

## AGRÁRIA

Revista Brasileira de Ciências Agrárias

ISSN (on line): 1981-0997

v.7, n.1, p.51-57, jan.-mar., 2012

Recife, PE, UFRPE. www.agraria.ufrpe.br

DOI:10.5039/agraria.v7i1a1411

Protocolo 1411 – 13/03/2011 \*Aprovado em 09/09/2011

Thomas V. Nunes<sup>1</sup>

Gentil C. Adorian<sup>1,2</sup>

Thiago G. R. Terra<sup>1</sup>

Tarcísio C. A. de B. Leal<sup>1</sup>

Antonio C. dos Santos<sup>2,3</sup>

Patrício da S. Ramos<sup>1</sup>

# Aspectos produtivos de linhagens de arroz de terras altas sob déficit hídrico

## RESUMO

Em regiões de cerrado, durante a estação chuvosa, é comum a ocorrência de períodos de estiagem da chuva que comprometem funções essenciais ligadas à produção de arroz de terras altas. Visando buscar materiais tolerantes à seca, este estudo teve como objetivo avaliar aspectos produtivos de linhagens de arroz de terras altas sob condição de déficit hídrico. Conduziu-se o experimento em dois anos (2007 e 2008) na estação experimental de pesquisa da Universidade Federal do Tocantins - Gurupi, avaliando-se 20 linhagens de arroz de terras altas, sendo dois progenitores (Puteca e Chorinho) e 18 linhagens F7 selecionadas de 186 materiais oriundos de cruzamentos entre os devidos progenitores. Avaliaram-se a esterilidade de espiguetas, massa de cem grãos, produtividade e índice de suscetibilidade à seca (ISS). Os materiais Chorinho, CNA 102, CNA 121, CNA 161, CNA 179, CNA 212 e CNA 236 foram superiores aos demais, com, simultaneamente, menores valores do ISS e maiores produtividades, na condição de déficit hídrico. A partir da seleção destas linhagens, poderão ser buscados genes (ou grupos de genes) que determinam esta tolerância à seca, visando o futuro lançamento de cultivares comerciais.

**Palavras-chave:** *Oryza sativa* L., suscetibilidade à seca, tolerância à seca.

## Productive aspects of upland rice lines under water deficit

## ABSTRACT

In cerrado regions, during the rainy season, the occurrence of drought periods that compromise essential functions related to the production of upland rice is very common. In order to explore drought tolerant materials, this study aimed to evaluate the productive aspects of upland rice lines under water stress conditions. The experiment was conducted in two years (2007 and 2008) in the experimental research station of Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, Tocantins, Brazil, evaluating 20 upland rice strains, consisting of two parents (Puteca and Chorinho) and 18 F7 strains selected from 186 materials obtained from crossings between the parents. The spikelets sterility, one hundred grains weight, yield and drought susceptibility index (DSI), were evaluated. The Chorinho, CNA 102, CNA 121, CNA 161, CNA 179, CNA 212 and CNA 236 materials were superior in comparison to the other ones, with lower DSI values and higher yields in water stress conditions. From the selection of these lines, genes (or groups of genes) determining this drought tolerance may be found, aiming at the future release of commercial cultivars.

**Key words:** *Oryza sativa* L., drought susceptibility, drought tolerance.

<sup>1</sup> Universidade Federal do Tocantins, Campus Universitário de Gurupi, Bajejós, Lote7, Chácaras 69/72, Zona Rural, CEP 77402-970, Gurupi-TO, Brasil. Caixa Postal 66. Fone: (63) 3311-3533 Ramal 3533. Fax: (63) 3311-3500. E-mail: nunestv@uft.edu.br; gentil.cav@uft.edu.br; tgterra@uft.edu.br; tarcisio@uft.edu.br; patricio@uft.edu.br

<sup>2</sup> Universidade Federal do Tocantins, Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia, BR153 Km.112, Fazenda Universitária, CEP 77804-970, Araguaína-TO, Brasil. Fone: (63) 2112-2120. E-mail: clementino@uft.edu.br

<sup>2</sup> Bolsista de Doutorado da CAPES

<sup>3</sup> Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq

## INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é caracterizado como o principal alimento para mais da metade da população mundial, fornecendo energia, proteínas, lipídios, vitaminas e minerais, e destacando-se, principalmente, em países em desenvolvimento, nos quais desempenha função estratégica nos níveis econômico e social (Walter et al., 2008). É o segundo cereal mais cultivado no mundo e o terceiro no Brasil, atrás somente da soja e do milho (IBGE, 2009; FAO, 2009). Na América Latina, o Brasil é o maior produtor deste grão e no mundo ocupa a nona posição. Teve como área plantada, em 2009, 2.888.315 ha e produção de 12.609.060 toneladas (IBGE, 2009; FAO, 2009).

Da área nacional total cultivada, o arroz de terras altas, ou seja, sem qualquer acúmulo de água em superfície, representa 55%, enquanto o arroz irrigado, 45%. No entanto, a produção do arroz irrigado, responsável por 75% da produção, é superior ao de terras altas, responsável por apenas 25% da produção nacional (Santos & Rabello, 2008).

Grande parte das lavouras de sequeiro do Brasil está localizada nas regiões de cerrado, onde o cultivo ocorre no período de verão, quando o suprimento hídrico necessário para o desenvolvimento das plantas provém das chuvas (Rodrigues et al., 2004). Nesta região é comum a ocorrência de períodos de estiagem da chuva dentro da estação chuvosa, conhecidos como veranicos (Crusciol et al., 2003). Tal fenômeno, devido ao déficit hídrico, causa modificações bioquímicas e fisiológicas nas plantas que comprometem funções essenciais ligadas à produção, promovendo perdas e prejuízos (Chaves & Oliveira, 2004).

