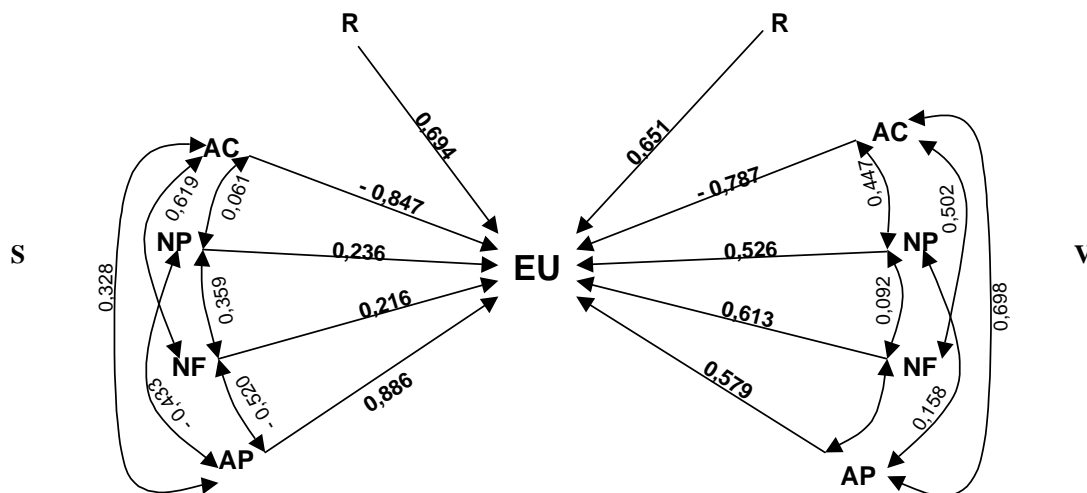
	NF	NP	AC	CR	NR	DR	VR	EU
AP	-0,391	-0,253	-0,141	0,773	-0,495	0,371	0,134	0,507
NF		0,968	0,075	-0,095	0,334	-0,127	0,206	-0,140
NP			0,497	-0,059	0,134	0,019	0,259	-0,153
AC				1,115	-0,397	-0,264	-0,065	-0,782
CR					-0,467	0,862	0,632	0,484
NR						-0,276	0,166	0,213
DR							0,729	0,167
VR								0,370

Das características radiculares, a variável NR apresentou o maior efeito direto e negativo (-0,737) sobre EU na condição S e no nível baixo de P (Figura 3). Entretanto, no nível alto de P, foi a característica CR quem apresentou maior efeito direto e positivo (2,106) sobre EU (Figura 4). Seu efeito indireto via DR foi de alto valor e associado aos efeitos indiretos via NR e VR resultando na correlação positiva (0,484) entre CR e EU (Tabela 3). Assim, na condição S e alto nível de P, plantas com raízes mais longas foram mais eficientes na utilização desse nutriente. O

alto efeito indireto e negativo de CR via DR indicam que raízes mais finas favorecerão um maior EU nessa condição. Isso também é confirmado pelo alto efeito indireto e positivo (1,817) de DR via CR sobre EU. Geralmente, as cultivares melhoradas de arroz de terras altas brasileiras tendem a ter raízes mais finas quando comparadas com as tradicionais (Sant'Ana, 1994). Por outro lado, na condição de baixa disponibilidade de um nutriente, é vantajoso para a planta ter um sistema radicular com maior número de raízes, o que permite explorar o solo com maior eficiência. En-

tretanto, em condições de maior disponibilidade de P no solo, raízes mais longas possibilitam a planta extrair, além de nutrientes, água das camadas mais pro-

