



Avaliação de parâmetros de produtividade em variedades de arroz de terras altas submetidas ao estresse hídrico⁽¹⁾.

Andressa Fabiane Faria de Souza⁽²⁾; Vinicius Cadete Bernardes⁽³⁾; Leandro Martins Ferreira⁽⁴⁾; Leandro Azevedo Santos⁽⁵⁾; Sonia Regina de Souza⁽⁶⁾; Manlio Silvestre Fernandes⁽⁷⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do CNPq e Capes;

⁽²⁾ Graduanda do Curso de Engenharia Agrônômica; Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ); Seropédica, RJ; andressafabiane_09@hotmail.com; ⁽³⁾ Graduando do Curso de Engenharia Florestal; Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ); ⁽⁴⁾ Doutorando do Curso de Engenharia Agrônômica; Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ); ⁽⁵⁾ Professor adjunto Departamento de Solos; Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ); ⁽⁶⁾ Professora Associada IV do Departamento de Química; Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ); ⁽⁷⁾ Professor Emérito Departamento de Solos; Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).

RESUMO: O arroz é uma das mais importantes culturas agrícolas do mundo, sendo extremamente sensível ao déficit hídrico. A seca é um dos principais estresses abióticos que pode limitar o crescimento das culturas, reduzindo drasticamente a produção global de alimentos. Deste modo, este trabalho teve como objetivo distinguir variedades de arroz tolerantes ao estresse hídrico e explorar características agrônômicas que possam identificar essas diferenças. As variedades de arroz Prata Ligeiro, Três meses, Catetão, Manteiga, Palha Murcha, Quebra Cacho, Piauí, Sempre Verde, Bico Ganga e Mira permaneceram sob estresse hídrico por cerca de 30 dias e ao final do experimento foi realizada a coleta para avaliação dos parâmetros de produtividade e tolerância à seca. As plantas submetidas ao estresse hídrico apresentaram marcante redução nos parâmetros de produtividade, contudo é perceptível que entre as variedades estudadas houve variações nas taxas de redução. Os resultados indicam que algumas dessas variedades apresentam mecanismos que as permitem suportar o período de estresse com menor queda de rendimento. Variedades que lidam com o estresse hídrico, sem redução significativa de produtividade podem servir de base para futuros programas de melhoramento.

Termos de indexação: seca; tolerância; melhoramento genético.

INTRODUÇÃO

O constante aumento da população mundial e a mudança climática global tem modificado a forma de se fazer agricultura e cada vez mais é preciso alcançar altas produtividades em áreas antes consideradas marginais. Para lidar com essa mudança, é necessário gerar conhecimento e produzir plantas melhoradas para ambientes sujeitos a estresses abióticos. O estresse hídrico é um dos principais estresses ambientais e tem afetado

seriamente o crescimento e produtividade das principais culturas agrícolas.

Segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) até 2025, 1,8 milhão de pessoas estará vivendo em países ou regiões com absoluta falta de água e dois terços viverão em zonas com falta de água. O uso intenso da água, principalmente na agricultura e na indústria ocorre em ritmo mais acelerado que a reposição feita pelo seu ciclo natural (Gomes et al., 2009). De acordo com o Instituto Internacional de Gestão da Água (IWMI), até 2025 a demanda de água para a agricultura irá aumentar em 17%, o que vai aumentar ainda mais a competitividade para a utilização desse recurso com o consumo humano (Siwi-Iwmi, 2004). Portanto, a melhoria da tolerância ao estresse hídrico em arroz tem se tornado uma importante estratégia para estabilizar a sua produção em cultivo de sequeiro (Uga et al., 2011).

O arroz é mais sensível ao estresse hídrico do que muitas outras culturas agrícolas, e as bases fisiológicas envolvidas na sensibilidade ao estresse hídrico ainda não são bem entendidas. Muitas características morfológicas e fisiológicas para a resistência a seca em arroz foram usadas como marcadores seletivos para o melhoramento, no entanto os mecanismos exatos de resistência à seca ainda não estão bem esclarecidos (Hu & Xiong, 2014). Diversos grupos de pesquisa têm focado em estratégias de seleção de linhagens que possuam raízes mais finas em profundidade (Uga et al., 2011), maior capacidade de regulação estomática (Kondo et al., 2010), acúmulo de osmólitos compatíveis (Paul et al., 2010), expressão e atividade de aquaporinas (Nada & Abogadallah, 2014), metabolismo de carbono e nitrogênio (Reguera et al., 2013) entre outras, numa tentativa de desenvolver variedades de arroz mais tolerantes ao déficit hídrico.