Visando alcançar alta produtividade e qualidade similar ao arroz irrigado, as variedades utilizadas em sistema de terras altas têm sido submetidas a estudos de melhoramento genético para melhorar características de rusticidade e tolerância à seca (Kumar et al., 2008; Pinheiro et al., 2000).

Em pesquisa com arroz no nordeste da Tailândia, Hayashi et al. (2007) constataram a importância da avaliação da fenologia da cultura, considerando as interações genótipo x ambiente nos estudos de tolerância à seca. Portanto, as expressões gênicas poderiam estar ligadas a estímulos bioquímicos internos, desencadeados pela interação dos genes com condições ambientais de adversidade, que resultaria, ao final, em maior esterilidade das espiguetas, menor produção de grãos, infertilidade dos perfilhos, dentre outros componentes de produção.

Estudando a cultura do trigo, Fisher & Maurer (1978) determinaram um modelo matemático para estimar o rendimento de grãos em ambientes com déficit hídrico denominado Índice de Suscetibilidade à Seca (ISS). Este modelo leva em conta o rendimento de grãos sem déficit hídrico, comparado ao rendimento com déficit hídrico, assegurando, assim, que os genótipos selecionados tenham traços para a tolerância à seca.

Ao empregar o ISS na análise de efeitos obtidos em genótipos de arroz na Tailândia, Pantuwan et al. (2002) encontraram diferenças entre valores do ISS em ambientes sob intensidades variadas de estresse hídrico, devido ao

desempenho das diferenças genotípicas existentes. Estes autores enfatizam que este índice pode ser utilizado para identificar genótipos resistentes a diferentes condições de ambiente.

Com a necessidade de identificar cultivares com características de tolerância à seca, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os aspectos produtivos de linhagens de arroz de terras altas sob condição de déficit hídrico.

## MATERIAL E MÉTODOS

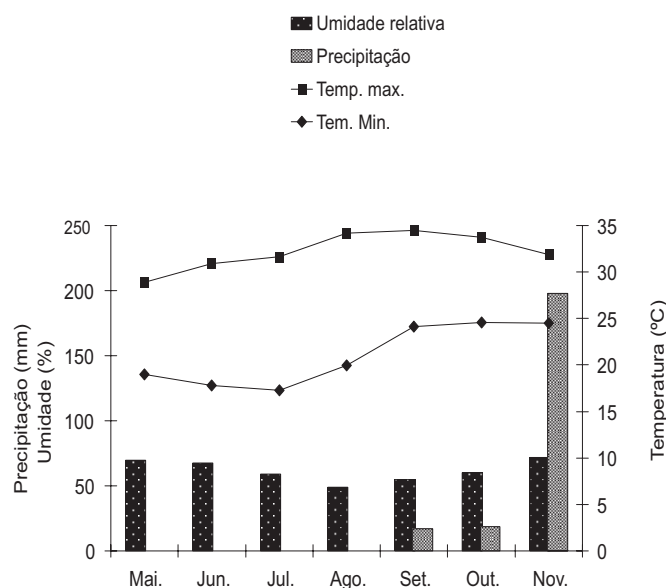
O trabalho foi conduzido na Estação Experimental de Pesquisa do *Campus* Universitário de Gurupi, pertencente à Universidade Federal do Tocantins - UFT, localizado à latitude 11° 43' S e longitude 49° 04' W, em altitude média de 287 m. A temperatura média anual local é de, aproximadamente, 26°C (FIG. 1), estando a umidade relativa do ar e a precipitação média anual em torno de 68,5% e 1400 mm, respectivamente (SEAGRO, 2007). A caracterização climática (precipitação e temperatura) encontra-se descrita na Figura 1.

O solo é caracterizado como Latossolo Amarelo Distrófico típico. No primeiro ano da implantação do experimento, o solo apresentou as seguintes características: pH (CaCl<sub>2</sub>) = 5,5, P = 0,3 mg dm<sup>-3</sup>, K = 38 mg dm<sup>-3</sup>, Ca = 2,36 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, Mg = 0,38 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, Al = 0,25 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, H<sup>+</sup> = 2,3 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, CTC total = 5,13 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, CTC efetiva = 3,08 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, matéria orgânica = 4,75%, areia = 56%, silte = 13% e argila = 31%. E no segundo ano o solo apresentou: pH (CaCl<sub>2</sub>) = 5,2, P = 0,6 mg dm<sup>-3</sup>, K = 21,4 mg dm<sup>-3</sup>, Ca = 1,65 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, Mg = 0,47 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, Al = 0,09 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, H<sup>+</sup> = 3,23 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, CTC total = 5,4 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, CTC efetiva = 2,27 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, matéria orgânica = 3%, areia = 66,9%, silte = 3,8% e argila = 29,3%.

Os ensaios foram conduzidos no período de junho a dezembro de 2007 e maio a novembro de 2008. As linhagens avaliadas foram provenientes do banco de germoplasma de arroz da Embrapa Recursos Genéticos (CENARGEN), obtidas por intermédio do cruzamento das cultivares Puteca (CA 780217) e Chorinho (CA 800103), dando origem à população F1. Depois foi conduzida em sucessivas autofecundações, gerando a população F2, que posteriormente foi conduzida por método *Single Seed Descend* (SSD), descendência de única semente, até a geração F7, obtendo-se, uma população de 186 linhagens (População: CNAX13201), objeto da avaliação e que apresenta variabilidade genotípica com indivíduos em alto grau de homozigose.

