

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**ALTERAÇÕES BIOQUÍMICAS, MORFOFISIOLÓGICAS E
PRODUTIVAS EM GENÓTIPOS DE ARROZ EM DOIS REGIMES
HÍDRICOS**

ANA CLÁUDIA DE LIMA SILVA

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu,
para obtenção do título de Mestre em Agronomia
(Agricultura).

BOTUCATU - SP
Julho - 2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**ALTERAÇÕES BIOQUÍMICAS, MORFOFISIOLÓGICAS E
PRODUTIVAS EM GENÓTIPOS DE ARROZ EM CONDIÇÕES DE
DEFICIÊNCIA HÍDRICA**

Ana Cláudia de Lima Silva

Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol
Orientador

Dr. Cleber Morais Guimarães
Prof. Dr. Rogério Peres Soratto
Co-orientadores

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Agricultura).

BOTUCATU - SP
Julho – 2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO – SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO – UNESP – FCA – LAGEADO – BOTUCATU (SP)

S586a Silva, Ana Cláudia de Lima, 1986-
Alterações bioquímicas, morfofisiológicas e produtivas em genótipos de arroz em dois regimes hídricos / Ana Cláudia de Lima Silva. - Botucatu : [s.n.], 2012
xii, 92 f. : gráfs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2012

Orientador: Carlos Alexandre Costa Crusciol

Co-orientadores: Cleber Moraes Guimarães

Rogério Peres Soratto

Inclui bibliografia

1. Antioxidantes. 2. Arroz de sequeiro. 3. Cereais.
4. Plantas - Resistência à seca. 5. Produtividade agrícola.
6. Arroz - Raízes - Crescimento. I. Carlos Alexandre Costa Crusciol. II. Cleber Moraes Guimarães. III. Rogério Peres Soratto. IV. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. VI. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: ALTERAÇÕES BIOQUÍMICAS, MORFOFISIOLÓGICAS E
PRODUTIVAS EM GENÓTIPOS DE ARROZ EM DOIS REGIMES
HÍDRICOS

ALUNA: ANA CLÁUDIA DE LIMA SILVA

ORIENTADOR: PROF. DR. CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL
CO-ORIENTADORES: PROF. DR. CLÉBER MORAIS GUIMARÃES
PROF. DR. ROGÉRIO PERES SORATTO

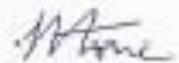
Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. ROGÉRIO PERES SORATTO



PROF. DR. MARCELO DE ALMEIDA SILVA



PROF. DR. LUIS FERNANDO STONE

Data da Realização: 29 de agosto de 2012.

Aos meus pais, **Marli** e **Olair**, pela confiança e por me deixarem sempre saber que eu os tinha. Ao Pedro e a Rhana, meus irmãos, pela beleza e alegria de estar junto.

OFEREÇO

Ao Pesquisador Dr. Cleber Moraes Guimarães e ao professor Dr. Carlos Alexandre Costa
Crusciol cientistas fundamentais no meu crescimento profissional e humano.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço, inicialmente, a Deus, porque sempre se fez presente e mostrou-me que existem soluções.

À Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista – UNESP, pela oportunidade de realização do Mestrado.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária- EMBRAPA, pela disponibilidade do espaço, infraestrutura e desenvolvimento da pesquisa.

Ao Dr. Cleber Morais Guimarães a quem expresso minha gratidão pelos ensinamentos, exemplo de dedicação, por toda a atenção, apoio, amizade e conselhos oferecidos durante todos estes anos.

Ao Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol pela orientação, conselhos e exemplo de determinação.

Ao Prof. Dr. Rogério Peres Soratto pelo apoio e por ter assumido a minha orientação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão de bolsa de estudos durante o curso.

Ao Dr. Paulo César Magalhães e ao aluno Thiago Côrrea de Souza, da Embrapa Milho e Sorgo, pelo auxílio no desenvolvimento da pesquisa.

A todos os professores do Departamento de Produção Vegetal – Agricultura, da Faculdade de Ciências Agrônomicas – UNESP/ Botucatu pela atenção e ensinamentos.

Aos funcionários da Embrapa Arroz e Feijão – Agrofisiologia (Izaque Rocha e Ariane) e aos funcionários de outros setores (Marcos, João Donizete, Reginaldo, e Nézio), pela amizade e a essencial contribuição nas atividades do experimento.

Aos funcionários do campo experimental de Porangatu Ramatis, Zezinho, Thuma, Job, Zilda e Júlio pelo apoio, amizade e pela ajuda na condução do experimento.

Às minhas amigas destas e de outras inúmeras caminhadas, Clarissa, Rafaela, Naysa e Pricila, que são parte da minha história e estão sempre guardadas na minha memória e no meu coração.

A Tatiana, Caroline, Marcella, Rubiana e Leandro por me acolherem tão bem em Botucatu – SP e serem verdadeiros amigos.

À Tailene e Flávio pelos inúmeros trabalhos feitos em grupo.

A todos os amigos do curso de pós graduação, em especial aos meninos Maurício, Jayme, Gustavo e Cláudio, pela ajuda nos trabalhos, pelos conhecimentos divididos e pela amizade acima de tudo. Cada novo amigo que ganhamos no decorrer da vida nos enriquece, nos aperfeiçoa não tanto pelo que nos dá, mas pelo que nos revela de nós mesmos.

Aos amigos do Alojamento da EMBRAPA, particularmente, Lúgia e Paulo, por terem sido companheiros e sempre amigos.

Aos estagiários do Laboratório de Agrofisiologia da Embrapa Arroz e Feijão, Lucas, Gleiceleia, Gustavo, de Porangatu, Jéssica e Luciano e, da Embrapa Milho e Sorgo, Carlos César, que colaboraram com a execução do experimento.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram e participaram do encerramento de mais um degrau de minha vida e na realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

Muito Obrigada!

“Quem não se movimenta não sente as correntes que o prendem”

Rosa Luxemburgo

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	XI
RESUMO	1
SUMMARY	3
1. INTRODUÇÃO	5
2. REVISÃO DE LITERATURA	8
2.1 Panorama da cultura do arroz.....	8
2.2 Cultivo de arroz de terras altas	9
2.3 Relações hídricas na planta de arroz.....	10
2.4 Comportamento do arroz de terras altas em condição de deficiência hídrica.....	11
2.4.1 Respostas morfofisiológicas de plantas de arroz à deficiência hídrica.....	15
2.4.2 Estresse oxidativo	18
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1. Experimento realizado em casa de vegetação	22
3.1.1 Localização do experimento e característica do local	22
3.1.2 Delineamento experimental e tratamentos	23
3.1.3 Caracterização dos genótipos	23
3.1.3.1 BRA 01600.....	23
3.1.3.2 BRS Soberana.....	23
3.1.3.3 Carreon.....	23
3.1.3.4 Guarani.....	24
3.1.3.5 IRRI 2.....	24
3.1.3.6 IRRI 33.....	24
3.1.4 Instalação e condução dos experimentos	24
3.1.5 Obtenção dos dados	25
3.1.5.1 Sistema Radicular	25
3.1.5.1.1 Comprimento e diâmetro radicular	25
3.1.5.1.2 Matéria seca radicular	26
3.1.5.2 Componentes vegetativos.....	26
3.1.5.2.1 Número de colmos por planta.....	26
3.1.5.2.2 Porcentagem de colmos férteis	26
3.1.5.3 Componentes da produção	26
3.1.5.3.1 Número de panículas por planta	26
3.1.5.3.2 Número total de espiguetas por panícula	26
3.1.5.3.3 Fertilidade das espiguetas.....	27
3.1.5.3.4 Massa de 1000 grãos.....	27
3.1.5.4 Produtividade de grãos.....	27
3.1.5.5 Produtividade de grãos relativa	27
3.2 Experimento de campo.....	27
3.2.1 Localização e característica do local	28
3.2.2 Delineamento experimental e tratamentos.....	29
3.2.3 Características dos genótipos	29
3.2.4 Instalação e condução dos experimentos	29
3.5 Obtenção dos dados	30
3.5.1 Sistema radicular	30
3.5.1.2 Comprimento e diâmetro radicular	31

3.5.1.3 Matéria seca radicular	31
3.5.2 Variáveis fisiológicas.....	31
3.5.2.1 Taxa fotossintética	31
3.5.2.2 Resistência estomática	31
3.5.2.3 Temperatura das folhas	32
3.5.2.4 Potencial hídrico	32
3.5.3 Variáveis bioquímicas.....	32
3.5.3.1 Extração e atividade enzimática	33
3.5.4. Características fenológicas.....	34
3.5.4.1. Florescimento pleno.....	34
3.5.5 Componentes vegetativos	34
3.5.5.1. Número de colmos por metro quadrado.....	34
3.5.5.2. Porcentagem de colmos férteis	34
3.5.6. Componentes da produção	34
3.5.6.1. Número de panículas por metro quadrado	34
3.5.6.2. Número total de espiguetas por panícula	35
3.5.6.3. Fertilidade das espiguetas.....	35
3.5.6.4. Massa de 1000 grãos.....	35
3.5.7. Produtividade de grãos.....	35
3.5.8. Análise estatística	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1 Experimento em casa de vegetação	37
4.1.1 Crescimento radicular	37
4.1.2 Componentes vegetativos, componentes de produção e produtividade de grãos....	46
4.2 Experimento em campo	52
4.2.1 Crescimento radicular	52
4.2.2 Variáveis fisiológicas.....	58
4.2.3 Variáveis bioquímicas.....	62
4.2.4 Características fenológicas, componentes vegetativos, de produção e produtividade	64
5 CONCLUSÕES	72
6. REFERÊNCIAS.....	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Características físicas e químicas do Latossolo Vermelho distrófico, utilizado no experimento em vaso. Santo Antônio de Goiás – GO. Ano de 2011-----	22
Tabela 2.	Características químicas do latossolo vermelho distrófico na profundidade de 0-20 cm. Ano de 2010/11-----	28
Tabela 3.	Análise de variância (probabilidade do teste F) para diâmetro (D), matéria seca (M), comprimento (Comp), comprimento total (CompT) e distribuição do comprimento de raízes (%) de genótipos de arroz de terras altas em função de dois regimes hídricos nas profundidades de 0-20 (1), 20-40 (2), 40-60 (3), 60-80 (4) e 80-100 cm (5) de profundidade. Santo Antônio de Goiás (GO), 2011-----	38
Tabela 4.	Diâmetro das raízes de genótipos de arroz de terras altas em cinco profundidades em função de dois regimes hídricos. Santo Antônio de Goiás (GO), 2011-----	39
Tabela 5.	Matéria seca de raízes de genótipos de arroz de terras altas em cinco profundidades em função de dois regimes hídricos. Santo Antônio de Goiás (GO), 2011-----	41
Tabela 6.	Comprimento de raízes de genótipos de arroz de terras altas em cinco profundidades e comprimento total em função de dois regimes hídricos. Santo Antônio de Goiás (GO), 2011-----	43
Tabela 7.	Distribuição do comprimento de raízes de genótipos de arroz de terras altas em cinco profundidades em função de dois regimes hídricos. Santo Antônio de Goiás (GO), 2011-----	45
Tabela 8.	Análise de variância (probabilidade do teste F) para número de colmos por planta (NCP), número de panículas por planta (NPP), fertilidade dos colmos (FC), número de espiguetas por panícula (NEP), fertilidade das espiguetas (FE), massa de 1000 grãos (P1000) e produtividade de grãos (PG) em genótipos de arroz de terras altas em função de dois regimes hídricos em casa de vegetação-----	46
Tabela 9.	Número de colmos por planta (NCP), número de panículas por planta (NPP), fertilidade dos colmos (FC), número de espiguetas por panícula (NEP), fertilidade das espiguetas (FE), massa de 1000 grãos (P1000) e produtividade de grãos (PG) em genótipos de arroz de terras altas em função de dois regimes hídricos-----	51
Tabela 10.	Análise de variância (probabilidade do teste F) para diâmetro (D), matéria seca (M), matéria seca total (MT), comprimento (Comp), comprimento total (CompT) e distribuição do comprimento de raízes (%) de genótipos de arroz de terras altas em função de dois regimes hídricos nas profundidades de 0-20 (1), 20-40 (2), 40-60 (3) e 60-80 cm (4) de profundidade. Porangatu (GO), 2011-----	52
Tabela 11.	Diâmetro de raízes de genótipos de arroz de terras altas em quatro profundidades em função de dois regimes hídricos. Porangatu (GO), 2011-----	53
Tabela 12.	Matéria seca de raízes de genótipos de arroz de terras altas em quatro	54