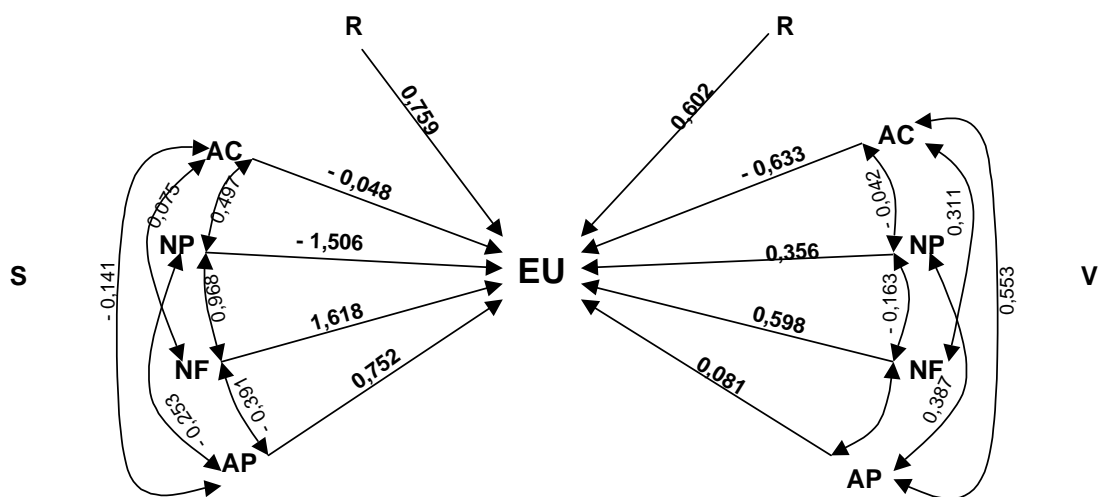
fundas, o que é fundamental em arroz de terras altas (Fageria, 1992; Chang et al., 1982).



Efeitos indiretos das variáveis

S		V	
Variável =====> AP		Variável =====> AP	
Efeito indireto via NF	-0,112	Efeito indireto via NF	-0,064
Efeito indireto via NP	-0,02	Efeito indireto via NP	-0,015
Efeito indireto via AC	-0,278	Efeito indireto via TA	0,374
Variável =====> NF		Variável =====> NF	
Efeito indireto via AP	-0,460	Efeito indireto via AP	0,034
Efeito indireto via NP	0,084	Efeito indireto via NP	-0,008
Efeito indireto via AC	-0,524	Efeito indireto via TA	0,637
Variável =====> NP		Variável =====> NP	
Efeito indireto via AP	-0,383	Efeito indireto via AP	0,012
Efeito indireto via NF	0,077	Efeito indireto via NF	-0,013
Efeito indireto via AC	-0,051	Efeito indireto via TA	0,419
Variável =====> AC		Variável =====> AC	
Efeito indireto via AP	0,290	Efeito indireto via AP	-0,027
Efeito indireto via NF	0,133	Efeito indireto via NF	0,087
Efeito indireto via NP	0,014	Efeito indireto via NP	0,037

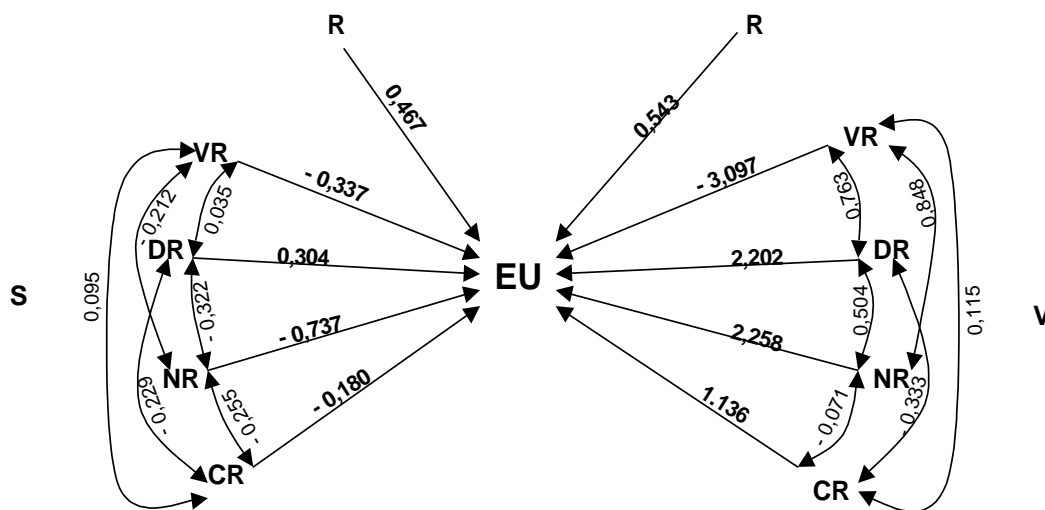
FIGURA 1 – Inter-relações entre as variáveis altura da planta (AP), número de folhas (NF), número de perfílios (NP) e P acumulado na planta (AC) e seus efeitos diretos e indiretos na eficiência de utilização do P (EU) pela planta de arroz em nível baixo de P em solo (S) e *in vitro* (V).