No primeiro ano (2007) o ensaio foi alocado em arranjo fatorial *Latice* triplo 14 x 14 com três repetições. Já em 2008 o delineamento utilizado foi o de blocos aumentados de Federer, contendo três repetições. Por ocasião do plantio, tanto em 2007 quanto em 2008, a área foi dividida em duas subáreas destinadas aos tratamentos com e sem estresse hídrico de igual tamanho, cada uma contendo os mesmos genótipos, nas mesmas disposições em campo.

Nos primeiros 30 dias após a emergência das plântulas de arroz, toda a área foi igualmente irrigada, conforme a demanda hídrica, com equipamento de irrigação tipo autopropelido de



**Figura 1.** Temperaturas máxima (Temp. máx.) e mínima (Temp. mín.) em °C, umidade relativa do ar (%) e precipitação pluviométrica (mm) durante o período de junho a novembro de 2007 e maio a novembro de 2008 na Estação Experimental de Pesquisa (EEP): Universidade Federal do Tocantins/ Campus Universitário de Gurupi, Tocantins, estação automática INMET, (2009)

**Figure 1.** Maximum (Temp. máx.) and minimum temperatures (Temp. mín.) in °C, relative humidity (%) and rainfall (mm) during the period from June to November 2007 and May to November 2008 at the Research Experimental Station (EEP): Universidade Federal do Tocantins / Gurupi Campus, Tocantins Brazil, automatic station INMET, (2009)

barras, dotados de bicos dispersores e regulador de lâmina aplicada, movendo-se à velocidade de 25 m h<sup>-1</sup>, despejando uma lâmina de 25 mm. A partir deste período, as plântulas foram submetidas aos tratamentos hídricos: irrigado adequadamente (SE = sem estresse), conforme a necessidade da cultura (Stone et al., 1986), controlada por tensiômetros instalados no campo, onde o turno de rega foi ajustado para três dias; e com deficiência hídrica (CE = com estresse), aplicando-se 50% da lâmina ideal de água, com turno de rega ajustado para seis dias.

A parcela experimental consistiu-se em quatro linhas de 3 m, espaçadas entre si por 30 cm, nas quais foram semeadas 70 sementes de arroz por metro linear, considerando-se como área útil somente 1 m<sup>2</sup>, que correspondia aos 2 m centrais das duas linhas centrais, desconsiderando-se os 50 cm de cada extremidade e as duas linhas externas.

As características avaliadas foram: (1) massa de cem grãos, em que, depois da maturação fisiológica dos grãos, amostrava-se aleatoriamente 10 panículas em cada parcela, em seguida, procedeu-se manualmente a quantificação de grãos cheios (GC) e vazios (GV), obtendo-se o número total de grãos (TG) e deduzida a média do número de grãos por panícula, seguido da determinação da massa de 100 grãos de cada amostra, em balança de precisão digital; (2) esterilidade das espiguetas (ES), na qual se utilizou a fórmula  $ES = (GV \times 100) / TG$ ; os resultados em percentual foram transformados, por radiciação,

para se realizar a análise de variância utilizando a fórmula da raiz quadrada de (x) mais um,  $y_{ijk}' = \sqrt{y_{ijk} + 1}$ , em que  $y_{ijk}$  corresponde ao valor de esterilidade de espiguetas em percentual do tratamento (i do bloco (j da repetição (k) (Marchezan, 2004); (3) produção de grãos, na qual as plantas de arroz da área útil foram colhidas manualmente e determinada a massa de grãos por parcela; e (4) ISS, calculado conforme a metodologia de Fisher & Maurer (1978) realizada por meio da fórmula:  $ISS = [1 - (Y_{ce}/Y_{se})] / [1 - M_{ce}/M_{se}]$ , em que  $Y_{ce}$  = produção de grãos da linhagem sob estresse,  $Y_{se}$  = produção de grãos da linhagem sem estresse,  $M_{ce}$  = média de produção no tratamento com estresse e  $M_{se}$  = média de produção do tratamento sem estresse.

Depois da avaliação do ISS foram selecionados 20 materiais (Tabela 3) do total de 186 linhagens da população CNAx13201, incluindo os dois progenitores. Assim, foram escolhidos os dez materiais mais suscetíveis e os dez menos suscetíveis à seca, conforme os resultados obtidos, com os quais se realizaram os estudos propostos no presente trabalho. São eles: os progenitores Puteca e Chorinho, e os descendentes CNAx13201-8-180, CNAx13201-8-179, CNAx13201-8-161, CNAx13201-8-227, CNAx13201-8-236, CNAx13201-8-212, CNAx13201-8-18, CNAx13201-8-102, CNAx13201-8-32, CNAx13201-8-52, CNAx13201-8-121, CNAx13201-8-99, CNAx13201-8-240, CNAx13201-8-194, CNAx23201-8-170, CNAx13201-8-34, CNAx13201-8-29, CNAx13201-8-213. Dos dados obtidos, obtiveram-se as médias dos anos de 2007 e 2008 e, posteriormente, realizou-se o teste de agrupamento de média Scott-Knott, ao nível de 5% de significância, através do programa operacional SISVAR (Ferreira, 2000).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve diferença significativa entre as linhagens quanto à esterilidade de espiguetas, no ambiente com déficit hídrico (Tabelas 1 e 2). Os materiais apresentaram valores altos, variando entre 53 e 68%. Com relação ao ambiente sem déficit hídrico, a cultivar Puteca e as linhagens CNA 18, CNA 29, CNA