	profundidades e matéria seca total em função de dois regimes hídricos. Porangatu (GO), 2011-----	
Tabela 13.	Comprimento de raízes de genótipos de arroz de terras altas em quatro profundidades e comprimento total em função de dois regimes hídricos. Porangatu (GO), 2011-----	56
Tabela 14.	Distribuição do comprimento de raízes de genótipos de arroz de terras altas em quatro profundidades em função de dois regimes hídricos. Porangatu (GO), 2011-----	58
Tabela 15.	Análise de variância (probabilidade do teste F) para a assimilação de CO ₂ em genótipos de arroz de terras altas em função de dois regimes hídricos aos 73 e 83 DAE-----	58
Tabela 16.	Assimilação de CO ₂ em genótipos de arroz de terras altas em função de dois regimes hídricos aos 73 e 83 DAE-----	59
Tabela 17.	Análise de variância (probabilidade do teste F) para temperatura das folhas (TEMP), resistência difusiva estomática (RE) e potencial hídrico (PH) em três períodos do dia (T1 = 6:30 – 7:00 h, T2 = 14:30 – 15:00 h e T3 = 17:30 – 18:00 h) aos 72 dias após a emergência de genótipos de arroz de terras altas em função de dois regimes hídricos. Porangatu (GO), 2010 e 2011-----	60
Tabela 18.	Temperatura do dossel, resistência estomática e potencial hídrico aos 72 dias após a emergência de genótipos de arroz de terras altas em função de dois regimes hídricos. Porangatu (GO), 2010 e 2011-----	62
Tabela 19.	Análise de variância (probabilidade do teste F) para a atividade das enzimas Superóxido Dismutase (SOD), Ascorbato Peroxidase (APX), Catalase (CAT) e Guaiacol (G) em genótipos de arroz de terras altas em função de dois regimes hídricos. Porangatu (GO), 2011-----	63
Tabela 20.	Atividade das enzimas Superóxido Dismutase (SOD), Ascorbato Peroxidase (APX), Catalase (CAT) e Guaiacol (G) em genótipos de arroz de terras altas em função de dois regimes hídricos. Porangatu (GO), 2011-----	64
Tabela 21.	Análise de variância (probabilidade do teste F) para florescimento (F), altura de plantas (AP), número de colmos por m ² (NCM), fertilidade dos colmos (FC), número de panículas por m ² (NPM), número de espiguetas por panícula (NEP), fertilidade das espiguetas (FE), massa de 1000 grãos (P1000) e produtividade de grãos (PG) em genótipos de arroz de terras altas em função de dois regimes hídricos. Porangatu (GO), 2010 e 2011-----	65
Tabela 22.	Florescimento, altura de plantas, número de colmos por m ² , fertilidade dos colmos, número de panículas por m ² , número de espiguetas por panícula, fertilidade das espiguetas e massa de 1000 grãos em genótipos de arroz de terras altas em função de dois regimes hídricos. Porangatu (GO), 2010 e 2011-----	70
Tabela 23.	Produtividade de grãos e produtividade relativa de grãos em genótipos de arroz de terras altas em função de dois regimes hídricos. Porangatu (GO), 2011-----	71

RESUMO

A deficiência hídrica é um dos fatores que mais limita a produtividade do arroz de terras altas. Desta forma, a cultura do arroz deve ser inserida num sistema de produção mais eficiente com a adoção de um melhor nível de tecnologia, que inclui, se necessário, o uso de irrigação suplementar e genótipos mais adaptadas a esses períodos de deficiência hídrica com alto potencial de produtividade. Assim, o objetivo deste trabalho foi o de avaliar características agrônômicas, morfológicas, fisiológicas e bioquímicas de genótipos de arroz de terras altas com divergência quanto à tolerância à deficiência hídrica. Para tanto, foram realizados experimentos em casa de vegetação e no campo. Foram avaliados seis genótipos (Guarani, BRS Soberana, BRA 01600, Carreon, IRRI 2, IRRI 33). Em casa de vegetação foi conduzido um experimento, em delineamento de blocos casualizados e com cinco repetições. Os genótipos constituíram as parcelas, que foram semeados em tubos de PVC com solo, de 25 cm de diâmetro e 100 cm de altura, formados de cinco anéis de 20 cm de altura, que constituíram as subparcelas onde foram avaliadas as raízes. O tratamento sem deficiência hídrica foi mantido sob condições ideais de umidade no solo, potencial mátrico maior que $-0,025$ MPa a 15 cm de profundidade durante todo o ciclo da planta e o segundo com deficiência hídrica a partir da emissão de panículas até a colheita (reposição de aproximadamente 50% da água evapotranspirada). Adicionalmente foram conduzidos experimentos por dois anos em condições de campo, com e sem deficiência hídrica. Foi adotado o delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições, em esquema fatorial 2×6 . Os genótipos foram semeados em parcelas de dez fileiras de cinco metros de comprimento e espaçadas de 40 cm. O tratamento sem deficiência hídrica, assim como, no experimento de casa de vegetação, foi mantido sob boas condições hídricas durante todo o ciclo das plantas. No tratamento sob deficiência hídrica foi suspensa a irrigação adequada aos 30 dias após a emergência (DAE) e mantido até o fim do ciclo da cultura com aproximadamente 50% da lâmina de água aplicada no tratamento sem deficiência hídrica, com a adoção de turnos de rega mais longos. Foi avaliada a produtividade e seus componentes, a resistência difusiva estomática, o potencial de água nas folhas, temperatura das folhas, a taxa fotossintética e a atividade de enzimas antioxidantes nas folhas dos genótipos. Os genótipos com melhor distribuição do sistema radicular no perfil do solo possuem maior estabilidade produtiva, notadamente o Guarani. Estudos em condições controladas não representam resultados de produtividade em ambiente de campo. O genótipo Guarani foi o único que repetiu os resultados de vaso em casa de vegetação em condições de campo. Sendo o com maior estabilidade. O Guarani e o IRRI 2 aumentaram a produção de raiz no perfil do solo como estratégia de atenuar o efeito da deficiência hídrica. Normalmente sob deficiência hídrica é observado menor potencial hídrico das folhas, aumentando a resistência estomática, o que acarreta maiores temperaturas nas folhas e diminui a

assimilação de CO₂. A deficiência hídrica ocasionou maior atividade da SOD para o BRS Soberana, mas o sistema antioxidante não foi eficiente, por não ativar as enzimas de ação subsequente.

Palavras-chave: *Oryza sativa*, arroz de terras altas, produtividade de grãos, mecanismos de tolerância à deficiência hídrica, crescimento radicular, atividade de enzimas antioxidantes.

BIOCHEMICAL, MORPHOPHYSIOLOGICAL AND GRAIN YIELD CHANGES IN RICE GENOTYPES UNDER TWO WATER REGIMES. Botucatu, 2012. 104 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: ANA CLÁUDIA DE LIMA SILVA

Adviser: CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL

Co-adviser: CLEBER MORAIS GUIMARÃES

ROGÉRIO PERES SORATTO

SUMMARY

Water stress is a factor that limits the productivity of upland rice the most. Thus, rice should be inserted into a production system more efficient by adopting a higher level of technology, including, if necessary, the use of supplemental irrigation and genotypes better adapted to these periods of water shortage with high potential productivity. The objective of this study was to evaluate the agronomic, morphological, physiological and biochemical characteristics of genotypes of upland rice with a focus on drought tolerance. In order to evaluate the six genotypes, experiments were performed in greenhouse and field. The greenhouse experiments were conducted in a randomized block design with four backlights and repetitions. The genotypes were in plots which were planted in PVC tubes with soil, 25 cm in diameter and 100 cm in height, which formed five rings of 20 cm, which constituted the subplots where the roots were evaluated. The first treatment was kept under ideal conditions of soil moisture, matric potential greater than - 0.025 MPa at 15 cm depth throughout the plant cycle. The second plot water deficit from the issuance of panicle until harvest (approximately 50 replacement % of water transpired). It was adopted from a randomized block design with four replications in experiments conducted under field conditions. The genotypes were planted in plots of ten rows of five meters long and spaced 40 cm. The experiments were conducted in two different water environments. The environment that was not water deficit, as well as in a greenhouse experiment was good water conditions throughout the crop season. Water stress in field experiment was applied after 30 days after emergence (DAE). We evaluated the productivity, morphology in the water absorption of the root system, stomatal sensitivity, photosynthetic rate and activity of antioxidant enzymes in the leaves of the genotypes. According to the results observed in the experiments conducted in

2010 and in 2011 it was found that the genotypes with better root distribution in the soil profile are more stable productivity, notably the Guarani. Studies under controlled conditions do not represent productivity results in a field environment. Genotype Guarani was repeated only the results of that vessel under field conditions. Being the most stable. Some genotypes increase the production of roots in the soil profile as a strategy to mitigate the effect of water stress. Normally under water stress is observed lower leaf water potential, stomatal resistance increases, which results in higher temperatures leaves and reduces CO₂ assimilation. Water stress resulted in higher SOD activity for BRS Soberana, but the antioxidant system was not efficient, not to activate the enzymes in subsequent action.

Keywords: *Oryza sativa*, upland rice, grain yield, drought tolerance mechanisms, root growth, antioxidant enzymes

1. INTRODUÇÃO

No arroz (*Oryza sativa* L.) de terras altas, cultivado no sistema de sequeiro a irregularidade da precipitação pluvial acarreta limitação no teto de produtividade de grãos. Entretanto, o aumento na produtividade de grãos de arroz nas áreas irrigadas, por si só, não será suficiente para atender a crescente demanda por esse cereal. Isso é agravado quando se considera que a expansão da área plantada em alguns países esbarra na indisponibilidade de água e, em outros, em leis ambientais rigorosas que protegem o ecossistema de várzeas, tido como área de preservação. Portanto, é cada vez mais evidente a dependência da produção de arroz dos ecossistemas aeróbicos, que apresentam limitações climáticas para o cultivo.

O cultivo de arroz de terras altas vem aumentando mundialmente nos últimos anos, justamente pela água ser um fator limitante. Países como a China, em que em quase sua totalidade o arroz era cultivado no ecossistema de várzeas, aumenta a sua área de cultivo de arroz de terras altas a cada ano. No Brasil, o arroz de terras altas ainda desempenha o papel de cultura pioneira, por se adequar aos solos ácidos e com baixa fertilidade da fronteira agrícola, principalmente da região Amazônica, norte do Estado de Mato Grosso e sul do Estado do Pará, onde há condições climáticas mais adequadas (favorecidas). A expansão da semeadura nessas áreas certamente crescerá em descompasso com a demanda do aumento de produção, dada a rigidez estabelecida pelas instituições ambientais ao uso dessas terras e a oneração dos custos de produção pelo transporte dos

insumos agrícola e dos grãos produzidos em regiões cada vez mais distantes dos centros de consumo.

O cultivo do arroz de terras altas destaca-se na região do Cerrado, onde predominam os Latossolos, de boas características físicas, mas de baixa fertilidade. Nessa região, a pluviometria anual está em torno dos 1200-1500 mm, distribuídos ao longo dos meses de outubro a abril. Todavia, durante os meses de janeiro e fevereiro, podem ocorrer períodos de deficiência hídrica, chamados de “veranicos”, que são a principal causa da baixa produtividade e instabilidade de produção do arroz de terras altas. A deficiência hídrica pode desencadear outros estresses abióticos, como a alta temperatura das plantas e a deficiência de nutrientes. Contudo, a maior consequência do veranico é o decréscimo da disponibilidade de água no solo, que diretamente reduz o potencial de água na planta.

O desafio é encontrar parâmetros secundários que expressem o comportamento adaptativo das plantas a condições limitadas de água no solo e que se correlacionem fortemente com a produtividade nesse ambiente. É comum encontrar propostas e relatórios de pesquisas e revisões de literatura afirmando que a resistência/tolerância à deficiência hídrica é uma “característica complexa”. No entanto, aceitar esse rótulo pode causar implicações negativas para o ensino sobre o assunto, no direcionamento da pesquisa científica e no custo e entrega de soluções para o agricultor. Desta forma, nem todas as atividades celulares ou mesmo adaptações celulares à desidratação significam resistência à deficiência hídrica, no sentido agrônômico.

Assim, há um conceito que se torna cada vez mais evidente: o arroz de terras altas deve se adaptar aos estresses abióticos no mesmo nível de outras culturas, como soja e milho, sob pena de não ser viável nos sistemas de rotações. Entretanto, deve-se considerar que os ancestrais dessa cultura eram semiaquáticos e que ela não teve plena adaptação aos sistemas aeróbicos, pois apresenta limitada tolerância à deficiência hídrica. Vários pesquisadores relatam que, para estabilizar a produtividade de grãos dessa cultura, são necessárias genótipos de arroz mais tolerantes à deficiência hídrica, mantendo o crescimento e o desenvolvimento mesmo quando há redução da água no solo.

Estudos que envolvam a identificação de genótipos de arroz para o ecossistema de terras altas com tolerância à deficiência hídrica e os mecanismos envolvidos com essa característica, tais como ajustes morfológicos, bioquímicos e produtivos são de suma

importância para o desenvolvimento de novos genótipos e, conseqüentemente, a expansão da cultura em rotação/sucessão ao milho, soja e algodão, principais cultivos de verão nas regiões caracterizadas com veranicos durante a estação chuvosa, notadamente o cerrado brasileiro.

Alguns trabalhos sobre estudos de deficiência hídrica se limitam à pesquisa em casa de vegetação. Desta forma, é necessário observar se os experimentos que consideram apenas resultados de casa de vegetação são suficientes para a seleção desses genótipos, uma vez que a resistência/tolerância à deficiência hídrica envolve uma rede complexa de mecanismos biológicos, influenciados por diferentes condições ambientais. Além disso, é relevante constatar se aquelas genótipos que acionam os seus mecanismos de tolerância à deficiência hídrica são os mais produtivos. Ou seja, se o desempenho das genótipos em situação de deficiência hídrica são características desejáveis para o melhoramento de plantas, que visa o aumento e a estabilidade na produtividade de grãos.