Efeitos indiretos das variáveis

S		V	
Variável =====> AP		Variável =====> AP	
Efeito indireto via NF	0,014	Efeito indireto via NF	0,420
Efeito indireto via NP	-0,043	Efeito indireto via NP	0,180
Efeito indireto via AC	0,444	Efeito indireto via AC	0,494
Variável =====> NF		Variável =====>NF	
Efeito indireto via AP	-0,035	Efeito indireto via AC	-0,559
Efeito indireto via NP	0,166	Efeito indireto via NP	-0,076
Efeito indireto via AC	-0,232	Efeito indireto via AC	0,419
Variável =====>NP		Variável =====>NP	
Efeito indireto via AP	-0,023	Efeito indireto via AP	-0,317
Efeito indireto via NF	-0,036	Efeito indireto via NF	-0,100
Efeito indireto via AC	-0,265	Efeito indireto via AC	0,269
Variável =====>AC		Variável =====>AC	
Efeito indireto via AP	-0,041	Efeito indireto via AP	0,38
Efeito indireto via NF	-0,009	Efeito indireto via NF	-0,279
Efeito indireto via NP	0,046	Efeito indireto via NP	-0,135

FIGURA 2 – Inter-relações entre as variáveis altura da planta (AP), número de folhas (NF), número de perfilhos (NP) e P acumulado na planta (AC) e seus efeitos diretos e indiretos na eficiência de utilização do P (EU) pela planta de arroz em nível alto de P em solo (S) e *in vitro* (V).



Efeitos indiretos das variáveis

S		V	
Variável =====>		Variável =====>	
CR		CR	
Efeito indireto via NR	0,188	Efeito indireto via NR	-0,161
Efeito indireto via DR	-0,069	Efeito indireto via DR	-0,733
Efeito indireto via VR	-0,032	Efeito indireto via VR	-0,358
NR		NR	
Efeito indireto via CR	0,046	Efeito indireto via CR	-0,081
Efeito indireto via DR	-0,098	Efeito indireto via DR	1,110
Efeito indireto via VR	0,071	Efeito indireto via VR	-2,629
DR		DR	
Efeito indireto via CR	0,041	Efeito indireto via CR	-0,378
Efeito indireto via NR	0,237	Efeito indireto via NR	1,138
Efeito indireto via VR	-0,011	Efeito indireto via VR	-2,365
VR		VR	
Efeito indireto via CR	-0,017	Efeito indireto via CR	0,131
Efeito indireto via NR	0,156	Efeito indireto via NR	1,916
Efeito indireto via DR	0,010	Efeito indireto via DR	1,682

FIGURA 3 – Inter-relações entre as variáveis comprimento da raiz (CR), número de raízes (NR), diâmetro da raiz (DR) e volume da raiz (VR) e seus efeitos diretos e indiretos na eficiência de utilização do P (EU) pela planta de arroz em nível baixo de P em solo (S) e *in vitro* (V).

Na condição V, no baixo nível de P, a característica de maior efeito direto sobre EU (-3,097) foi VR e esse efeito foi negativo (Figura 3).