**Tabela 1.** Análise de variância de esterilidade das espiguetas (Est), massa de cem grãos (M 100) e produtividade (Prod)

**Table 1.** Variance analysis of spikelet sterility (Est), one hundred grain weight (M 100) and productivity (Prod)

FV	GL	Est	M 100	Prod
		QM	QM	QM
TRAT	19	152,708	0,122	857431,267**
COND	1	13738,8**	6,721**	89930647,408**
TRAT*COND	19	80,343	0,077	1195321,601**
REP	2	402,7	0,568	302757,058
ERRO	78	99,187	0,081	251732,519
TOTAL	119			
CV (%)		19,38	11,03	24,74

\*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

**Tabela 2.** Análise de variância para o índice de suscetibilidade à seca**Table 2.** Variance analysis for the drought susceptibility Index

FV	GL	SQ	QM	Fc
TRAT	19	77947,733	4102,512	4,642**
REP	2	492,1	246,05	0,278
ERRO	38	33586,566	883,857	
TOTAL	59			
CV (%)	31,43			

\*\* Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

52, CNA 180 e CNA 236, tiveram menor esterilidade de espiguetas, diferindo-se estatisticamente dos demais.

Comparando-se as condições com e sem déficit hídrico, observa-se que a cultivar Puteca e as linhagens CNA 18, CNA 29, CNA 32, CNA 52, CNA 99, CNA 121, CNA 161, CNA 179, CNA 180, CNA 194, CNA 212, CNA 213, CNA 227, CNA 236, diferiram estatisticamente, apresentando maiores valores de esterilidade na condição de déficit hídrico.

A esterilidade das espiguetas é fator depende da capacidade da planta de produzir e translocar fotoassimilados para o enchimento dos grãos em condição de déficit hídrico (Jongdee et al., 2006). Avaliando cultivares de arroz de terras altas sob condições de déficit hídrico em Cassilândia-MS, Silva et al. (2009) observaram que a maioria das cultivares apresentaram elevada esterilidade de espiguetas (acima de 62%) e justificaram os resultados, no ambiente com déficit hídrico, em função da menor disponibilidade de água nos períodos próximos ao florescimento da cultura de arroz de terras altas, prejudicando a formação dos grãos.

Avaliando o manejo de água em arroz de terras altas no sistema plantio direto, usando o tanque classe A, Rodrigues et al. (2004) observaram que a ocorrência de deficiência hídrica, principalmente durante a meiose da célula-mãe do grão de pólen, a qual acontece no período que antecede o florescimento, reduz a fertilidade das espiguetas.

Algumas linhagens não apresentaram diferenças entre as condições, ocorrendo alta esterilidade em ambas. Provavelmente, as altas temperaturas registradas no período reprodutivo da cultura podem ter proporcionado tal situação. Geralmente, temperaturas muito elevadas nessa fase aumentam a respiração da planta e podem causar a esterilidade das espiguetas (Wrege et al., 2001).

A elevação da temperatura no período reprodutivo contribui para a redução da fertilidade devido à ocorrência de distúrbios fisiológicos na formação dos grãos de pólen, tornando-os estéreis, o que impossibilita a fecundação e formação dos grãos (Wade et al., 1999).

Avaliando efeitos de estresse de temperatura sob cultivares de ecotipos *japonica* e *indica*, Jagadish et al. (2007) observaram em dois anos que as plantas, ao serem submetidas à temperatura igual ou superior a 33,77°C, por ocasião da floração, apresentam maior esterilidade das espiguetas, reduzindo a produção de grãos.

Não se verificou efeito significativo na massa de cem grãos entre as linhagens sob condições de déficit hídrico, como

também, entre as linhagens sob condição sem déficit hídrico (Tabela 3). Porém, quando se comparam as condições com e sem déficit hídrico, percebe-se que as linhagens CNA 29, CNA 52, CNA 170, CNA 179, CNA 180, CNA 212, CNA 213, CNA 240 apresentaram diferenças significativas nos resultados, com os menores valores de massa de cem grãos observados na condição de déficit hídrico. Em geral, apesar de algumas linhagens não tenham diferido estatisticamente entre as condições com e sem déficit hídrico, as médias das linhagens na condição sem estresse foi estatisticamente superior às médias das linhagens sob déficit hídrico.

A massa de grãos é característica variável entre genótipos e até mesmo dentro do genótipo, dependendo da condição do ambiente, principalmente sob déficit hídrico (Prasertsak & Fukai, 1997). Linhagens com baixa disponibilidade de água durante a fase de maturação da cultura, principalmente nos dias posteriores ao florescimento, podem ter o processo de enchimento de grãos prejudicado, pois neste período ocorrem as translocações de carboidratos para o preenchimento da casca, bem como, durante as duas semanas que antecedem a antese, quando ocorre a definição do tamanho da casca (Rodrigues et al., 2004).

A cultivar Chorinho e as linhagens CNA 102, CNA 121, CNA 161, CNA 179, CNA 212 e CNA 236 foram superiores estatisticamente em produtividade às demais linhagens na condição com estresse, se destacando, com valores variando de 1.300 a 2.240 kg.ha<sup>-1</sup>. Na condição sem déficit hídrico, a cultivar Puteca e as linhagens CNA 18, CNA 29, CNA 52, CNA 99, CNA 121, CNA 170 e CNA 180 foram superiores estatisticamente das demais quanto à produtividade, com valores variando de 3.166 a 4.183 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 3). Estas diferenças podem ser atribuídas à capacidade de cada genótipo em produzir e acumular fotoassimilados para serem convertidos em matéria seca e produção de grãos ao final da fase de maturação fisiológica (Lafitte et al., 2006).