Mediante ao estabelecido, o presente trabalho objetivou avaliar as características agrônômicas e morfológicas de genótipos de arroz de terras altas com divergência quanto à tolerância à deficiência hídrica comparando-se os resultados em experimentos em casa de vegetação e em condições de campo. Ainda, caracterizar os principais indicadores fisiológicos e bioquímicos responsáveis pela tolerância à deficiência hídrica em condições de campo destes mesmos genótipos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Panorama da cultura do arroz

O arroz está entre os cereais mais importantes do mundo. A Ásia é responsável por 88,95% do consumo mundial, seguida das Américas (4,94%), África (4,91%), Europa (1,03%) e Oceania (0,16%). O consumo médio anual per capita de arroz em casca no mundo em 2011/12 foi de 56,7 kg e a previsão é que chegue a 57,0 kg em 2012/13 (FAO, 2012). Segundo estudo realizado por Wander e Chaves (2010), o brasileiro consome 46 kg ano⁻¹ de arroz beneficiado, reforçando sua importância de alimento básico da dieta da população. Na ordem decrescente, a região que mais consome o arroz no domicílio familiar é o Centro-Oeste, seguida pelas regiões Norte, Nordeste, Sudeste e Sul. Houve queda de 8% no consumo aparente per capita anual de arroz no Brasil no período 1990 a 2010, de 4% entre os períodos 2002 a 2009 e de 16,1% no consumo domiciliar por habitante entre esses mesmos períodos constatados pelas Pesquisas de Orçamento Familiares (WANDER; CHAVES, 2010).

A China é o principal país produtor de arroz, cerca de 30% da produção mundial se concentra neste país. Na safra de 2009/2010 foram produzidos 696 milhões de toneladas de arroz em casca no mundo. Destacou-se a China, Índia e Indonésia que produziram respectivamente 197, 120 e 66 milhões de toneladas de arroz. O Brasil que está entre os 10 maiores produtores, em 2010 produziu 11 milhões de toneladas, aproximadamente 2% da produção mundial (FAO, 2012).

Os seis Estados que possuíram as maiores áreas de cultivo na safra de 2010/2011 foram Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Tocantins, nos quais predominam o

ecossistema de várzeas, e Maranhão, Mato Grosso, Piauí, e uma parte do Tocantins em que o ecossistema de cultivo é o de terras altas (CONAB, 2012).

Entre os sistemas de produção, o sistema de sequeiro vem ganhando espaço no cenário mundial. Ele é cultivado na Ásia, na África e nas Américas, em sua maioria por pequenos agricultores ou de subsistência nas regiões mais pobres do mundo (CGIAR, 2006).

De 2010/2011 para 2011/2012 a área cultivada com arroz no Brasil teve uma redução de 11,7%, passando de 2,8 para 2,4 milhões de hectares. O cultivo de arroz de sequeiro vem diminuindo safra a safra, ocorreu uma redução de área principalmente na região Centro-Oeste (35,3%), em menor índice nas regiões Nordeste (7,7%) e Norte (6,1%). No Rio Grande do Sul, principal estado produtor, onde predomina o sistema irrigado por inundação, ocorreu redução da área semeada de 10,1%, pela dificuldade de comercialização, preços pouco atrativos, aumento no custo de produção e falta de água nos reservatórios (corpos d'água, açudes e barragens) no momento da semeadura (CONAB, 2012).

A expectativa é que em 2012 a produtividade chegue a 4685 kg ha⁻¹ para a safra nacional. Quanto ao arroz no ecossistema de várzea a produtividade deve ficar ao redor de 7000 kg ha⁻¹ e arroz de terras altas deve manter a constância de 3000 kg ha⁻¹ (CONAB, 2012). O ecossistema de arroz predominante no Brasil é o de terras altas, que representa cerca de 65% da área total cultivada com o cereal, sendo responsável por 35% da produção de arroz em casca (CONAB, 2011). Vale ressaltar que nesse ecossistema de cultivo predomina na sua totalidade o sistema de cultivo de sequeiro, tendo o sistema irrigado por aspersão pouca representatividade.

2.2 Cultivo de arroz de terras altas

No Brasil, a cultura do arroz apresenta características diversas, decorrentes das peculiaridades em relação às condições edafoclimáticas e de infra-estrutura das diferentes regiões, estando disseminada por todo território brasileiro. Segundo Guimarães et al. (2006a) são considerados dois grandes agroecossistemas para cultura, o de várzeas, constituído dos sistemas irrigado por inundação controlada e várzeas úmidas (sem inundação controlada), e o terras altas, constituído do sistema de sequeiro e do sistema irrigação por

aspersão. O sistema de cultivo de sequeiro é caracterizado por uma produção instável, por ser submetido a condições climáticas inconstantes.

Particularmente, na região do Cerrado, a deficiência hídrica é o principal problema. Ela é causada pela ocorrência de estiagens prolongadas, “veranicos”. Os veranicos podem ser definidos como períodos com precipitação pluvial abaixo do normal que limitam a produtividade da cultura (BOYER, 1982; KRAMER; BOYER, 1995). Veranicos de seis a dez dias podem ocorrer com frequência de até 20% durante o ano nas regiões brasileiras produtoras de arroz.

Assim, a produtividade do arroz no sistema de sequeiro no Brasil é considerada muito baixa, além de ser frequentemente desestabilizada pela deficiência hídrica, sendo que a disponibilidade de genótipos tolerantes à deficiência hídrica constitui importante estratégia para minorar tal problema (PEREIRA et al., 1994).

O programa de melhoramento da Embrapa Arroz e Feijão para o arroz de terras altas visa o desenvolvimento de novas genótipos que apresentem alto potencial de produtividade de grãos para atender ao sistema irrigado por aspersão, e adaptabilidade aos períodos de deficiência hídrica, veranicos, para atender o sistema de sequeiro. Espera-se que genótipos de arroz de alto potencial produtivo tolerantes à deficiência hídrica sejam obtidas e ofertadas aos agricultores, minimizando o risco de perdas por veranicos, tão comuns no Cerrado brasileiro (GUIMARÃES, et al., 2009).

2.3 Relações hídricas na planta de arroz

A quantidade de água consumida pelo arroz é variável com o método de irrigação, com o solo, com as condições climáticas, com o ciclo da genótipo e com as práticas culturais adotadas. O arroz de terras altas necessita de 200 mm de chuva por mês durante o ciclo da cultura (MORAIS et al., 1979), ou, segundo Steinmetz (1986), a necessidade total de água para a cultura do arroz de terras altas varia de 600 a 700 mm, quando o arroz de terras altas for irrigado por aspersão. O recomendado para o potencial de água no solo, determinado por meio de tensiômetros instalados a 15 cm de profundidade, é que não ultrapasse o valor de -0,025 MPa, pois abaixo desse valor começa a ocorrer redução na produtividade de grãos (STONE et al., 1986).

Segundo Pinheiro (2006), o número máximo de perfilhos coincide com o início da diferenciação de panículas em genótipos de ciclo curto, enquanto em genótipos de ciclo longo se prolonga pela fase reprodutiva. Desta forma, no arroz de terras altas, é na fase de máximo desenvolvimento vegetativo, que normalmente ocorre ao redor da floração, que acontece a maior perda de água por transpiração das plantas. Assim, é na fase reprodutiva em que a cultura requer mais água. De acordo com Wickham e Sen (1978), a evapotranspiração do arroz irrigado por inundação depende da demanda evaporativa da atmosfera e é independente da fase de desenvolvimento da cultura.

No cultivo de arroz de terras altas foi demonstrado em pesquisas a importância da irrigação por aspersão durante os anos que ocorrem a deficiência hídrica (PINHEIRO et al., 1985; ARF et al., 2001; CRUSCIOL et al., 2006; CRUSCIOL et al., 2008). Crusciol et al (2008) relataram que a irrigação por aspersão aumentou o rendimento de engenho (8,0%) e de grãos inteiros (23,7%) do arroz de terras altas, em anos com ocorrência de veranicos nas fases reprodutiva e de maturação. Isto ocorre porque a disponibilidade de água adequada do solo aumenta a absorção de água e nutrientes, bem como a translocação de fotoassimilados para os grãos, permitindo o enchimento contínuo de grãos e desenvolvimento adequado (CRUSCIOL et al., 2008).

Segundo Fageria (1980), o consumo de água pela cultura do arroz de terras altas é distribuído em 30% durante a fase vegetativa, 55% durante a fase reprodutiva e 15% na fase de maturação. O efeito da deficiência hídrica dependerá do momento e do período de ocorrência. Apesar de ser prejudicial em todas as fases, o período mais crítico é na fase reprodutiva, sendo o estágio de 15 dias anterior ao florescimento mais prejudicial. A falta de água nessa época provoca esterilidade ou má formação de espiguetas com grande reflexo na produtividade (MOREIRA; KLUGE, 1999).

2.4 Comportamento do arroz de terras altas em condição de deficiência hídrica

A ocorrência da deficiência hídrica em todas as fases de desenvolvimento da planta de arroz acarretará em prejuízos na produtividade de grãos. No entanto, a intensidade do efeito depressivo da deficiência hídrica dependerá do momento, do período de ocorrência e da tolerância relativa da planta.

Atualizando a revisão de literatura realizada por Crusciol (1998), durante a fase vegetativa, da emergência das plântulas até a diferenciação do primórdio da panícula, a deficiência hídrica aumenta o ciclo da cultura (OLIVEIRA, 1994; OLIVEIRA, 1995; ARF et al., 2001, CRUSCIOL, et al, 2003a, 2003b e 2003c; RODRIGUES et al. 2004, CRUSCIOL et al, 2006), reduz a altura da planta (CRUZ, 1974; STONE et al., 1984a; AQUINO, 1984; CAMPELO JÚNIOR, 1985; PINHEIRO et al., 1985; CARVALHO JÚNIOR, 1987; OLIVEIRA, 1994; OLIVEIRA, 1995; ARF et al., 2001; CRUSCIOL et al, 2003a, 2003c; 2006; RODRIGUES et al., 2004) e, principalmente, o número de colmos por área (AQUINO, 1984; PINHEIRO et al., 1990; FORNASIERI FILHO, FORNASIERI, 1993) refletindo posteriormente no número de panículas (STONE et al., 1979a e 1979b; STONE et al., 1984a; PINHEIRO et al., 1985; OLIVEIRA, 1994; OLIVEIRA, 1995; ARF et al., 2001; CRUSCIOL et al., 2002a, 2002b, 2003g; RODRIGUES et al., 2004).

Na fase reprodutiva, período da diferenciação do primórdio da panícula até o florescimento, a deficiência hídrica, ainda, pode reduzir o número de panículas, mediante a não transformação da gema vegetativa em reprodutiva e da degeneração do primórdio da panícula, afetando a porcentagem de colmos férteis (PINHEIRO et al., 1985). A ocorrência de deficiência hídrica durante, aproximadamente, os primeiros vinte dias da fase reprodutiva, pode reduzir o número de espiguetas total por panícula (CRUZ, 1974; YOSHIDA, 1977; FAGERIA, 1980; CAMPELO JÚNIOR, 1985; DABNEY; HOFF, 1989; OLIVEIRA, 1995; PRASERTSAK; FUKAI, 1997; CRUSCIOL et al., 2002a, 2003a, 2003c; RODRIGUES et al., 2004).

O número de espiguetas granadas por panícula é afetado pela deficiência hídrica durante a formação da panícula, ou durante as etapas de microsporogênese e de florescimento (STONE et al., 1984a; PINHEIRO et al., 1985; STONE et al., 1986; PINHEIRO et al., 1990; FORNASIERI FILHO, FORNASIERI, 1993; OLIVEIRA, 1994; OLIVEIRA, 1995; PRASERTSAK; FUKAI, 1997; RODRIGUES et al., 2004; CRUSCIOL et al., 2006). A deficiência hídrica durante o emborrachamento e o florescimento proporciona aumento do número de espiguetas chochas por panícula (STONE et al., 1984a; AQUINO, 1984; PINHEIRO et al., 1985; STONE et al., 1986; FORNASIERI FILHO, FORNASIERI, 1993; OLIVEIRA, 1994, OLIVEIRA, 1995; PRASERTSAK, FUKAI, 1997; RODRIGUES et al., 2004; CRUSCIOL et al., 2006).

Na fase de maturação, a deficiência hídrica na cultura do arroz afeta a massa dos grãos (CRUZ et al. 1975, STONE et al., 1979a e 1979b; FAGERIA, 1980, STONE et al. 1984a; AQUINO, 1984; CAMPELO JÚNIOR, 1985; STONE et al., 1986; CARVALHO JÚNIOR, 1987; DABNEY, HOFF, 1989; OLIVEIRA, 1994; PRASERTSAK, FUKAI, 1997; ARF et al., 2001; CRUSCIOL et al. 2002a, 2002b, 2006, 2012; RODRIGUES et al., 2004), principalmente, quando ocorre nos primeiros quatorze dias após o florescimento. A massa do grão trata-se de um caráter varietal estável, que depende do tamanho da casca, determinado durante duas semanas que antecedem a antese (YOSHIDA, 1981b) e do desenvolvimento da cariópse após o florescimento (MATSUSHIMA, 1970), portanto dependem das translocações de carboidratos, nos primeiros sete dias, para preencher a casca no sentido do seu comprimento, e nos sete dias posteriores, na largura e espessura (MACHADO, 1994).