Os efeitos indiretos de VR sobre EU via NR e DR foram altos e positivos, o que contrabalançou o alto efeito direto e negativo dessa variável, resultando uma

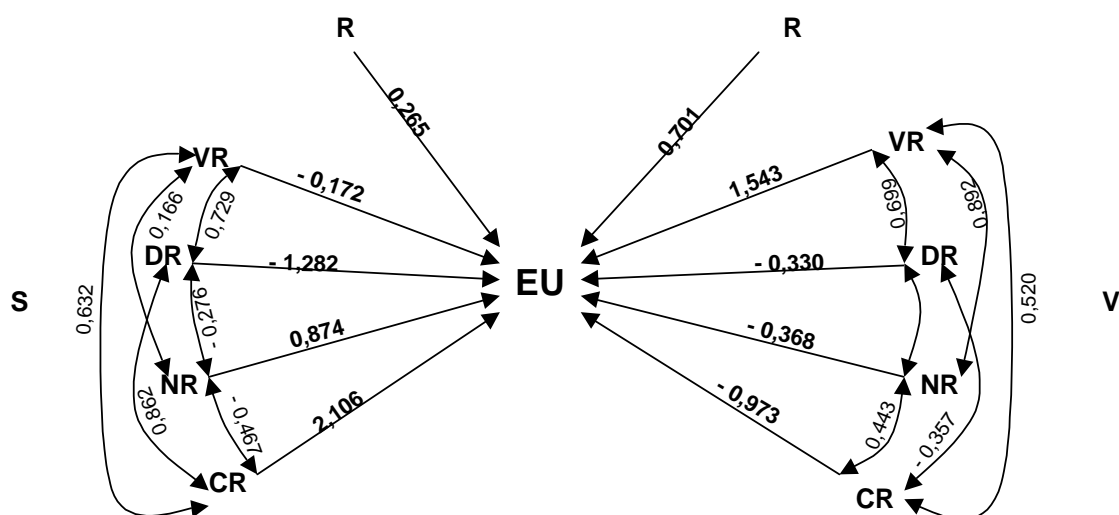
correlação positiva com EU (Tabela 4). Isto mostra que, embora o coeficiente de correlação entre VR e EU seja alto e positivo, isso foi devido somente aos efeitos indiretos de CR, NR e DR, que foram positivos e de alto valor. Assim, a seleção de plantas com maior VR, conseqüentemente, reduzirá a EU, o que não é desejável. Entretanto, a seleção de plantas com maior CR, NR e DR anulará esse efeito negativo de VR, provocando, assim, um aumento da EU.

No alto nível de P, a variável de maior efeito direto sobre EU foi, também, VR (1,543); porém, nesse caso, o efeito foi positivo (Figura 4). Os seus efeitos indiretos via CR, NR e DR foram negativos, resultando na correlação positiva entre VR e EU (Tabela 5). Os efeitos diretos das outras variáveis foram todos negativos, significando que, em um ambiente

de alta disponibilidade de P, essas características interagem de maneira contrária quando em um ambiente carente desse macronutriente. Assim, na condição V e em um ambiente de alta disponibilidade de P, a seleção de plantas com maior VR levará a um aumento de EU. Entretanto, as raízes tenderão a ter menor CR, NR e DR. Sant'Ana (2000) constatou que as características radiculares variam de acordo com o meio e a dose de P utilizada. Embora tenha sido relatado que o maior diâmetro da raiz é uma característica importante no arroz de terras altas, devido a sua maior capacidade de penetrar no solo e extrair água das camadas mais profundas (IITA, 1982), Sant'Ana (1994) observou que as cultivares modernas de arroz de terras altas brasileiras têm, em média, raízes mais longas e finas que as tradicionais.

TABELA 4 – Coeficientes de correlações genéticas entre as variáveis altura da planta (AP), número de folhas por planta (NF), número de perfilhos por planta (NP), teor de P acumulado na planta (AC), comprimento de raiz (CR), número de raízes (NR), diâmetro da raiz (DR), volume das raízes (VR) e eficiência na utilização do P (EU) em planta de arroz *in vitro* em baixo nível de P.