Quando comparados os materiais nas duas condições, com e sem déficit hídrico, observou-se efeito significativo nas cultivares Puteca e Chorinho, e entre as linhagens CNA 18, CNA 29, CNA 32, CNA 34, CNA 52, CNA 99, CNA 121, CNA 170, CNA 180, CNA 194, CNA 212, CNA 213, CNA 227 e CNA 240, em os maiores valores foram para a condição sem déficit hídrico. Já as linhagens CNA 102, CNA 161, CNA 179 e CNA 236, não diferiram estatisticamente nas duas condições (Tabela 3), demonstrando pouca alteração quando submetidas a este nível de estresse. O estresse hídrico em plantas de arroz pode expressar um maior impacto sobre o rendimento dependendo do tempo e intensidade do estresse sobre o ciclo de vida da cultura (Heinemann & Stone, 2009).

Menores produtividades, provavelmente, estão associadas à ausência de água, principalmente no início da fase reprodutiva do arroz, o que reduz o número de panículas por m<sup>2</sup> e o número de espiguetas por panícula (Silva et al., 2009). Isto pode estar relacionado com o comprometimento da produção de fotoassimilados pela menor assimilação de CO<sub>2</sub> durante o fechamento estomático, que é resposta das linhagens ao estresse de seca (Bota et al., 2004). O aumento do crescimento radicular, devido à menor disponibilidade hídrica, forçando maior translocação de nutrientes para a raiz,

**Tabela 3.** Esterilidade de espiguetas (Est, %), massa de 100 grãos (M 100, g), produtividade (Prod, kg ha<sup>-1</sup>) e índice de suscetibilidade à seca (ISS, %) em linhagens de arroz de terras altas sob duas condições hídricas: com estresse (CE) e sem estresse hídrico (SE) em médias de 2007 e 2008**Table 3.** Spikelet sterility (Est, %), 100 grains weight (M 100, g), productivity (Prod, kg ha<sup>-1</sup>) and drought susceptibility index (ISS, %) in strains of upland rice under two water conditions: with (CE) and without water stress (SE) in means in 2007 and 2008

Cultivar/Linhagem	Est (%)		M 100 (g)		Prod (kg ha <sup>-1</sup> )		ISS (%)
	CE	SE	CE	SE	CE	SE	
Puteca	58,7 AA	35,7 bB	2,4 aA	2,9 aA	857,3 bB	3782,0 aA	1,3 a
Chorinho	56,0 AA	41,0 aA	2,3 aA	2,6 aA	1634,3 aB	2855,7 bA	0,7 b
CNAx13201-8-18 (CNA 18)	60,3 AA	33,0 bB	2,4 aA	2,8 aA	1026,7 bB	4183,3 aA	1,3 a
CNAx13201-8-29 (CNA 29)	60,0 AA	28,7 bB	2,2 aB	2,9 aA	1163,3 bB	4163,3 aA	1,2 a
CNAx13201-8-32 (CNA 32)	64,3 AA	40,7 aB	2,6 aA	3,0 aA	1151,7 bB	2803,3 bA	0,9 a
CNAx13201-8-34 (CNA 34)	57,3 AA	42,3 aA	2,5 aA	2,8 aA	766,7 bB	2693,3 bA	1,2 a
CNAx13201-8-52 (CNA 52)	62,0 AA	31,7 bB	2,5 aB	3,1 aA	816,7 bB	3186,7 aA	1,3 a
CNAx13201-8-99 (CNA 99)	66,3 AA	48,7 aB	2,2 aA	2,3 aA	1240,0 bB	2286,7 cA	0,6 b
CNAx13201-8-102 (CNA 102)	64,7 AA	50,3 aA	2,5 aA	2,3 aA	1460,0 aA	2280,0 cA	0,6 b
CNAx13201-8-121 (CNA 121)	65,0 AA	45,0 aB	2,4 aA	2,8 aA	2240,0 aB	3646,7 aA	0,6 b
CNAx13201-8-161 (CNA 161)	67,7 AA	40,7 aB	2,4 aA	2,9 aA	1506,7 aA	2183,3 cA	0,5 b
CNAx13201-8-170 (CNA 170)	64,3 AA	51,0 aA	2,5 aB	3,0 aA	516,7 bB	3488,3 aA	1,5 a
CNAx13201-8-179 (CNA 179)	67,3 AA	43,7 aB	2,0 aB	2,9 aA	1583,3 aA	2160,0 cA	0,4 b
CNAx13201-8-180 (CNA 180)	57,7 AA	26,3 bB	2,6 aB	3,1 aA	890,0 bB	3166,7 aA	1,2 a
CNAx13201-8-194 (CNA 194)	68,7 AA	43,0 aB	2,2 aA	2,7 aA	773,3 bB	2990,0 bA	1,3 a
CNAx13201-8-212 (CNA 212)	63,7 AA	40,7 aB	2,2 aB	2,9 aA	1833,3 aB	2706,7 bA	0,5 b
CNAx13201-8-213 (CNA 213)	67,7 AA	42,7 aB	2,2 aB	2,9 aA	746,7 bB	2955,0 bA	1,3 a
CNAx13201-8-227 (CNA 227)	63,3 AA	45,3 aB	2,4 aA	2,8 aA	633,3 bB	2600,0 bA	1,3 a
CNAx13201-8-236 (CNA 236)	53,7 AA	31,7 bB	2,4 aA	2,9 aA	1300,0 aA	1683,3 cA	0,3 b
CNAx13201-8-240 (CNA 240)	53,3 AA	52,0 aA	2,2 aB	2,9 aA	1110,0 bB	2063,3 cA	0,7 b
Média	62,1 A	40,7 B	2,3 B	2,8 A	1162,5 B	2893,9 A	