Trabalhos desenvolvidos em nossos laboratórios na UFRRJ mostram que algumas variedades apresentam variações na morfologia e arquitetura do sistema radicular, podendo essa ser uma



característica envolvida na tolerância ao déficit hídrico (Rangel, 2014). Desse modo, este estudo teve como objetivo identificar variedades de arroz tolerantes ao estresse hídrico visando possibilitar a descoberta de novos alvos biotecnológicos que poderão vir a ser utilizados em programas de melhoramento da cultura do arroz.

MATERIAL E MÉTODOS

Sementes de arroz das variedades Prata Ligeiro, Três meses, Catetão, Manteiga, Palha Murcha, Quebra Cacho, Piauí, Sempre Verde, Bico Ganga e Mira foram inicialmente desinfestadas em solução de hipoclorito de sódio 2% durante 10 minutos e depois lavadas repetidas vezes em água destilada. Essas sementes foram acondicionadas sobre gaze em potes de 1,7 L e colocadas para germinar em água destilada em Câmara de Crescimento (aproximadamente 500 μmol s fótons $\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$; fotoperíodo 12h e 70% umidade). Cerca de 10 Dias após a germinação (DAG) as plântulas foram transferidas para tubos de PVC (20 cm de diâmetro x 1,0 m de altura) contendo terra de um Planossolo háplico. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 10 x 2 (variedades x tratamentos) com quatro repetições. A avaliação da tolerância ao estresse hídrico foi realizada no estádio reprodutivo quando mais da metade das plantas de cada variedade atingiram a antese.

Os regimes hídricos utilizados foram: controle, onde o teor de umidade foi mantido próximo a capacidade de campo (20 kPa), e estresse hídrico, que consistiu na manutenção do potencial matricial em 60 kPa. O controle da tensão da água no solo foi realizado por tensiômetros instalados nas colunas a profundidade de aproximadamente 30 cm. As plantas permaneceram no tratamento sob estresse hídrico por cerca de 30 dias e ao final do experimento foi realizada a coleta para avaliação das seguintes variáveis: altura da planta, massa fresca da parte aérea e raiz, comprimento radicular, número de perfilhos por planta, número de panículas por planta, peso de cem grãos, número de grãos cheios e chochos, peso seco da planta e produtividade.

Após a coleta, as panículas foram secadas em estufa com circulação forçada de ar a 60°C por três dias e, posteriormente foram determinados o número de grãos cheios (NGCHE), grãos chochos (NGCHO) e o número de panículas por planta. O índice de colheita de grãos (IC) foi determinado a partir da razão entre a massa de grãos cheios e a massa seca da planta.

Os parâmetros de tolerância à seca foram estimados baseados no cálculo de índice de suscetibilidade ao estresse (ISS) proposto por

Fischer & Maurer (1978).

Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos a tratamento estatístico utilizando-se o programa SISVAR (Ferreira, 2000). Foram realizados os testes de normalidade (Teste de Lilliefors) e de homogeneidade das variâncias (Cochran e Bartlett) e posteriormente os dados foram submetidos à análise de variância ($p < 0,05$). As médias foram comparadas pelo teste de Scott-knott ($p < 0,05$) (Gomes, 2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste experimento foram analisadas características fenotípicas que são importantes instrumentos de seleção de variedades superiores para ambientes sujeitos a estresses. Os resultados mostram que sob estresse hídrico as variedades apresentaram marcante redução dos parâmetros de produtividade (**Tabela 1**), no entanto é perceptível que entre as variedades estudadas houve variações nas taxas de redução, indicando que algumas dessas variedades apresentam mecanismos que as permitem suportar o período de estresse com menor queda de rendimento.

As variedades mais produtivas no tratamento controle foram Quebra Cacho e Palha Murcha, enquanto que as menos produtivas nesta condição foram a Manteiga e Sempre Verde (**Tabela 1**). Quando as plantas foram submetidas ao tratamento de estresse hídrico, observou-se uma marcante redução de produção em algumas variedades, enquanto que outras conseguiram manter níveis de produção razoáveis. As variedades Mira e Quebra Cacho apresentaram, respectivamente, redução de 62,9 e 63,2% de produção quando submetidas ao estresse hídrico, já as variedades Catetão e Piauí apresentaram redução de apenas 26,4 e 27,9%, respectivamente.

As variedades que mais reduziram a massa de 100 grãos foram Quebra Cacho (19,3%) e Sempre Verde (16,6%), enquanto que as que se mantiveram constantes foram Bico Ganga, Mira e Piauí. As variedades Mira, Palha Murcha, Quebra Cacho e Três Meses apresentaram um significativo aumento na esterilidade das espiguetas quando submetidas ao estresse hídrico, principalmente as variedades Mira e Quebra Cacho, reduzindo assim a produtividade. Resultado similar foi observado para o índice de fertilidade das espiguetas.