	NF	NP	AC	CR	NR	DR	VR	EU
AP	0,427	0,158	0,698	0,186	0,612	0,688	0,800	0,375
NF		0,092	0,502	-0,288	0,667	0,364	0,557	0,513
NP			0,447	0,205	0,535	-0,180	0,403	0,323
AC				0,207	0,597	0,380	0,768	0,161
CR					-0,071	-0,333	0,115	-0,117
NR						0,504	0,848	0,658
DR							0,763	0,596
VR								0,633



Efeitos indiretos das variáveis

S		V	
Variável =====>	CR	Variável =====>	CR
Efeito indireto via NR	-0,408	Efeito indireto via NR	-0,163
Efeito indireto via DR	-1,105	Efeito indireto via DR	0,118
Efeito indireto via VR	-0,108	Efeito indireto via VR	0,803
Variável =====>	NR	Variável =====>	NR
Efeito indireto via CR	-0,985	Efeito indireto via CR	-0,431
Efeito indireto via DR	0,354	Efeito indireto via DR	-0,187
Efeito indireto via VR	-0,028	Efeito indireto via VR	1,376
Variável =====>	DR	Variável =====>	DR
Efeito indireto via CR	1,816	Efeito indireto via CR	0,347
Efeito indireto via NR	-0,241	Efeito indireto via NR	-0,208
Efeito indireto via VR	-0,125	Efeito indireto via VR	1,078
Variável =====>	VR	Variável =====>	VR
Efeito indireto via CR	1,333	Efeito indireto via CR	-0,506
Efeito indireto via NR	0,145	Efeito indireto via NR	-0,328
Efeito indireto via DR	-0,935	Efeito indireto via DR	-0,230

FIGURA 4 – Inter-relações entre as variáveis comprimento da raiz (CR), número de raízes (NR), diâmetro da raiz (DR) e volume da raiz (VR) e seus efeitos diretos e indiretos na eficiência de utilização do P (EU) pela planta de arroz em nível alto de P em solo (S) e *in vitro* (V).

TABELA 5 – Coeficientes de correlações genéticas entre as variáveis altura da planta (AP), número de folhas por planta (NF), número de perfilhos por planta (NP), teor de P acumulado na planta (AC), comprimento de raiz (CR), número de raízes (NR), diâmetro da raiz (DR), volume das raízes (VR) e eficiência na utilização do P (EU) em planta de arroz *in vitro* em alto nível de P.

	NF	NP	AC	CR	NR	DR	VR	EU
AP	0,684	0,387	0,553	0,447	0,825	0,541	0,813	0,278
NF		-0,163	0,311	0,273	0,506	0,510	0,814	0,398
NP			-0,042	0,299	0,125	0,197	0,154	0,316
AC				0,952	0,487	-0,302	0,490	-0,417
CR					0,443	-0,357	0,520	-0,214
NR						0,566	0,892	0,389
DR							0,699	0,888
VR								0,477

CONCLUSÕES

a) Os efeitos diretos e indiretos de cada variável sobre a eficiência na utilização do P em arroz são dependentes da condição de avaliação (solo e *in vitro*) e da dose de P utilizada;

b) Em solo, no nível baixo de P, a altura da planta e o número de raízes da planta são as características que têm maior efeito direto na eficiência de utilização do P. Por outro lado, no nível alto de P, o número de folhas e o comprimento das raízes da planta são as características que têm maior efeito direto na eficiência de utilização do P;

c) *In vitro*, tanto no baixo como no alto nível de P, o teor de P acumulado e o volume da raiz são as características que têm maior efeito direto na eficiência de utilização do P;

d) Na condição em solo, na seleção de plantas eficientes na utilização do P em solos pobres nesse nutriente, ênfase deve ser dada na altura da planta (maior) e número de raízes (menor), ao passo que em solos ricos, maior ênfase deve ser dada ao número de folhas (maior) e ao comprimento da raiz (maior);

e) Na condição *in vitro*, na seleção de plantas eficientes na utilização do P em baixa concentração, ênfase deve ser dada na acumulação de P pela planta (menor) e no volume da raiz (menor), enquanto em alta concentração, maior ênfase deve ser dada à acumulação de P pela planta (menor) e ao volume da raiz (maior).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA FILHO, M. P. Adubação do arroz de sequeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 14, n. 161, p. 32-38, 1989.