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula (linhas) e minúscula (colunas) pertencem ao mesmo grupo pelo teste de agrupamento de média de Scott-Knott para cada variável

tendo como conseqüência menor nutrição da planta, também pode ser outro fator provavelmente relacionado à baixa produtividade do arroz de terras altas (Rodrigues et al., 2004).

Estudando o efeito do estresse ocasionado pela deficiência hídrica em linhagens de arroz oriundas do cruzamento de duas variedades de terras altas, uma *índica* considerada susceptível (Way Rarem), e outra *japônica*, considerada tolerante (Vandana) a tal condição, Bernier et al. (2007) encontraram variação na produção entre as linhagens, e redução de 88% na média sob a condição com estresse hídrico.

Em experimento com deficiências hídricas simuladas pela supressão da irrigação, em casa de vegetação, no início da emissão das panículas, com duração de quatro a oito dias, Crusciol et al. (2001) observaram reduções da ordem de 60 a 87%, respectivamente, na produtividade de grãos de arroz de terras altas. Jongdee et al. (2002) observaram, similarmente, que a redução no rendimento de grãos sob estresse ocorria, principalmente, devido à esterilidade das espiguetas. No presente trabalho, observa-se uma tendência de as maiores esterilidades ocasionarem as menores produtividades.

A fertilidade das espiguetas é um importante componente de produção na cultura do arroz sob deficiência hídrica, existindo correlação negativa entre a esterilidade das espiguetas e a produtividade em plantas de arroz sob estresse hídrico (Lafitte, 2002).

Estudando os efeitos do estresse de seca em cultivares de terras altas e de planície, Liu et al. (2004) observaram que os componentes de produção apresentam correlação negativa com o estresse de seca, que diminui a fertilidade das espiguetas, densidade de grãos e, conseqüentemente, o rendimento de grãos.

A cultivar Chorinho e as linhagens CNA 99, CNA 102, CNA 121, CNA 161, CNA 179, CNA 212, CNA 236 e CNA 240, diferiram estatisticamente das demais, apresentando os menores valores de Índice de Suscetibilidade à Seca (ISS), variando de 0,31 a 0,72 (Tabela 3). Pode-se atribuir este fato à maior tolerância das linhagens sob condição de estresse por deficiência hídrica, destacando-se os mais baixos índices encontrados com as linhagens que menos sofreram alterações na produção nesta condição. O Índice de Suscetibilidade à Seca (ISS) é um importante meio para a seleção de espécies de plantas com caracteres de superioridade sob condições de estresse ocasionado por deficiência hídrica (Toker & Çağiran, 1998).

A cultivar Chorinho e as linhagens CNA 102, CNA 121, CNA 161, CNA 179, CNA 212 e CNA 236, as quais apresentaram os menores ISS, também apresentaram as maiores produtividades no ambiente com déficit hídrico. No entanto, o mesmo não acontece no ambiente sem déficit hídrico, onde, não necessariamente, os menores ISS representam as maiores produtividades (Tabela 3).

Em geral, linhagens que apresentam menor ISS, independente da sua produtividade, poderiam ser utilizadas para selecionar materiais superiores de arroz sob déficit hídrico, podendo os genótipos selecionados expressar traços morfofisiológicos característicos para a adaptabilidade ao déficit hídrico (Pantuwan et al., 2002).

Conforme Xu et al. (2005), durante o processo evolutivo, o arroz de terras altas desenvolveu mecanismos de escape à seca induzidos por estímulos internos desencadeados por ações de fitormônios, os quais favoreceriam, por exemplo, o maior desenvolvimento radicular, diminuindo a mobilização dos fotoassimilados para a parte aérea, que por estar em contato direto com a demanda atmosférica, contribuiria com a perda de água da planta para o ambiente. Estas características podem ser definidas como alguns traços de tolerância à seca.

## CONCLUSÕES

A cultivar Chorinho e as linhagens CNA 102, CNA 121, CNA 161, CNA 179, CNA 212 e CNA 236 apresentaram-se superiores em relação às demais, com, simultaneamente, menores valores do ISS e maiores produtividades, na condição de déficit hídrico.

As linhagens CNA 102, CNA 121, CNA 161, CNA 179, CNA 212 e CNA 236 podem ser usadas como genitores em programas visando à tolerância/resistência à seca.