Consequentemente, a deficiência hídrica, na maioria das vezes reduz a produtividade de grãos (CRUZ et al., 1975; STONE et al., 1979a e 1979b; FAGERIA, 1980; MAMBANI; LAL, 1983; AQUINO, 1984; STONE et al., 1984a; CAMPELO JÚNIOR, 1985; PINHEIRO et al., 1985; STONE et al., 1986; CARVALHO JÚNIOR, 1987; DABNEY; HOFF, 1989; CASTILHO et al., 1992; FORNASIERI FILHO, FORNASIERI, 1993; OLIVEIRA, 1994; OLIVEIRA 1995; PRASERTSAK; FUKAI, 1997; ARF et al., 2001; CRUSCIOL et al., 2002a, 2002b, 2003a, 2003b, 2003c, 2003d, 2003e, 2003f; RODRIGUES et al., 2004; CRUSCIOL et al., 2006; SANTOS et al., 2007, 2008), mediante um efeito sinérgico, quando atua sobre dois ou mais componentes da produção, ou em um efeito isolado, quando se manifesta sobre um componente da produção.

Além disso, a deficiência hídrica reduz a produção de matéria seca total (AQUINO, 1984; STONE et al., 1984a; CAMPELO JÚNIOR, 1985; STONE, 1985; STONE et al., 1986; CARVALHO JÚNIOR, 1987; TANGUILIG et al., 1987; DABNEY; HOFF, 1989; CASTILHO et al., 1992; PRASERTSAK; FUKAI, 1997, CRUSCIOL et al., 2003e e 2003f), o índice de colheita (AQUINO, 1984; STONE et al., 1984a; CAMPELO JÚNIOR, 1985; PRASERTSAK; FUKAI, 1997), o uso d'água (STONE et al., 1984a; CAMPELO JÚNIOR, 1985), a eficiência do uso da água (STONE et al., 1984a), a absorção de nutrientes (VIETS JÚNIOR, 1972; PONNAMPERUMA, 1975; STONE, 1985; CARVALHO JÚNIOR, 1987; CRUSCIOL et al., 2003d, 2003e, 2003f, 2003h), tais como nitrogênio (STONE et al., 1984b; TANGUILIG et al., 1987; CASTILHO et al., 1992; PRASERTSAK;

FUKAI, 1997, CRUSCIOL et al., 2002a; CRUSCIOL et al., 2003d), fósforo (STONE, 1985; TANGUILIG et al., 1987; CRUSCIOL et al., 2003d) e potássio (STONE, 1985; TANGUILIG et al., 1987; CRUSCIOL et al., 2002a; CRUSCIOL et al., 2003d), a exportação de macro (CARVALHO JÚNIOR, 1987; CRUSCIOL et al., 2002a; CRUSCIOL et al., 2003e e 2003f) e micronutrientes (CARVALHO JÚNIOR, 1987; CRUSCIOL et al., 2003h), a qualidade e vigor das sementes produzidas (CRUSCIOL et al., 2001a, 2002b, 2012), bem como a qualidade industrial dos grãos (ARF et al., 2002; RODRIGUES et al., 2004; CRUSCIOL et al., 2002a, 2003c, 2003d, 2008).

A partir da fase leitosa de maturação dos grãos, o fornecimento de água não é mais necessário para a cultura do arroz (STONE et al., 1979b).

A primeira reação das plantas ao serem submetidas à deficiência hídrica é evitar a redução do seu potencial hídrico, pelo aumento da absorção de água ou redução da transpiração, de tal maneira que o balanço de água é preservado e a planta evita os efeitos da deficiência hídrica. Esse comportamento é observado durante os estresses hídricos moderados ou estresses severos de curta duração. Nessas circunstâncias, o aumento e a melhor distribuição do sistema radicular, a maior eficiência na absorção de água e o aumento da sensibilidade estomática podem contribuir para a manutenção da produtividade de grãos (KRAMER; BOYER, 1995).

A maior produtividade de grãos do arroz de terras altas sob deficiência hídrica pode estar associado a vários parâmetros (O'TOOLE, 1982). Aqueles associados à melhor capacidade da planta em absorver água nas camadas mais profundas do solo parecem ser os mais importantes quando os veranicos são constantes e não são muito longos, não comprometendo o armazenamento de água nas camadas mais profundas do solo. Lafitte e Courtois (2002) e Lafitte et al. (2003) afirmaram que vários são os parâmetros para possível uso como critério de seleção nos programas de resistência à deficiência hídrica, porém poucos parecem contribuir com o aumento da produtividade de grãos em condições de deficiência hídrica. Além do sistema radicular, o alto potencial de água na folha, a baixa esterilidade das espiguetas, a redução do retardamento da floração, o índice de resposta à deficiência hídrica (BIDINGER et al., 1982; FUKAI et al., 1999, PANTUWAN et al., 2002) e observações visuais tem sido usadas como critério de avaliação para resistência à seca (IRRI, 1996).

Além das reações diretas das plantas, resultantes da deficiência hídrica, ocorrem outras como a redução da fotossíntese pela redução da fixação do CO₂, devido à excessiva sensibilidade estomática ou à excessiva imobilização de carboidratos no sistema radicular, que também irão comprometer a produtividade de grãos. Conforme Fukai e Inthapan (1988), o arroz de terras altas, o milho e o sorgo apresentam similar desenvolvimento radicular e absorção de água até 60 cm de profundidade, entretanto, abaixo dessa, a extração de água pelo arroz é inferior, sendo esse o fator responsável pela sua maior sensibilidade à deficiência hídrica.

Tem sido observado que a deficiência hídrica na fase inicial do desenvolvimento do arroz retarda o florescimento comparativamente às plantas supridas adequadamente com água. Pantuwan et al. (2002) encontraram variabilidade significativa da floração entre plantas submetidas à deficiência hídrica, apesar de apresentarem data de floração semelhante quando supridas adequadamente com água (OLIVEIRA, 1994; OLIVEIRA, 1995; ARF et al., 2001, CRUSCIOL, et al, 2003a, 2003b e 2003c; RODRIGUES et al. 2004, CRUSCIOL et al, 2006). O retardamento correlacionou-se negativamente com a produção de grãos, fertilidade de panículas e espiguetas. Guimarães et al. (2006b) também observaram que a deficiência hídrica proporcionou floração mais tardia para as linhagens mais susceptíveis à deficiência hídrica comparativamente às linhagens mais resistentes.

Segundo Lafitte e Courtois (2002), genótipos de arroz mais tolerantes à deficiência hídrica, que mantenham estáveis o crescimento e a produtividade de grãos quando há redução da água no solo, são necessárias para estabilizar a produção. A melhor adaptabilidade do arroz de terras altas a essas condições é possível com a exploração da sua variabilidade genética (LAFITTE; BENNETT, 2003). De acordo com Fukai e Cooper (1995), a despeito do considerável aumento do conhecimento do estresse fisiológico, o desenvolvimento de genótipos tolerantes à deficiência hídrica, ou seja, genótipos que produzam melhor que outras em condições de deficiência hídrica, têm sido muito lento, entretanto avanços podem ser conseguidos por meio do melhoramento genético direcionado para atender a condições específicas de deficiência hídrica.

2.4.1 Respostas morfofisiológicas de plantas de arroz à deficiência hídrica

A produção de arroz é influenciada por vários fatores ambientais e biológicos, os principais são temperatura, água, radiação solar e nutrientes. A ocorrência de temperaturas superiores à 35°C pode causar esterilidade de espiguetas, principalmente se a genótipo estiver sob limitado suprimento de água (STEINMETZ et al., 2006).

As diferenças de temperatura entre o dossel da planta e o ar ambiente se altera com o tempo, ou seja, quanto maior a temperatura ambiente e a deficiência de água no solo, mais elevada será a temperatura da folha. Desta forma, a determinação da temperatura de dossel pode ser utilizada para estimar a disponibilidade de água para a planta. Gomide (1998) também sugeriu que a determinação da temperatura do dossel das plantas, quando relacionadas com outras variáveis ambientais, poderia ser um bom indicador da demanda de água. Assim, o estado de água na planta pode ser inferida pelo estado térmico da planta (LEINONEM; JONES, 2004). Segundo Jackson et al. (1981), a deficiência hídrica ocasiona o fechamento parcial dos estômatos, causando queda na transpiração foliar, e as folhas aquecem acima da temperatura do ar devido à radiação absorvida.

Para o arroz de terras altas foi observada correlação positiva entre temperatura da folha e a esterilidade de espiguetas, e negativa entre a temperatura da folha e produtividade de grãos (GUIMARÃES et al., 2010). Desta forma, a temperatura da folha é considerada um indicador apropriado para estimar o estado hídrico da planta durante a deficiência hídrica e pode ser utilizada para selecionar linhagens para programas de melhoramento do arroz de terras altas (GOMIDE et al., 2011).

Outro mecanismo importante que influencia a tolerância à deficiência hídrica é a variação da abertura estomática que irá afetar a taxa de transpiração e, assim, o balanço de energia de plantas individuais e de comunidades inteiras. A resistência estomática não é somente influenciada pelo potencial de água do solo e atmosférico (BRADY et al., 1974), outros fatores tais como local de medição, estágio fisiológico de crescimento da planta, folhas molhadas e irrigação recente também influenciarão no valor determinado (GOMIDE et al., 2011).

A planta perde para o meio externo, através dos poros estomáticos, a maior parte da água que é absorvida, absorvendo energia em forma de calor, regulando, assim, a sua temperatura interna. Cada poro é formado por um par de células esclerenquimáticas especializadas, denominadas células-guarda, responsáveis pela regulação do tamanho da

abertura do poro estomático (RAVEN et al., 2001). O fechamento estomático pode ser hidropassivo, que é resultante da perda evaporativa da água, e hidroativo, quando toda a folha e/ou raízes estão desidratados (TAIZ; ZEIGER, 2009). A desidratação de apenas parte do sistema de raízes pode causar fechamento estomático, mesmo que uma porção bem-hidratada desse sistema ainda libere grande quantidade de água para a parte aérea (TAIZ; ZEIGER, 2009).

A variação da abertura estomática também pode afetar as taxas líquidas de fotossíntese por seu efeito na troca de CO₂ (MORROW; SLATYER, 1971). Zhou (2007) afirmou que a deficiência hídrica diminuiu a taxa de assimilação de CO₂ e condutância estomática especialmente sob a luz alta. A assimilação de CO₂ diminuiu inicialmente e depois aumentou, indicando que tanto as limitações estomática e não-estomática são responsáveis pela inibição da fotossíntese. Segundo Xu et al. (2008), a relação e a proporção da limitação fotossintética por fatores estomáticos e não estomáticos é, ainda, um tema sob intenso debate na literatura.

O desafio da pesquisa em condições de deficiência hídrica é o de encontrar plantas que possuam mecanismos que minimizem a perda de água ou mantenham o potencial hídrico acima dos níveis críticos de estresse, não perdendo significativamente o seu potencial produtivo. Segundo Verslues (2006), a consequência mais marcante dos veranicos no Cerrado é o decréscimo da disponibilidade de água no solo, que diretamente reduz o potencial de água na planta.

Fukai et al. (1999) acrescentaram que a manutenção do alto potencial de água na planta durante a pré-floração é associado com o alto potencial de água nas panículas, redução do retardo da floração e redução da esterilidade das espiguetas, os quais contribuem para maiores produtividades. A importância da manutenção do potencial de água nas panículas durante a definição da fertilidade das espiguetas foi observada anteriormente por Ekanayake et al. (1989). Apesar da complexa rede de mecanismos associada à resistência à deficiência hídrica, é bastante evidente que aqueles mecanismos associados à capacidade de manutenção de alto potencial de água na planta associam-se diretamente com a alta produtividade de grãos em condições de deficiência hídrica (FUKAI et al., 1999). Segundo Tardieu e Davies (1993), a raiz é que é a responsável pelo envio de mensagens químicas que acionarão mecanismos de tolerância à deficiência hídrica em uma escala de tempo maior de

falta de água, em curto prazo a demanda evaporativa é que aciona respostas fisiológicas na planta. Isto acontece porque é a raiz que detecta as condições de extração de água (estado de água no solo e resistência ao fluxo de água), por meio do potencial de água na raiz e no solo.

De acordo com Kato e Okami (2011), a emergência de raízes adventícias e a proliferação de raízes laterais foram componentes morfológicos reprimidos no desenvolvimento de genótipos de arroz para ambiente aeróbico, resultando em decréscimo significativo no comprimento total da raiz nesse modo de cultivo. Desta forma, segundo os mesmo autores, essas mudanças morfológicas na raiz da planta do arroz são as principais razões para a adaptação limitada desta cultura no sistema de cultivo de sequeiro.

Yoshida e Hasegawa (1982) relataram que há grande variabilidade genotípica para densidade radicular abaixo de 30 cm de profundidade. A propósito, os autores usaram a relação biomassa das raízes mais profundas/parte aérea como índice de resistência à deficiência hídrica. Após avaliarem um número considerável de linhagens, verificaram que as que tiveram maior relação sistema radicular profundo/parte aérea perfilhavam menos e tinham porte mais alto, como observado geralmente nos ideótipos tradicionais de arroz de terras altas.