O índice de colheita (IC) foi principalmente afetado nas variedades Mira, Quebra Cacho e Prata Ligeiro. As variedades Quebra Cacho e Mira foram fortemente afetadas em todos os demais

parâmetros avaliados como produção, massa de 100 grãos e esterilidade das espiguetas, dessa forma pode-se afirmar que estas variedades foram as mais sensíveis quando submetidas ao estresse hídrico.

O ISS representa a razão entre a produção obtida nas plantas submetidas ao estresse hídrico pelo controle e resume os resultados obtidos para os demais parâmetros de produtividade. As variedades Catetão, Manteiga, Piauí e Sempre Verde mostraram os menores valores de ISS, indicando que estas variedades desenvolveram mecanismos para tolerar o estresse hídrico e assegurar a produção de grãos mesmo nesta condição limitante (**Tabela 1**). Terra et al. (2010) observaram que plantas com menor valor de ISS podem apresentar características morfológicas e fisiológicas que contribuam para a maior tolerância ao estresse hídrico e desta forma são interessantes para serem utilizadas em programas de melhoramento genético. As variedades Bico Ganga, Prata Ligeiro, Três meses e Palha Murcha apresentaram valores intermediários de ISS, enquanto que as variedades Mira e Quebra Cacho apresentaram os maiores valores o que indica uma maior suscetibilidade ao estresse por essas variedades.

A análise de agrupamento pelo método UPGMA, baseada na distância de Mahalanobis permitiu a formação de dois grandes grupos (**Figura 1**). As variedades Quebra Cacho, Sempre Verde, Bico Ganga e Mira formaram o grupo das variedades sensíveis (grupo I), enquanto que as variedades Prata Ligeiro, Três Meses, Manteiga, Piauí, Catetão e Palha Murcha formaram o grupo das variedades tolerantes (grupo II).

CONCLUSÕES

O dendrograma de dissimilaridade separa as variedades em dois grandes grupos: tolerantes e susceptíveis ao estresse hídrico.

As variedades Catetão, Manteiga e Piauí foram as mais tolerantes ao estresse hídrico, pois asseguraram a produção de grãos mesmo em uma condição limitante, mantendo níveis razoáveis de produção, enquanto Mira e Quebra Cacho foram as mais susceptíveis.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, ao CNPq e CPGA-CS pela concessão de recursos para o desenvolvimento do projeto.

REFERÊNCIAS

- FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA. São Carlos, 2000. Anais. São Carlos: UFSCar, p. 255-258, 2000.
- FISCHER, R. A. & MAURER, R. Drought resistance in spring wheat cultivars. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29: 897-912, 1978.
- GOMES, F. P. Curso de estatística experimental. 14ª ed. Piracicaba: USP, 2000. 477p.
- GOMES, M. A. F. A água nossa de cada dia. *Revista Panorama Rural*, 122: 44-48, 2009.
- HU, H. & XIONG, L. Genetic engineering and breeding of drought-resistant crops. *Annual review of plant biology*, 65: 715-741, 2014.
- KONDO, T.; KAJITA, R.; MIYAZAKI, A.; HOKOYAMA, M.; NAKAMURA-MIURA, T.; MIZUNO, S.; SAKAGAMI, Y. (2010). Stomatal density is controlled by a mesophyll-derived signaling molecule. *Plant and cell physiology*, 51: 1-8, 2010.
- NADA, R. M. & ABOGADALLAH, G. M. Aquaporins are major determinants of water use efficiency of rice plants in the field. *Plant Science*, 227: 165-180, 2014.
- PAUL, M. J.; JHURREEA, D.; ZHANG, Y.; PRIMAVESI, L. F.; DELATTE, T.; SCHLUEPMANN, H.; WINGLER, A. Upregulation of biosynthetic processes associated with growth by trehalose 6-phosphate. *Plant signaling & behavior*, 5: 386-392, 2010.
- RANGEL, R. P. Parâmetros cinéticos da absorção de amônio e expressão gênica dos transportadores OsAMT1 em variedades de arroz (*Oryza sativa* L.). 60f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, UFRRJ, Seropédica, RJ, 2014.
- REGUERA, M.; PELEG, Z.; ABDEL-TAWAB, Y. M.; TUMIMBANG, E. B.; DELATORRE, C. A.; BLUMWALD, E. Stress-Induced Cytokinin Synthesis Increases Drought Tolerance through the Coordinated Regulation of Carbon and Nitrogen Assimilation in Rice. *Plant Physiology*, 163: 1609-1622, 2013.
- SIWI-IWMI. Water – More Nutrition Per Drop. Stockholm International Water Institute, Stockholm, 2004.
- TERRA, T. G. R.; LEAL, T. C. A. D. B.; RANGEL, P. H. N.; BARROS, H. B.; SANTOS, A. C. D. Tolerance to drought in rice cultivars in Southern Cerrado area from Tocantins state, Brazil. *Acta Scientiarum Agronomy*, 32: 715-719, 2010.
- UGA, Y.; OKUNO, K.; YANO, M. Dro1, a major QTL involved in deep rooting of rice under upland field conditions. *Journal of experimental botany*, 62: 2485-2494, 2011.