## LITERATURA CITADA

- Bernier, J.; Kumar, A.; Ramaiah, V.; Spaner, D.; Atlin, G. A large-effect QTL for grain yield under reproductive-stage drought stress in upland rice. *Crop Science*, v.47, n.2, p.507-518, 2007. <<https://www.crops.org/publications/cs/pdfs/47/2/507>>. doi:10.2135/cropsci2006.07.0495. 12 Jul. 2010.
- Bota, J.; Medrano, H.; Flexas, J. Is photosynthesis limited by decreased Rubisco activity and RuBP content under progressive water stress?. *New Phytologist*, v.162, n.3, p.671-681, 2004. <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-8137.2004.01056.x/pdf>>. doi:10.1111/j.1469-8137.2004.01056.x. 13 Jul. 2010.
- Chaves, M.M.; Oliveira, M.M. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. *Journal of Experimental Botany*, v.55, n.407, p.2365-2384, 2004. <<http://jxb.oxfordjournals.org/content/55/407/2365.full.pdf+html>>. doi:10.1093/jxb/erh269. 10 Jul. 2010.
- Crusciol, C.A.C.; Arf, O.; Soratto, R.P.; Andreotti, M.; Rodrigues, R.A.F. Produtividade e qualidade industrial de grãos de arroz de terras altas em função e lâminas de água no sistema irrigado por aspersão. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v.25, n.1, p.125-130, 2003. <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/2461/1641>>. doi:10.4025/actasciagr.v25i1.2461. 07 Ago. 2010.
- Crusciol, C.A.C.; Arf, O.; Zucareli, C. Sá, M.E.; Nakagawa, J. Produção e qualidade fisiológica de sementes de arroz de terras altas em função da disponibilidade hídrica. *Revista Brasileira de Sementes*, v.23, n.2, p.287-293, 2001. <<http://www.abrates.org.br/revista/artigos/2001/v23n2/artigo40.pdf>>. 15 Ago. 2010.
- Food and Agriculture Organization of the United Nation - FAO. FAO expects rice production to rise by 1.8 percent in 2008. <<http://www.fao.org/newsroom/en/news/2008/1000820/index.html>>. 25 Abr. 2010.
- 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, 45., 2000, São Carlos. Anais... São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.
- Fischer, R.A.; Maurer, R. Drought resistance in spring wheat cultivars. I grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, v.29, n. 5, p.897-912, 1978. <<http://www.publish.csiro.au/paper/AR9780897.htm>>. doi:10.1071/AR9780897. 18 Jul. 2010.
- Hayashi, S.; Komoshita, A.; Yamagishi, J.; Kotchasatit, A.; Jongdee, B. Genotypic differences in grain yield of transplanted and direct – seeded rainfed lowland rice (*Oryza sativa* L.) in northeastern Thailand. *Field Crops Research*, v.102, n.1, p.9-21, 2007. <[http://www.thaiscience.info/Article%20for%20ThaiScience/Article/2/Ts-2%20genotypic%20differences%20in%20grain%20yield%20of%20transplanted%20and%20direct-seeded%20rainfed%20lowland%20rice%20\(oryza%20sativa%201.\)%20in%20northeastern%20thailand.pdf](http://www.thaiscience.info/Article%20for%20ThaiScience/Article/2/Ts-2%20genotypic%20differences%20in%20grain%20yield%20of%20transplanted%20and%20direct-seeded%20rainfed%20lowland%20rice%20(oryza%20sativa%201.)%20in%20northeastern%20thailand.pdf)>. doi:10.1016/j.fcr.2007.01.001. 15 Jul. 2010.
- Heinemann, A.B.; Stone, L.F. Efeito da deficiência hídrica no desenvolvimento e rendimento de quatro cultivares de arroz de terras altas. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.39, n.2, p.134-139, 2009. <<http://www.revistas.ufg.br/index.php/pat/article/download/3819/4770>>. 15 Ago. 2010.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Levantamento sistemático da produção agrícola: pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil, v.21, n.12, p. 1-80, 2009.
- Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Monitoramento das Estações Automáticas, Gurupi - TO, Dados. 2009. <<http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/automaticas.php>>. 18 Abr. 2010.
- Jagdish, S.V.K.; Craufurd, P.Q.; Wheeler, T.R. High temperature stress and spikelet fertility in rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Experimental Botany*, v.58, n. 7, p.1627-1635, 2007. <<http://jxb.oxfordjournals.org/content/58/7/1627.full.pdf+html>>. doi:10.1093/jxb/erm003. 07 Jul. 2010.
- Jongdee, B.; Fukai, S.; Cooper, M. Leaf water potential and osmotic adjustment as physiological traits to improve drought tolerance in rice. *Field Crops Research*, v.76, n.2-3, p.153-163, 2002. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429002000369>>. doi:10.1016/S0378-4290(02)00036-9. 17 Jul. 2010.
- Jongdee, B.; Pantuwan, G.; Fukai, S.; Fischer, K. Improving drought tolerance in rainfed lowland rice: An example from Thailand. *Agricultural Water Management*, v.80, n.1-3, p.225-240, 2006. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377405003008>>. doi:10.1016/j.agwat.2005.07.015. 22 Jul. 2010.