Fukai e Cooper (1995) confirmaram que entre as linhas examinadas por Yoshida e Hasegawa (1982), as mais adaptadas à escassez de água tinham maior altura e menor perfilhamento. Suas raízes eram menos numerosas, mas muito mais vigorosas e mais profundas, com melhor distribuição de ramificações secundárias e terciárias, dependendo do perfil do solo. Essas raízes têm maior diâmetro externo, as células do xilema são maiores e oferecem menos resistência ao fluxo de água. Estas são características que refletem sobre o estado da água das plantas e que podem ser avaliados pelo conteúdo relativo de água, potencial hídrico, ou mesmo inferido por sua temperatura (GUIMARÃES et al., 2010).

2.4.2 Estresse oxidativo

O estresse promovido pelo ambiente representa o fator limitante mais importante para a produtividade vegetal e o rendimento das culturas. Diversas situações ambientais são capazes de produzir estresse oxidativo, sendo classificados em abióticos (alta irradiância, deficiência hídrica, hipoxia, deficiência mineral, baixa e alta temperaturas, etc), bióticos (infestação bacteriana, fúngica ou viral) e xenobióticos (herbicidas, fungicidas, metais

pesados, etc) (CARRILO; VALLE, 2005). Assim, apesar dos organismos aeróbicos disporem de vantagens energéticas significativas utilizando o oxigênio molecular como um oxidante terminal na respiração, sua presença no ambiente celular constitui uma ameaça oxidativa constante às suas próprias estruturas e processos metabólitos, devido ao seu potencial como redutor parcial para formar as Espécies Reativas de Oxigênio (EROs) (VAN BREUSEGEM et al., 2001; GRATÃO et al., 2005), as quais podem ser altamente destrutivas para células e tecidos caso a produção não seja estritamente controlada, ou seja, o excesso de EROs pode afetar a síntese de proteínas, induzir mutações no DNA, reduzir as taxas de fotossíntese, podendo também, destruir a integridade da membrana celular (ALSCHER et al., 2002; SRIVASTAVA, 2002).

A principal via de metabolismo do oxigênio no organismo vegetal envolve a sua completa redução à água, incorporando quatro elétrons ao final da cadeia respiratória e, caso ocorra redução do oxigênio com um número menor de elétrons ao longo da cadeia respiratória, haverá a produção de radicais livres. Por sua configuração eletrônica, o oxigênio tem forte tendência de receber um elétron de cada vez. (HALLIWELL; GUTTERIDGE, 1989).

Diversos estudos têm indicado que as EROs também funcionam como moléculas sinalizadoras em plantas e possuem papel importante na ativação de fatores de transcrição, ativando ou reprimindo a expressão de genes relacionados com a defesa a patógenos, e durante o desenvolvimento da planta (SCANDALIOS, 2002; MITLER, 2002; APEL; HIRT, 2004; KARUPPANAPANDIA et al., 2011). Outros experimentos têm evidenciado que o estresse oxidativo é um denominador comum, fundamental em muitas doenças e estresses ambientais, o qual pode levar à morte celular em todos os organismos aeróbicos, demonstrando que os estresses abióticos e bióticos causam seus efeitos deletérios direta ou indiretamente, via geração das EROs (SCANDALIOS, 2005).

Os vegetais desenvolveram mecanismos que incluem um complexo sistema de defesa antioxidante formado por compostos não enzimáticos e enzimáticos de proteção contra as EROs (MALLICK; MONH, 2000). Esses autores observaram que alguns aminoácidos, como a histidina, podem se ligar a EROs como $O_2^{\cdot -}$ evitando desta forma danos à planta. Dentro da célula, o sistema antioxidante de defesa inclui enzimas como a superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e peroxidase (POX), que são responsáveis pela proteção e

preservação da integridade da célula (VAN BREUSEGEM et al., 2001). As EROs, como os O_2^- , produzidos pela reação do O_2 molecular do Fotossistema I (PSI), são rapidamente convertidos a H_2O_2 pela SOD que está associada ao tilacóide, por meio da reação Melner (ALLEN, 1997). Moléculas de O_2^- e H_2O_2 que escapam da destruição no tilacóide são destruídas pela ascorbato peroxidase (APX) no cloroplasto associada à membrana do tilacóide em um ciclo conhecido como Halliwell-Asada (FADZILLAH et al., 1996). Nesse ciclo, os radicais monodesidroascorbato, produzidos pela APX, são convertidos a ascorbato (AsA) via ferredoxina (Fd) ou pela enzima monodesidroascorbato redutase (MDHA) (FOYER; NOCTOR; 2003). A APX também pode formar neste ciclo o ácido ascórbico ou o ácido desidroascorbato, que pode ser convertido a ascorbato por meio da enzima desidroascorbato redutase (DHAR). A DHAR por sua vez, utiliza a glutatona reduzida (GSH) como doador de elétrons (ALLEN, 1997). Segundo esses autores, a subsequente regeneração da GSH requer a participação de glutatona redutase (GR) e NADPH. Entretanto, é importante ressaltar que no sistema de detoxificação de EROs o H_2O_2 formado na glicolato peroxidase é degradado pela CAT, principalmente nos peroxissomos (AZEVEDO et al., 1998).

Em plantas expostas a condições ambientais adversas foi evidenciada uma alta expressão da SOD como forma de proteção a um possível estresse (GUPTA et al., 1993). De acordo com Menezes-Benavente et al. (2004), diferentes pesquisas têm sido realizadas envolvendo essa enzima na tolerância a esses estresses. Em condições de deficiência hídrica foi observado o aumento da atividade da Cu/Zn-SOD e FeSOD em *Lupinus angustifolius* (YU; RENGEL, 1999) e em alta salinidade aumentou a atividade da Cu/Zn-SOD em *Morus alba* (SUDHAKAR et al., 2001). O estresse pelo frio provocou em pepino a redução da concentração de proteínas e redução da atividade das diferentes isoenzimas da SOD (FENG et al., 2003). Em arroz, o efeito do metal pesado cádmio levou ao aumento da atividade da MnSOD (SHAH et al., 2001). Em milho, foi verificado que o efeito da toxidez do níquel inibiu a atividade da SOD, durante a primeira hora de estresse (BACCOUCH et al., 1998), o contrário foi verificado em *Betula pentula*, em que foi aumentada a capacidade da atividade da SOD tanto nas raízes, como em folhas na presença deste metal (KORICHEVA et al., 1997). Em *Cajanus cajan* foi constatado o aumento da atividade da SOD quando esta planta foi submetida a exposição a Ni, indicando, desta forma, que a SOD é um importante intermediário no processo de detoxificação desse elemento (RAO; SRESTY, 2000).

As peroxidases de plantas são classificadas em três classes: Classe I, em que se encontra o citocromo c e a ascorbato peroxidase, Classe II, inclui a peroxidase dependente de manganês e lignase, que são enzimas extracelulares fúngicas, e a Classe III, que inclui as enzimas genericamente denominadas peroxidases (POX, EC 1.11.17), que são secretadas para o exterior da célula ou transportadas para dentro de vacúolos (GASPAR et al., 1985; SIEGEL, 1993).

Sob condições de estresse, as plantas tendem a aumentar a atividade da POX e, às vezes, é a primeira enzima a ter atividade alterada, independentemente do substrato utilizado ou do estresse aplicado (SIEGEL, 1993). A atividade da POX pode ser tomada como marcador bioquímico de estresse resultante tanto de fatores bióticos como abióticos (LIMA et al., 1999; ROSSI; LIMA, 2001).

As catalases (CAT) são enzimas hemeproteínas tetraméricas (E.C. 1.11.16) encontradas em todos os organismos aeróbios, localizam-se no citoplasma e nas organelas mitocôndrias e peroxissomos, sendo responsáveis pela transformação de 2 H₂O₂ em O₂ e 2 H₂O (VRANOVA et al., 2002).

A rápida eliminação do H₂O₂ é necessária uma vez que as EROs podem inativar diversas enzimas pela oxidação do seu grupo tiol, como por exemplo às enzimas do Ciclo de Calvin (EDWARDS et al., 1994). As plantas, assim como os animais, possuem diferentes isoformas de catalases que são codificadas por três genes: Cat1, Cat2 e Cat3 (SCANDALIOS, 1993). Tais genes são responsáveis pela codificação das isoenzimas Cat1, Cat2 e Cat3 que são expressos diferentemente, dependendo do tecido e de acordo com o estágio de desenvolvimento da planta (BAEK; SKINNER, 2003).

As Cat1 são responsáveis pela transformação do H₂O₂ produzida na fotorrespiração em H₂O e O₂ e estão localizadas no interior de peroxissomos (MENEZES-BENAVENTE et al., 2004). As Cat2 estão envolvidas no processo de lignificação e são encontradas nos tecidos vasculares (SCANDALIOS, 1993), e as Cat3 são as mais abundantes em sementes e em plantas jovens e têm a função de catalisar a degradação de moléculas de H₂O₂ formadas durante a β -oxidação de ácidos graxos e em peroxissomos de folhas verdes durante a fotorrespiração pela transformação do glicolato em glioxilato e estão localizadas no mesófilo das células (VAN BREUSENGEM et al., 2001).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Experimento realizado em casa de vegetação

3.1.1 Localização do experimento e característica do local

O experimento em casa de vegetação foi realizado na Fazenda Capivara, sede da Embrapa Arroz e Feijão em Santo Antônio de Goiás-GO - Latitude 16° 28', Longitude 49° 17', altitude 823 m.

Segundo a classificação de Köppen, o município de Santo Antônio de Goiás-GO apresenta clima Aw, tropical de savana, megatérmico. A temperatura média anual do ar é de 22,5°C, e o mês de junho apresenta a menor média de temperatura mínima do ar (14,0°C), enquanto o mês de setembro apresenta a maior média de temperatura máxima do ar (31,3°C). O regime pluvial é bem definido, ou seja, período chuvoso de outubro a abril e período seco de maio a setembro. A precipitação pluvial média anual é de 1.461 mm, e a umidade relativa do ar, média anual, é de 71%, com o mês de agosto apresentando o menor índice (50%). A perda por evaporação, média anual, medida pelo tanque classe "A", é da ordem de 1938 mm.

O solo predominante é o Latossolo Vermelho distrófico, textura argilosa, fase cerrado subperenifólio, relevo plano. Usou-se um Latossolo Vermelho distrófico, cujas características químicas e granulométricas (EMBRAPA, 1999), encontram-se no Tabela 1.

Tabela 1. Características físicas e químicas do Latossolo Vermelho distrófico utilizado no experimento em vaso. Santo Antônio de Goiás – GO. Ano de 2011.

Areia	Silte	Argila	M.O.	pH	P	K	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Al ³⁺
	(g kg ⁻¹)		(g dm ⁻³)	(H ₂ O)	(mg dm ⁻³)		mmold _c dm ⁻³		
430	80	490	27,0	5,0	0,5	19	3,6	1,7	2,0

3.1.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial 2 x 6, com quatro repetições. Assim, os tratamentos foram constituídos de dois regimes hídricos (sem e com deficiência hídrica) e seis genótipos de arroz de terras altas (BRA 01600, BRS Soberana, Carreon, Guarani, IRRI 2 e IRRI 33).

3.1.3 Caracterização dos genótipos

3.1.3.1 BRA 01600

A linhagem elite BRA 01600 é produtiva quando cultivada em condições adequadas de umidade no solo e resiste bem à deficiência hídrica. Possui estabilidade de produtividade de grãos elevada.

3.1.3.2 BRS Soberana

A BRS Soberana é um genótipo proveniente da Embrapa Arroz e Feijão, resultado do cruzamento Cuiabana/CNAx1235-8-3//CNA 6673. Possui porte médio de 93 cm, ciclo médio de 105 dias, 60 - 75 dias da emergência ao florescimento, grãos tipo longo fino (agulhinha), ciclo precoce, de grãos longo-finos. É susceptível ao acamamento, brusone e à deficiência hídrica, e por isso deve ser preferida em áreas com melhor distribuição de chuvas.

3.1.3.3 Carreon

Genótipo indica das Filipinas CNA0001420, material considerado tolerante à deficiência hídrica.

3.1.3.4 Guarani

Genótipo proveniente da Embrapa Arroz e Feijão, resultado do cruzamento IAC 25/63-83. A planta possui porte alto, aproximadamente 122 cm, ciclo médio de 105 a 115 dias, 60 – 75 dias da emergência ao florescimento, precoce, grãos alongados. Moderadamente resistente à brusone. É considerado tolerante à deficiência hídrica.

3.1.3.5 IRRI 2

É proveniente do International Rice Research Institute, o genótipo B6144F-MR-6-0-O (IRRI 2) foi classificado simultaneamente nos grupos mais produtivos dos tratamentos com irrigação adequada e com deficiência hídrica. Esse material deve ser usado nos programas de melhoramento de arroz, podendo contribuir para o desenvolvimento de linhagens de ampla adaptação e estabilidade de produção (Guimarães et al., 2009).

3.1.3.6 IRRI 33

É proveniente do International Rice Research Institute, IR80312-6-B-3-2-B. Material considerado tolerante à deficiência hídrica em estudos anteriores.

3.1.4 Instalação e condução dos experimentos

Foi coletada terra em quantidade suficiente para preencher os 48 vasos de 49 L, que posteriormente foi seca ao ar e peneirada através de uma tela com malha de 4 mm. As parcelas (vasos) foram constituídas de colunas formadas por cinco anéis, de tubos de PVC, de 20 cm de altura e 25 cm de diâmetro, interligados por fita adesiva, totalizando 100 cm de altura.