CALDAS, L. S.; HARIDASAN, P.; FERREIRA, M. E. Meios nutritivos. In: TORRES, A. C.; CALDAS, L. S.; BUSO, J. A. (Eds.). **Cultura de tecidos e transformação genética de plantas**. Brasília: Embrapa-SPI/CNPH, 1998. v. 1, p. 87-132.

CHANG, T. T.; LORESTO, G. C.; O'TOOLE, J. C.; ARMENTA-SOTO, J. L. Strategy and methodology of breeding rice for drought-prone areas. In: **IRRI. Drought resistance in crops with emphasis on rice**. Los Baños: [s.n.], 1982. p. 217-244.

CLARK, R. B.; DUNCAN, R. R. Improvement of plant mineral nutrition through breeding. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 27, p. 219-240, 1991.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FAGERIA, N. K. **Adubação e nutrição mineral da cultura de arroz**. Rio de Janeiro: Campus; Goiânia: Embrapa-CNPAP, 1984. 341 p.

FAGERIA, N. K. Nutrição mineral. In: VIEIRA, N. R. de A.; SANTOS, A. B. dos; SANT'ANA, E. P. (Eds.).

- A cultura do arroz no Brasil.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. p. 173-196.
- FAGERIA, N. K. Nutrient use efficiency in crop production. In: _____. **Maximizing crop yields.** New York: Marcel Dekker, 1992. p. 125-163.
- FAGERIA, N. K. Resposta de cultivares de arroz a fertilizante fosfatado em Latossolo Vermelho-Escuro no Brasil Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 1, p. 63-67, 1991.
- FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P. Avaliação de cultivares de arroz em função de suas tolerâncias ao baixo nível de fósforo disponível do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 6, n. 2, p. 146-151, 1982.
- FAGERIA, N. K.; WRIGHT, R. J.; BALIGAR, V. C. Rice cultivar evaluation for phosphorus use efficiency. **Plant and Soil**, Hague, v. 111, n. 1, p. 105-109, 1988.
- FURLANI, A. M. C.; BATAGLIA, O. C.; FURLANI, P. R.; AZZINI, L. E.; CAMARGO, O. B. Avaliação de genótipos de arroz quanto à eficiência na utilização de fósforo em solução nutritiva e em solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, n. 3, p. 291-303, 1983.
- FURLANI, P. R.; FURLANI, A. C. M. Tolerância a alumínio e eficiência a fósforo em milho e arroz: características independentes. **Bragantia**, Campinas, v. 50, n. 2, p. 331-340, 1991.
- GOMEZ, K. A.; GOMEZ, A. A. **Statistical procedures for agricultural research with emphasis on rice.** Los Baños: IRRI, 1976. 294 p.
- IITA (Nigeria). **IITA research highlights for 1981.** Ibadan, 1982.
- MORAES, J. F. V.; RABELO, N. A. **Um método simples para a digestão de amostras de plantas.** Goiânia: Embrapa-CNPAF, 1986. 12 p. (Embrapa-CNPAF. Documentos, 12).
- MURASHIGE, T.; SKOOG, F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 15, p. 473-497, 1962.
- SANT'ANA, E. V. P. Associação genética entre características da parte aérea e do sistema radicular em arroz de sequeiro. In: ENCONTRO DE GENETICISTAS GOIANOS, 2., 1994, Goiânia. **Anais...** Goiânia: UFG, 1994.
- SANT'ANA, E. V. P. **Comportamento de genótipos de arroz (*Oryza sativa* L.) de terras altas em dois níveis de fósforo em solo e *in vitro*.** 2000. 143 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiânia, Goiânia.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento.** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 392 p.
- YOSHIDA, S.; FORN, D. A.; COCK, J. H.; GOMES, K. A. **Laboratory manual for physiological studies of rice.** Los Baños: IRRI, 1976.