- Kumar, A.; Bernier, J.; Satish Verulkar, S.; Lafitte, H.R.; Atlin, G.N. Breeding for drought tolerance: direct selection for yield, response to selection and use of drought-tolerant donors in upland and lowland-adapted populations. *Field Crops Research*, v.107, n.3, p.221-231, 2008. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429008000270>>. doi:10.1016/j.fcr.2008.02.007. 17 Jul. 2010.
- Lafitte, H.R.; Li, Z.K.; Vijayakumar, C.H.M.; Gao, Y.M.; Shi, Y.; Xu, J.L.; Fu, B.Y.; Yu, S.B.; Ali, A.J.; Domingo, J.; Maghirang, R.; Torres, R.; Mackill, D. Improvement of rice drought tolerance through backcross breeding: evaluation of donors and selection in drought nurseries. *Field Crops Research*. v.97, n.1, p.77-86, 2006. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429005002285>>. doi:10.1016/j.fcr.2005.08.017. 17 Jul. 2010.
- Lafitte, R. Relationship between leaf relative water content during reproduce stage water deficit and grain formation in rice, *Field Crops Research*, v.76, n. 2-3, p.165-174, 2002. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429002000370>>. doi:10.1016/S0378-4290(02)00037-0. 15 Jul. 2010.
- Liu, L.; Lafitte, R.; Guan, D. Wild *Oryza* species as potential sources of drought-adaptive traits. *Euphytica*, v.138, n. 2, p.149-161, 2004. <<http://www.springerlink.com/content/10367w74236r5237/>>. doi:10.1023/B:EUPH.0000046801.27042.14. 05 Jul. 2010.
- Marchezan, E.; Villa, S.C.C.; Marzar, V.; Korndörfer, G.H.; Santos, F.M. dos. Aplicação de silício em arroz irrigado: efeito nos componentes de produção. *Bioscience Journal*, v.20, n.3, p.125-131. 2004. <<http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6550/4284>>. 18 Set. 2010.
- Pantuwan, G.; Fukai, S.; Cooper, M.; Rajatesereekul, S. e O'toole, J.C. Yield response of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes to drought under rainfed lowlands 2. Selection of drought resistant genotypes. *Field Crops Research*, v.73, n. 2-3, p.169-180, 2002. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429001001940>>. doi:10.1016/S0378-4290(01)00194-0. 12 Jul. 2010.
- Pinheiro, B.S.; Austin, R.B.; Carmo, M.P.; Haal, M.A. Carbon isotop discrimination and yield of upland Rice as affected by drought at flowering. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, n.10, p.1939-1947, 2000. <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v35n10/35n10a04.pdf>>. doi:10.1590/S0100-204X200001000004. 21 Abr. 2010.
- Prasertsak, A.; Fukai, S. Nitrogen availability and water stress interaction on rice growth and yield. *Field Crop Research*, v.52, n.3, p.249-260, 1997. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429097000166>>. doi:10.1016/S0378-4290(97)00016-6. 12 Jul. 2010.
- Rodrigues, R.A.F.; Soratto, R.P.; Arf, O. Manejo de água em arroz de terras altas no sistema de plantio direto, usando o tanque classe A. *Engenharia Agrícola*, v.24, n.3, p.546-556, 2004. <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v24n3/a07v24n3.pdf>>. doi:10.1590/S0100-69162004000300007. 05 Set. 2010.
- Santos, A. B. dos; Rabelo, R. R. Informações técnicas para a cultura do arroz irrigado no estado do Tocantins. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2008. 136p. (Documentos / Embrapa Arroz e Feijão, 218). <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/doc\\_218\\_000g0qz6ick02wx5ok026zxp01rxr0k.pdf](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/doc_218_000g0qz6ick02wx5ok026zxp01rxr0k.pdf)>. 05 Ago. 2010.
- Secretaria da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento – SEAGRO. Governo do Estado do Tocantins. Condições ambientais. <[http://www.to.gov.br/seagro/v\\_menu.php?id=603](http://www.to.gov.br/seagro/v_menu.php?id=603)> 05 Fev. 2007.
- Silva, E.A. da; Soratto, R.P.; Adriano, E.; Biscaro, G.A. Avaliação de cultivares de arroz de terras altas sob condições de sequeiro em Cassilândia, MS. *Ciência e Agrotecnologia*, v.33, n.1, p.298-304, 2009. <<http://www.scielo.br/pdf/cagro/v33n1/v33n1a41.pdf>>. doi:10.1590/S1413-70542009000100041. 10 Ago. 2010.
- Stone, L.F.; Moreira, J.A.A.; Silva, S.C. da. Tensão da água no solo e produtividade do arroz. Goiânia: Embrapa/CNPAF, 1986. 6p. (Circular Técnica, 19).
- Toker, C.; Çagırgan, M. I. Assessment of response to drought stress of chickpea (*Cicer arietinum* L.) lines under rainfed conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, v.22, n.6, p.615-621, 1998. <<http://journals.tubitak.gov.tr/agriculture/issues/tar-98-22-6/tar-22-6-13-97023.pdf>>. 05 Jul. 2010.
- Wade, L.J.; Fukai, S.; Samson, B.K.; Ali, A.; Mazid, M.A. Rainfed lowland rice: physical environment and cultivar requirement. *Field Crops Research*, v.64, n.1-2, p.3-12, 1999. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429099000477>>. doi:10.1016/S0378-4290(99)00047-7. 28 Jul. 2010.
- Walter, M.; Marchezan, E.; Avila, L.A. de. Arroz: composição e características nutricionais. *Ciência Rural*, v.38, n.4, p.1184-1192, 2008. <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v38n4/a49v38n4.pdf>>. doi:10.1590/S0103-84782008000400049. 12 Set. 2010.
- Wrege, M.S.; Caramori, P.H.; Gonçalves, S.L.; Colasante, L.O.; Fukushima, M.T.; Abud, N.S. Determinação das melhores épocas de semeadura do arroz de sequeiro, *Oryza sativa*, no Estado do Paraná. *Acta Scientiarum*, v.23, n.5, p.1179-1183, 2001. <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/2621/2079>>. 12 Set. 2010.
- Xu, Y.; Mccouch, S.R.; Zhang, Q. How can we use genomics to improve cereals with rice as a reference genome?. *Plant Molecular Biology*, v.59, n.1, p.7-26, 2005. <<http://www.springerlink.com/content/kj22461h1h142680/>>. doi:10.1007/s11103-004-4681-2. 28 Jul. 2010.