As sementes dos genótipos foram semeadas no dia 10/02/11 na densidade de dez sementes viáveis por vaso. Uma semana após a emergência realizou-se desbaste, deixando-se uma planta por vaso.

Nos vasos sem deficiência hídrica manteve-se as condições adequadas de umidade no solo, - 0,025 MPa a 15 cm de profundidade (STONE et al., 1986) durante todo o ciclo da cultura. A reposição diária foi de 100% da água evapotranspirada. Nos vasos com deficiência hídrica as condições adequadas de umidade do solo foram mantidas até 30 dias depois de emergidas as plantas, quando foi aplicada a limitação hídrica, até à colheita, com a reposição diária de aproximadamente 50% da água evapotranspirada. A quantidade de água evapotranspirada foi monitorada por meio de balança e a quantidade de água no solo foi controlada com tensiômetros em alguns vasos que serviram como testemunhas.

Quando as plantas se encontravam no estágio de maturação fisiológica, de acordo com o ciclo de cada genótipo, foi realizada a colheita. As plantas foram seccionadas no colo separando a parte aérea do sistema radicular. A parte aérea foi encaminhada para o laboratório para a determinação dos componentes produtivos.

3.1.5 Obtenção dos dados

3.1.5.1 Sistema Radicular (Laboratório de Agrofisiologia – Embrapa Arroz e Feijão)

As variáveis do sistema radicular foram avaliadas no final do ciclo de cada planta em amostras compostas constituídas de 4 subamostras simples, obtidas mediante coleta, utilizando-se trado tipo calha com 7 cm de diâmetro, nas camadas de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 cm.

A separação das raízes e solo foi feita por meio do método de suspensão/decantação repetitivas. Após a separação, as raízes foram recuperadas do sobrenadante em peneiras com 0,25 mm malha, com o auxílio de pinças, e acondicionadas em geladeira. Posteriormente foram submetidas à avaliação.

3.1.5.1.1 Comprimento e diâmetro radicular

As avaliações foram realizadas em um scanner, desenvolvido para esse fim, acoplado a um microcomputador dotado do programa WinRhizo, que utiliza como princípio o método proposto por Tennant (1975). Nesse equipamento foi determinado o

comprimento e o diâmetro radicular. De posse dos dados e considerando o volume amostrado calculou-se o comprimento total por profundidade e o total do vaso, ou seja, de uma planta.

3.1.5.1.2 Matéria seca radicular

Após as avaliações com o scanner, as amostras foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 70°C, até massa constante, e posteriormente determinada a massa da matéria seca radicular (g pl^{-1}). De posse dos dados e considerando o volume amostrado calculou-se a matéria seca total por profundidade e o total do vaso, ou seja, de uma planta.

3.1.5.2 Componentes vegetativos

3.1.5.2.1 Número de colmos por planta

Determinado após a colheita, para cada unidade experimental, mediante a contagem.

3.1.5.2.2 Porcentagem de colmos férteis

Determinado após a colheita, para cada unidade experimental, mediante a relação: número de panículas por planta pelo número de colmos por planta, multiplicado por cem.

3.1.5.3 Componentes da produção

3.1.5.3.1 Número de panículas por planta

Determinado após a colheita, para cada unidade experimental, mediante a contagem.

3.1.5.3.2 Número total de espiguetas por panícula

Determinado após a colheita, para cada unidade experimental, mediante a contagem após separação das espiguetas das ramificações da panícula.

3.1.5.3.3 Fertilidade das espiguetas

Determinado após a colheita, para cada unidade experimental, mediante a relação: número de espiguetas granadas por panícula pelo número total de espiguetas por panícula, multiplicado por cem.

3.1.5.3.4 Massa de 1000 grãos

Determinada, para cada unidade experimental, mediante a coleta ao acaso e da pesagem de duas amostras de 100 grãos (teor de água de 130 g kg^{-1} em base úmida).

3.1.5.4 Produtividade de grãos

Determinada mediante a pesagem das espiguetas granadas, de cada unidade experimental, após as panículas terem sido trilhadas e submetidas ao processo de limpeza para a separação da palha e das espiguetas chochas. A produtividade foi calculada por planta (teor de água de 130 g kg^{-1} em base úmida).

3.1.5.5 Produtividade de grãos relativa

Determinada, para cada genótipo, mediante a relação: produtividade de grãos do tratamento com deficiência hídrica pela produtividade de grãos do tratamento sem deficiência hídrica, multiplicada por cem, sendo os resultados em percentagem. Considerou a produtividade de grãos de cada genótipo no tratamento sem deficiência hídrica como sendo 100%.

3.2 Experimento de campo

O trabalho de pesquisa foi constituído de um experimento conduzido por dois anos agrícolas, 2009/10 e 2010/11.

3.2.1 Localização e característica do local

O experimento de campo foi instalado na Estação Experimental da Emater em Porangatu (GO), Latitude 13° 27', Longitude 49° 10', altitude 391 m. Segundo a classificação de Köppen, o município de Porangatu apresenta clima Aw, tropical de savana, megatérmico. A temperatura média anual do ar é de 26°C, e o mês de junho apresenta a menor média de temperatura mínima do ar (19,9°C), enquanto o mês de setembro apresenta a maior média de temperatura máxima do ar (35,5°C). O regime pluvial é bem definido, ou seja, período chuvoso de outubro a abril e período seco de maio a setembro. A precipitação pluvial média anual é de 1.684 mm, e a umidade relativa do ar, média anual, é de 66%. O solo predominante é o Latossolo Vermelho distrófico.

As características químicas do solo da área experimental, antes da instalação do experimento nos dois anos, estão contidas na Tabela 2.

Tabela 2. Características químicas do latossolo vermelho distrófico na profundidade de 0-20 cm. Ano de 2010/11.

Ano	pH	Ca	Mg	Al	H + Al	P	K	Cu	Zn	Fe	Mn	M.O.
	H ₂ O											
			mmol _c dm ⁻³					mg dm ⁻³				g dm ⁻³
2010	5,3	13	8	3	42	2,5	71	3	1	45	31	14
2011	5,4	11	5	1	43	2,1	75	2	3	48	33	13

No ano de 2010 e 2011, durante a condução do experimento foram determinados, diariamente, a temperatura mínima e máxima do ar e a precipitação pluvial no Posto Meteorológico da Estação Experimental da Emater em Porangatu-GO, distante, aproximadamente, 1000 m do local. A média dos dois anos de todos os dados dos elementos climáticos estão contidos na Figura 1.

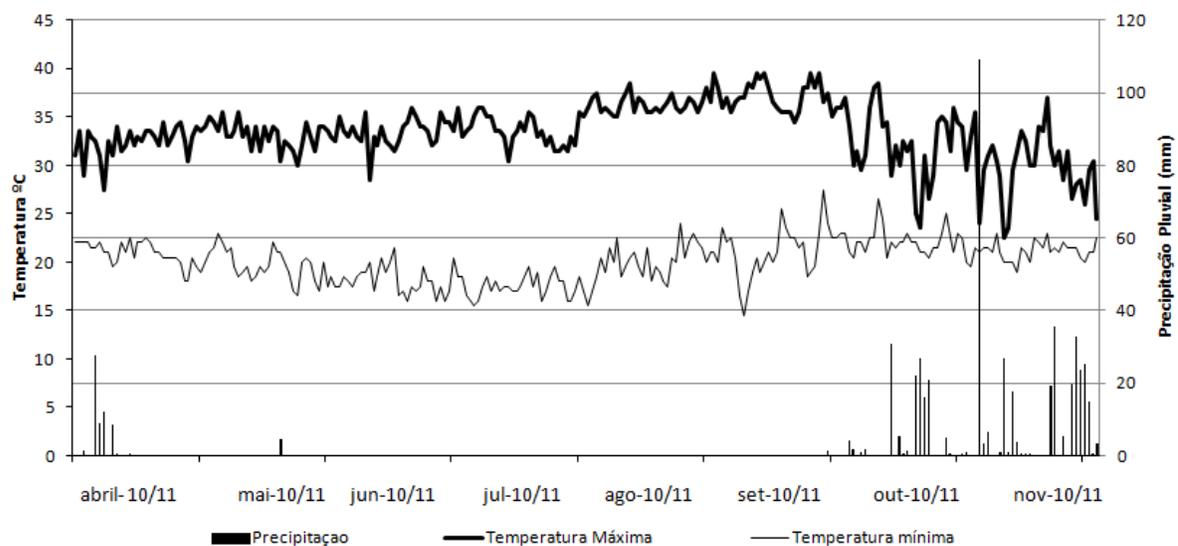


Figura 1. Médias da precipitação pluvial (mm/dia), temperatura máxima e mínima ($^{\circ}\text{C}$), obtidas na área experimental, durante o período de novembro de abril a novembro de 2010 e 2011. Porangatu (GO).

3.2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial 2×6 com quatro repetições. Assim, os tratamentos foram constituídos de dois regimes hídricos (sem e com deficiência hídrica) e seis genótipos de arroz de terras altas (BRA 01600, BRS Soberana, Carreon, Guarani, IRRI 2 e IRRI 33).

Cada unidade experimental continha 12 fileiras de 5 m de comprimento espaçadas de 40 cm. Foram consideradas como área útil as quatro fileiras centrais, eliminando-se as fileiras externas e 50 cm das extremidades das fileiras das plantas colhidas como bordadura.

3.2.3 Características dos genótipos

As características dos genótipos já foram descritas no tópico 3.1.3.

3.2.4 Instalação e condução dos experimentos

O solo foi preparado mediante uma aração e duas gradagens, sendo a primeira logo após a aração e a segunda, às vésperas da semeadura.

Nos dois anos, a adubação constituiu da aplicação nos sulcos de semeadura de 16 kg de N, 120 kg de P_2O_5 e 64 kg de K_2O ha^{-1} e a adubação de cobertura foi de 30 kg ha^{-1} de N.

As semeaduras foram realizadas nos dias 03/05/10 e 17/05/11, utilizando-se a densidade de 100 sementes viáveis por metro quadrado. A semeadura foi efetuada nesta época para não coincidir com o período com maior incidência de altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar, que geralmente ocorre a partir de meados de agosto. Junto com as sementes aplicou-se carbofuran 5G (i.a.), visando principalmente o controle de cupins (*Syntermes molestus*, *Procorniterms striatus* e *Cornitermes lespesii*) e lagarta elasmó (*Elasmopalpus lignosellus*). As emergências das plântulas ocorreram em 10/05/10 e 24/05/11, respectivamente. O controle de plantas daninhas foi realizado com 50 g l^{-1} de oxadiazon (4 L ha^{-1} em pré-emergência).

Nas parcelas sem deficiência hídrica, irrigações de 25 mm foram efetuadas, durante todo o desenvolvimento das plantas, quando o potencial da água no solo, determinado por meio de tensiômetros instalados a 15 cm de profundidade, atingia - 0,025 MPa (ST-ONE et al., 1986).

Nas parcelas com deficiência hídrica, até aos 30 dias após a emergência, utilizou-se o mesmo manejo das parcelas sem deficiência hídrica. Após esse período foi implementada a deficiência hídrica mediante a aplicação de 50% da lâmina de água usada nas parcelas sem deficiência hídrica.

3.5. Obtenção dos dados

3.5.1. Sistema radicular

A amostragem do sistema radicular do arroz foi realizada quando 50% das plantas de cada subparcela encontravam-se no estágio de florescimento. Utilizou-se um trado com diâmetro de 10 cm, tomando-se amostras nas profundidades de 0-20, 20-40, 40-60 e 60-80, com duas repetições na linha e outras três na entrelinha de cada subparcela.

A separação das raízes seguiu o mesmo procedimento utilizado no experimento de casa de vegetação.

3.5.1.2 Comprimento e diâmetro radicular

Seguiu o mesmo procedimento utilizado no experimento de casa de vegetação. No entanto, de posse dos dados e considerando o volume amostrado calculou-se o comprimento total por profundidade e o total em m m^{-2} .

3.5.1.3 Matéria seca radicular

Seguiu o mesmo procedimento utilizado no experimento de casa de vegetação. No entanto, de posse dos dados e considerando o volume amostrado calculou-se a matéria seca por profundidade e o total em g m^{-2} .

3.5.2 Variáveis fisiológicas

A coleta de dados para a taxa fotossintética foi realizada apenas no ano de 2011. As coletas de dados dos demais parâmetros para o estudo dos mecanismos fisiológicos de tolerância à deficiência hídrica foram realizadas nos dois anos, nos dias 21 de julho de 2010 e dia 03 de agosto de 2011, ambos aos 72 DAE. Determinou-se a resistência estomática, o potencial hídrico e a temperatura das folhas.