Tabela 1. Produção, massa de 100 grãos, esterilidade da espiguetas, índice de fertilidade das espiguetas e índice de colheita das variedades de arroz de terras altas cultivadas em casa de vegetação sob condição controle e estresse hídrico.

Variedade	Produção		Massa 100 g.		Est. da Espig.		Fertilidade		IC		ISS
	g vaso ⁻¹		g vaso ⁻¹		%						
	Cont.	Est.	Cont.	Est.	Cont.	Est.	Cont.	Est.	Cont.	Est.	
Bico Ganga	23,2aD	16,8bB	2,8aC	2,6aC	31,7aA	34,8aB	7	7	0,42aC	0,33aC	0,86C
Catetão	29,5aC	21,7bA	3,5aA	3,2bA	9,8aB	9,5aF	9	9	0,63aB	0,64aA	0,57D
Manteiga	17,6aE	11,4bC	2,0aD	1,8bE	30,3aA	30,6aC	7	7	0,36aC	0,34aC	0,57D
Mira	27,5aC	10,2bC	2,8aC	2,7aC	25,2bA	50,3aA	7	5	0,40aC	0,23bC	1,43A
Palha Murcha	34,6aB	16,6bB	3,2aB	2,9bB	10,2bB	18,5aE	9	7	0,60aB	0,50aB	1,04C
Piauí	24,7aD	17,8bB	3,4aA	3,1bA	11,2aB	16,7aE	7	7	0,38aC	0,40aC	0,71D
Prata Ligeiro	27,8aC	13,6bC	2,7aC	2,4bD	24,5aA	29,5aC	7	7	0,72aA	0,60bA	1,14B
Quebra Cacho	39,7aA	14,6bC	3,1aB	2,5bD	5,2bB	33,3aC	9	7	0,76aA	0,31bC	1,43A
Sempre Verde	19,6aE	13,6bC	3,0aB	2,5bD	29,2aA	24,4aD	7	7	0,33aC	0,32aC	0,75D
Três meses	23,9aD	14,9bC	2,6aC	2,4bD	26,8bA	38,7aB	7	7	0,59aB	0,53aB	0,83C
C.V%	13,78		4,95		17,11				16,89		13,78

^a Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott $p \leq 0,05$ de significância. IC = índice de colheita; Cont = Controle e Est. = Estresse.

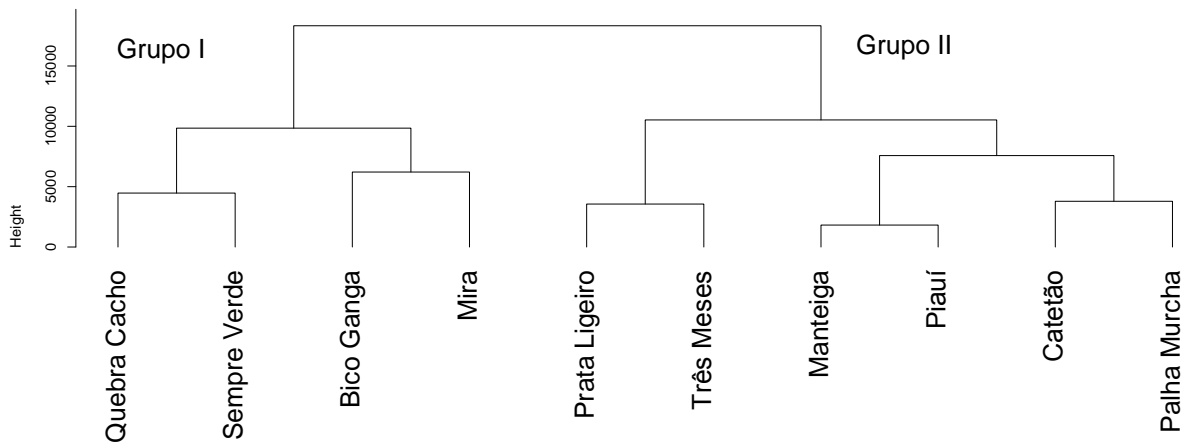


Figura 1. Dendrograma de dissimilaridades genéticas pela distância de Mahalanobis e método de agrupamento “UPGMA”, com base em 28 características avaliadas incluindo parâmetros morfológicos e fisiológicos nas variedades de arroz de terras altas cultivadas em casa de vegetação sob condição de estresse hídrico.