3.5.2.1 Taxa fotossintética

Foram realizadas leituras durante dois dias (73 e 83 DAE), em duas folhas por parcela em duas repetições. Utilizou-se Câmara de Avaliação de Fotossíntese, ADC Inc., modelo LCpro+(Inglaterra). As medições foram efetuadas entre as 13 e 15 horas do dia. Cada medição levou 2 minutos, tempo mínimo permitido para as leituras estabilizarem antes de serem gravadas. As medidas foram realizadas com a intensidade de luz de $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

3.5.2.2 Resistência estomática

Foi medida nas superfícies superiores das folhas apicais completamente expandidas e com boa exposição solar. Foi usada a metade da face foliar para a determinação da leitura superior e a outra metade para a leitura inferior, adotando-se os cuidados de rotina no manuseio do porômetro Decagon modelo SC-1 (Estados Unidos). O aparelho permite visualizar em tempo real a resistência estomática. A faixa de leitura é de 0 – 1000 $\text{mmol m}^{-2}\text{seg}^{-1}$ e a precisão é de 10%. As leituras foram a média de duas subamostras. As leituras da resistência difusiva foram iniciadas após o desaparecimento do orvalho para não compromete-las.

3.5.2.3 Temperatura das folhas

Foi medida com um termômetro de infravermelho, marca Fluke modelo 66 IR (Estados Unidos), sistema de mira laser para uma mira fácil, com uma precisão de 1% e gama de medição alargada até 600 °C (1100 °F). Assim como nas avaliações anteriores, o valor foi a média de duas leituras individuais nas folhas apicais completamente expandidas. A leitura da temperatura da folha foi efetuada continuamente, do amanhecer ao pôr do sol.

3.5.2.4 Potencial hídrico

Foi determinado com câmara de pressão, Soil Moisture Equipment, modelo 3005 (Estados Unidos). Foram determinadas, assim como a resistência difusiva estomática, nas folhas apicais completamente expandidas. Os horários de determinação foram divididos em três períodos (T1 – 06:30-07:30, T2 – 13:30-14:30 e T3 17:30-18:30)

3.5.3 Variáveis bioquímicas

A coleta de folha para a determinação de enzimas foi realizada no dia 22 de julho de 2011, 15 dias após a aplicação do estresse nas parcelas que recebiam esse tratamento.

As coletas foram de duas folhas totalmente expandidas por unidade experimental, duas amostras de três primeiras parcelas de cada tratamento, totalizando 6 repetições. Imediatamente, as folhas foram envolvidas em papel alumínio e imersas em N líquido e, em seguida, armazenadas em freezer (-80 °C) para posteriores determinações.

3.5.3.1 Extração e atividade enzimática

A extração das enzimas (Laboratório de Estresses Abióticos: CNPMS – Embrapa Milho e Sorgo/ Sete Lagoas) foi feita pela maceração de 200 mg de folha em nitrogênio líquido, adicionando-se 1,5 mL do tampão de extração constituído de: tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 7,0), 1 mM EDTA, 2 mM DTT, 0,8 mM PMSF, 1% de PVPP e 1 mM de ácido ascórbico (ASC). O extrato foi centrifugado a 14000 rpm por 30 minutos a 4 °C e o sobrenadante foi coletado e armazenado a -80 °C no período das análises. Os sobrenadantes coletados foram utilizados nas análises de todas as enzimas. A atividade das enzimas foram expressas em miligramas (mg) de proteínas que foram determinadas pelo método de Bradford (1976) utilizando uma curva padrão de albumina de soro bovina (BSA).

A atividade da dismutase do superóxido (SOD, EC 1.15.1.1) foi avaliada pela capacidade em inibir a fotorredução do azul de nitrotetrazólio (NBT), proposta por Giannopolitis e Ries (1977). A mistura reacional foi constituído de 20 µL de extrato enzimático e 0,980 mL de meio de reação contendo tampão fosfato de potássio 50 mM (pH 7,8), metionina 14 mM, EDTA 0,1 µM, NBT 75 µM, riboflavina 2 µM. A mistura foi iluminada com uma lâmpada de 20 W por 10 minutos. Para o controle foi utilizado a mesma mistura anterior, porém sem a presença do extrato enzimático e mantido no escuro. As leituras foram realizadas a 560 nm e uma unidade de SOD correspondeu à quantidade de enzima capaz de inibir em 50% a fotorredução do NBT nas condições de ensaio.

A atividade da catalase (CAT, EC 1.11.1.6) foi determinada pelo consumo de H₂O₂ a 240 nm por 3 minutos. A mistura reacional foi incubada a 28 °C e foi constituída de 20 µL de extrato enzimático e 0,98 mL do meio reacional contendo tampão fosfato de potássio 50 mM (pH 7,0) e H₂O₂ 12,5 mM. O coeficiente de extinção molar utilizado foi 36 mM⁻¹ cm⁻¹ (HAVIR; MCHALE, 1987).

A atividade da peroxidase do ascorbato (APX, EC 1.11.1.11) foi determinada pelo acompanhamento da oxidação do ascorbato a 290 nm por 3 minutos. A mistura reacional foi incubada a 28 °C e foi constituída de 35 µL de extrato enzimático e 0,965 mL do meio reacional contendo tampão fosfato de potássio 50 mM (pH 7,0), H₂O₂ 1 mM, L-ácido ascórbico 0,8 mM e água destilada. O coeficiente de extinção molar utilizado foi 2,8mM⁻¹ cm⁻¹ (NAKANO; ASADA, 1981).

A atividade da peroxidase do guaiacol (POD, EC 1.11.1.7) foi determinada pela oxidação do guaiacol a 470 nm segundo Lin e Wang (2002) com modificações. A mistura reacional foi constituída de 25 µL de extrato enzimático e 1,015 mL de meio reacional contendo tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 6,0), guaiacol 3,24 mM, H₂O₂ 3,87 mM. O coeficiente de extinção molar utilizado foi 26,6 mM⁻¹ cm⁻¹.

3.5.4. Características fenológicas

3.5.4.1. Florescimento pleno

Número de dias transcorridos entre a emergência da plântula e o florescimento de 50% das panículas das unidades experimentais.

3.5.5 Componentes vegetativos

3.5.5.1. Número de colmos por metro quadrado

Contagem do número de colmos contidos em 2,0 m de fileira de cada unidade experimental e calculado por metro quadrado, às vésperas da colheita.

3.5.5.2. Porcentagem de colmos férteis

Determinado às vésperas da colheita, em cada unidade experimental, por meio da relação: número de panículas por metro quadrado pelo número de colmos por metro quadrado, multiplicado por cem.

3.5.6. Componentes da produção

3.5.6.1. Número de panículas por metro quadrado

Contagem do número de panículas contidas em 2,0 m de fileira de cada unidade experimental e calculado por metro quadrado, às vésperas da colheita.

3.5.6.2. Número total de espiguetas por panícula

Contagem do número de espiguetas de 15 panículas por unidade experimental, coletadas no momento da avaliação do número de panículas por metro quadrado.

3.5.6.3. Fertilidade das espiguetas

Determinada para cada unidade experimental a partir da relação: número de espiguetas granadas por panícula pelo número total de espiguetas por panícula, multiplicada por cem.

3.5.6.4. Massa de 1000 grãos

Determinado através da coleta ao acaso e da pesagem de duas amostras de 1000 grãos de cada unidade experimental (teor de água de 130 g kg⁻¹ em base úmida).

3.5.7. Produtividade de grãos

A colheita do arroz foi efetuada manualmente e individualmente por unidade experimental quando os grãos de 2/3 superiores de 50% das panículas apresentaram-se duros e os do terço inferior, semiduros. A seguir, foi realizada a trilha manual, secagem à sombra e a limpeza do material, separando-se a palha e os grãos chochos com auxílio de uma peneira, através de abanação manual. Em seguida, determinou-se a massa dos grãos colhidos e foi calculada a produtividade de grãos em kg ha⁻¹ (teor de água de 130 g kg⁻¹ em base úmida).

3.5.8. Análise estatística

Com exceção dos dados de produtividade de grãos relativa, todos os demais foram submetidos à análise de variância. Para as variáveis do sistema radicular as médias foram comparadas pelo teste LSD a 10% de probabilidade. Para as demais variáveis as médias foram comparadas pelo teste LSD a 5% de probabilidade. As variáveis fisiológicas e bioquímicas foram analisadas considerando apenas o efeito do fator regime hídrico, uma vez que as avaliações foram realizadas na mesma época cronológica e não no mesmo estágio de desenvolvimento dos genótipos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento em casa de vegetação

4.1.1 Crescimento radicular

Na Tabela 3 estão contidos os valores da probabilidade de F das variáveis do sistema radicular. O diâmetro radicular foi influenciado pelo regime hídrico apenas na camada de 0-20 e 20-40, enquanto as demais variáveis, na maioria das profundidades, foram influenciadas pelos fatores isolados e pela interação. Conforme outros trabalhos já realizados como os de Yoshida e Hasegawa (1982), Pereira et. al. (1994), Crusciol (2001b), Guimarães et al. (2011a) e Kato e Okami (2011), estes resultados confirmam que o desenvolvimento das raízes é influenciado pela disponibilidade de água no solo e genótipos.

Nas Tabelas 4, 5, 6 e 7 estão os valores dos desdobramentos das interações para diâmetro, massa, comprimento e distribuição do comprimento radicular.

Tabela 3. Análise de variância (probabilidade do teste F) para diâmetro (D), matéria seca (M), comprimento (Comp), comprimento total (CompT) e distribuição do comprimento de raízes (%) de genótipos de arroz de terras altas em função de dois regimes hídricos nas profundidades de 0-20 (1), 20-40 (2), 40-60 (3), 60-80 (4) e 80-100 cm (5) de profundidade. Santo Antônio de Goiás (GO), 2011

Variáveis	Probabilidade do teste F			
	Bloco	Regime Hídrico (RH)	Genótipo (G)	RH*G
D1	0,371	0,015	0,465	0,090
D2	0,737	0,009	0,001	0,197
D3	0,106	0,455	0,343	0,810
D4	0,923	0,715	0,320	0,522
D5	0,758	0,226	0,705	0,595
M1	0,699	0,199	<0,001	<0,001
M2	0,627	0,026	<0,001	<0,001
M3	0,451	0,037	<0,001	<0,001
M4	0,925	0,006	<0,001	<0,001
M5	0,982	0,001	<0,001	<0,001
Comp1	0,457	0,008	<0,001	0,002
Comp2	0,501	0,002	<0,001	<0,001
Comp3	0,446	0,167	<0,001	0,004
Comp4	0,683	0,001	<0,001	<0,001
Comp5	0,238	<0,001	<0,001	<0,001
CompT	0,782	0,027	<0,001	<0,001
% 1	0,269	0,008	<0,001	0,001
% 2	0,874	0,580	<0,001	<0,001
% 3	0,271	0,532	<0,001	0,002
% 4	0,608	0,001	<0,001	<0,001
% 5	0,482	<0,001	<0,001	<0,001

A deficiência hídrica reduziu o diâmetro radicular (Tabela 4) apenas dos genótipos Guarani e Carreon, na camada de 0-20 cm, e Carreon, IRRI 2 e IRRI 33, de 20-40 cm. Nas demais camadas não houve efeito dos regimes hídricos. Sem deficiência hídrica, na camada de 0-20 cm, o Guarani desenvolveu raízes mais grossas do que os genótipos BRS Soberana, BRA 01600 e IRRI 33. Entretanto, nessa mesma profundidade, sob deficiência hídrica não houve diferença entre os genótipos. Na profundidade de 20-40 cm, houve diferença entre os genótipos em ambos regimes hídricos. Assim, sem deficiência hídrica, os maiores e menores diâmetros foram constatados, respectivamente, nos genótipos IRRI 33 e

BRS Soberana. Com deficiência hídrica os maiores e menores diâmetros foram constatados, respectivamente, no IRRI 33 e BRA 01600, Carreon e IRRI 2.

Tabela 4. Diâmetro das raízes de genótipos de arroz de terras altas em cinco profundidades em função de dois regimes hídricos. Santo Antônio de Goiás (GO), 2011.

Estresse	Genótipos						Média
	Guarani	BRS Soberana	BRA 01600	Carreon	IRRI 2	IRRI 33	
	<u>Diâmetro (cm)</u>						
	<u>0-20 cm</u>						
Sem	0,304 aA	0,269 aB	0,262 aB	0,282 aAB	0,279 aAB	0,272 aB	0,251
Com	0,243 bA	0,250 aA	0,248 aA	0,239 bA	0,257 aA	0,268 aA	0,278
Média	0,273	0,260	0,255	0,260	0,268	0,270	
	<u>20-40 cm</u>						
Sem	0,258 aBC	0,239 aC	0,252 aBC	0,276 aAB	0,264 aBC	0,296 aA	0,264
Com	0,245 aAB	0,238 aAB	0,232 aB	0,232 bB	0,229 bB	0,262 bA	0,239
Média	0,251	0,238	0,242	0,254	0,246	0,279	
	<u>40-60 cm</u>						
Sem	0,244	0,215	0,223	0,258	0,241	0,241	0,237 a
Com	0,236	0,222	0,238	0,238	0,229	0,244	0,234 a
Média	0,240 AB	0,218 B	0,231 AB	0,248 A	0,235 AB	0,242 AB	
	<u>60-80 cm</u>						
Sem	0,228	0,206	0,216	0,245	0,197	0,219	0,219 a
Com	0,223	0,225	0,223	0,224	0,208	0,171	0,212 a
Média	0,225 AB	0,215 AB	0,220 AB	0,234 A	0,203 AB	0,195 B	
	<u>80-100 cm</u>						
Sem	0,215	0,201	0,220	0,241	0,262	0,235	0,229 a
Com	0,243	0,256	0,241	0,279	0,240	0,196	0,242 a
Média	0,229 A	0,228 A	0,230 A	0,260 A	0,251 A	0,216 A	

Valores seguidos de mesma letra, maiúscula na horizontal e minúscula na vertical, não são diferentes significativamente pelo teste LSD ($p = 0.10$).

A deficiência hídrica, com exceção da camada de 40-60, proporcionou menor produção de massa seca de raízes apenas para o Guarani (Tabela 5). Além do Guarani, nas camadas superiores (0-20 e 20-40 cm) a deficiência hídrica ocasionou menor massa seca na BRS Soberana, e na camada de 20-40 para o Carreon. Verificou-se que a matéria seca foi mais influenciada pela deficiência hídrica na camada mais profunda, uma vez que, com exceção da IRRI 2 e do BRS Soberana, causou diminuição na matéria seca dos demais genótipos.

Constata-se que na camada de 0-20, em condições de deficiência hídrica, a produção de matéria seca de raízes do Guarani e BRS Soberana foi 75% menor do que o Carreon e o IRRI 2, genótipos com maiores valores de massa seca (Tabela 5). A produção de matéria seca, com e sem deficiência hídrica, foi maior para o IRRI 2 e Carreon na camada superior (0-20 cm) e na camada de 20-40 e 40-60 cm com deficiência hídrica foi maior para o IRRI 2. No entanto, na camada de 60-80 juntamente com o IRRI 2, o Gurani, o Guarani foi o que produziu maior quantidade de matérias seca com deficiência hídrica. Na camada mais profunda (80-100 cm) a produção de matéria seca do Guarani foi superior que a dos demais genótipos.

Na profundidade de 60-80 cm os valores da matéria seca radicular do Guarani e do IRRI 2 foram 70% maiores do que do BRA 01600, notadamente o que menos produziu sem deficiência hídrica (Tabela 5). Vale ressaltar que na profundidade de 80-100 cm, a produção de matéria seca radicular do Guarani foi 87% e 91% maior que o IRRI 33, respectivamente, sem e com deficiência hídrica. A deficiência hídrica acarretou decréscimos no acúmulo de massa seca das raízes na maioria dos genótipos, principalmente nas profundidades a partir de 40-60 cm até 80-100 cm (Tabela 5).

Tabela 5. Matéria seca de raízes de genótipos de arroz de terras altas em cinco profundidades em função de dois regimes hídricos. Santo Antônio de Goiás (GO), 2011

Estresse	Genótipos						Média
	Guarani	BRS Soberana	BRA 01600	Carreon	IRRI 2	IRRI 33	
<u>Matéria seca de raízes (g pl⁻¹)</u>							
<u>0-20 cm</u>							
Sem	1,62 aC	2,05 aB	1,47 aC	3,81 aA	4,12 aA	1,61 bC	2,45
Com	1,00 bD	1,24 bD	1,58 aC	3,78 aA	4,08 aA	2,08 aB	2,29
Média	1,31	1,65	1,53	3,80	4,10	1,84	
<u>20-40 cm</u>							
Sem	1,52 aB	1,01 aC	0,95 aC	2,02 aA	1,91 aA	1,42 aB	1,47
Com	1,12 bC	0,76 bD	0,77 aD	1,55 bB	2,11 aA	1,62 aB	1,32
Média	1,32	0,89	0,86	1,78	2,01	1,52	
<u>40-60 cm</u>							
Sem	0,93 aAB	0,54 aC	0,52 aC	1,16 aA	1,16 bA	0,82 aB	0,86
Com	0,77 aBC	0,76 aBC	0,73 aC	0,80 bBC	1,72 aA	1,01 aB	0,97
Média	0,85	0,65	0,62	0,98	1,44	0,92	
<u>60-80 cm</u>							
Sem	0,97 aA	0,47 aC	0,23 aE	0,58 aB	0,40 bD	0,24 bE	0,48
Com	0,54 bA	0,47 aB	0,16 bD	0,35 bC	0,53 aA	0,45 aB	0,42
Média	0,76	0,47	0,20	0,47	0,46	0,34	
<u>80-100 cm</u>							
Sem	0,87 aA	0,37 aB	0,14 aD	0,21 aC	0,16 aD	0,11 aE	0,31
Com	0,67 bA	0,36 aB	0,07 bE	0,11 bD	0,18 aC	0,06 bE	0,24
Média	0,77	0,37	0,10	0,16	0,17	0,08	

Valores seguidos de mesma letra, maiúscula na horizontal e minúscula na vertical, não são diferentes significativamente pelo teste LSD ($p = 0.10$).

Os regimes hídricos promoveram alterações no comprimento radicular, bem como houve diferença entre os genótipos, em todas as profundidades (Tabela 6).

Para o genótipo IRRI 2, sob deficiência hídrica, constatou-se maior crescimento radicular em todas as camadas, em relação ao tratamento sem estresse (Tabela 6). Além disso, nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, sob deficiência hídrica, esse genótipo teve maior comprimento radicular quando comparado aos demais genótipos.

O sistema radicular da BRS Soberana foi influenciado pelos regimes hídricos, porém teve pequeno desenvolvimento, tanto na camada superficial (0-20 cm), como nas demais, quando comparado aos outros genótipos na maioria das situações (Tabela 6). O

Carreon e o IRRI 2 foi caracterizado como tendo sistema radicular vigoroso na camada superficial em ambos os tratamentos hídricos. Entretanto, nas camadas mais profundas, sob deficiência hídrica, o sistema radicular foi reduzido de forma mais intensa, comparativamente ao sem deficiência hídrica, provavelmente devido à sua menor capacidade de ajuste osmótico (FUKAI; COOPER, 1995).

Quanto ao comprimento total (Tabela 6) sob deficiência hídrica houve destaque para o IRRI 2, que teve o maior valor (1011 m), enquanto os genótipos mais contrastantes, BRA 01600 e o BRS Soberana, na mesma condição hídrica tiveram valores de 345 e 412 m, respectivamente. No tratamento sem deficiência hídrica as diferenças entre os genótipos foram menos pronunciadas, dividindo-se em dois grupos. O primeiro grupo, representado por aqueles com maiores valores de comprimento total, foi composto pelo Guarani, Carreon e IRRI 2, que tiveram, respectivamente, 701, 676 e 647 m. O segundo grupo, composto pelos genótipos com menores valores de comprimento total, foi constituído pelo BRS Soberana, BRA 01600 e IRRI 33, com 390, 356 e 394 m, respectivamente.

Tabela 6. Comprimento de raízes de genótipos de arroz de terras altas em cinco profundidades e comprimento total em função de dois regimes hídricos. Santo Antônio de Goiás (GO), 2011

Estresse	Genótipos						Média
	Guarani	BRS Soberana	BRA 01600	Carreon	IRRI 2	IRRI 33	
<u>Comprimento de raízes (m)</u>							
<u>0-20 cm</u>							
Sem	113 aB	105 aB	153 aB	294 bA	338 bA	134 bB	189
Com	109 aE	122 aDE	175 aD	400 aB	481 aA	248 aC	256
Média	111	113	164	347	409	191	
<u>20-40 cm</u>							
Sem	132 aC	73 bF	94 aD	187 aA	152 bB	86 bE	121
Com	113 bC	92 aD	78 bE	151 bB	246 aA	150 aB	138
Média	123	83	86	169	199	118	
<u>40-60 cm</u>							
Sem	125 aA	69 aC	60 aC	80 aCB	107 bAB	123 aA	94
Com	91 aBC	89 aBC	60 aC	92 aBC	181 aA	118 aB	105
Média	108	79	60	86	144	121	
<u>60-80 cm</u>							
Sem	160 aA	72 aC	29 aE	78 aB	38 bD	34 bD	68
Com	99 bA	61 bC	22 bF	45 bE	75 aB	54 aD	59
Média	130	66	25	61	57	44	
<u>80-100 cm</u>							
Sem	168 aA	69 aB	18 aD	35 aC	11 bF	15 aE	53
Com	84 bA	46 bB	9 bD	7 bDE	26 aC	5 bE	29
Média	126	58	13	21	18	10	
<u>Comprimento Total (m)</u>							
Sem	701 aA	390 aB	356 aB	676 aA	647 bA	394 bB	527
Com	498 bD	412 aE	345 aE	697 aB	1011 aA	578 aC	590
Média	599	401	350	686	829	486	

Valores seguidos de mesma letra, maiúscula na horizontal e minúscula na vertical, não são diferentes significativamente pelo teste LSD ($p = 0.10$).

No tratamento com deficiência hídrica, a porcentagem de raízes na camada de 0-20 cm foi em média de 42%, enquanto sem estresse foi de 36%, ou seja, em condições com deficiência hídrica a concentração na camada mais superficial foi maior (Tabela 7). Contudo, verifica-se que nas camadas intermediárias e profundas (20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm), no tratamento sem deficiência hídrica houve maior proporção de raízes em relação ao tratamento sob deficiência hídrica.

Sob deficiência hídrica, na camada de 0-20 cm, observou-se os maiores valores da distribuição do comprimento das raízes para o Carreon. O sistema radicular do BRA 01600, BRS Soberana e o Guarani foram semelhantes nos dois tratamentos hídricos

na camada de 0-20 (Tabela 7). Verificou-se que, com e sem deficiência hídrica, o genótipo com maior proporção de raízes nas profundidades de 60-80 cm e 80-100 cm foi o Guarani. Esse genótipo, na camada de 60-80 cm, teve comprimento radicular médio de 130 m e, na camada de 80-100 cm, de 126 m (Tabela 7).

O desempenho do Guarani refletiu na distribuição do sistema radicular (Tabela7), pois constatou-se que a distribuição de raízes foi maior nas camadas mais profundas com e sem deficiência hídrica em relação às camadas superficiais. Esse comportamento foi totalmente inverso em relação aos outros genótipos, que tiveram maior concentração de raízes nas camadas superficiais.

Em condições de deficiência hídrica, a distribuição do sistema radicular do IRRI 2 (Tabela 7) esteve entre os genótipos com maior proporção de raízes nas primeiras camadas (0-20, 20-40, 40-60 cm), e entre os genótipos com menor proporção de raízes nas camadas mais profundas (60-80 e 80-100 cm). Entretanto, para o Guarani, a maior concentração de raízes nas camadas mais profundas e, portanto, melhor distribuição de raízes (Tabela 6), quando comparado aos outros genótipos, pode torná-la uma variedade de interesse para os programas de melhoramento de arroz de terras altas. A melhor distribuição de raízes no perfil do solo é um fator importante quando se trata de deficiência hídrica, uma vez que as plantas conseguem adquirir água em camadas mais profundas. Estes resultados possivelmente estejam associados com maior capacidade de ajustamento osmótico deste genótipo. Este ajustamento refere-se à capacidade da planta acumular solutos na célula, processo pelo qual o potencial hídrico pode diminuir sem que haja diminuição da turgidez (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Tabela 7. Distribuição do comprimento de raízes de genótipos de arroz de terras altas em cinco profundidades em função de dois regimes hídricos. Santo Antônio de Goiás (GO), 2011

Estresse	Genótipos						Média
	Guarani	BRS Soberana	BRA 01600	Carreon	IRRI 2	IRRI 33	
<u>Distribuição de raízes (%)</u>							
<u>0-20 cm</u>							
Sem	16 aE	27 aD	43 bB	43 bB	52 aA	34 bC	36
Com	22 aE	30 aD	51 aB	57 aA	48 aBC	43 aC	42
Média	19	28	47	50	50	38	
<u>20-40 cm</u>							
Sem	19 bC	19 bC	27 aA	28 aA	24 aB	22 bB	23
Com	23 aB	22 aB	23 bB	22 bB	24 aAB	26 aA	23
Média	21	21	25	25	24	24	
<u>40-60 cm</u>							
Sem	18 aB	17 aB	17 aB	12 aC	16 aBC	31 aA	19
Com	18 aA	22 aA	17 aAB	13 aB	18 aAB	20 bA	18
Média	18	20	17	12	17	26	
<u>60-80 cm</u>							
Sem	23 aA	19 aB	8 aE	12 aC	6 bD	9 aD	13
Com	20 bA	15 bB	6 bD	7 bD	8 aD	10 aC	11
Média	21	17	7	9	7	9	
<u>80-100 cm</u>							
Sem	24 aA	18 aB	5 aC	5 aC	2 aE	4 aD	9
Com	17 bA	11 bB	3 bC	1 bD	2 aC	1 bD	6
Média	20	14	4	3	2	2	

Valores seguidos de mesma letra, maiúscula na horizontal e minúscula na vertical, não são diferentes significativamente pelo teste LSD ($p = 0.10$).

De acordo com Fukai e Cooper (1995), há ampla variação de ajuste osmótico ou pressão de turgor (0,4-1,7 MPa) entre linhagens de arroz com adaptação à deficiência hídrica. O'Toole (1982) sugere que a adaptação do arroz às condições de distribuição irregular de chuvas e com boa reserva de água nas camadas mais profundas do solo dá-se pelo aumento da profundidade do sistema radicular, da densidade radicular, da relação raiz-parte aérea, da condutância das raízes e pelo ajuste osmótico do sistema radicular, que mantém o potencial de pressão das células com a redução do seu potencial de água. Esse mecanismo garante a manutenção do crescimento radicular e a absorção de água. Nguyen et al. (1997) e Fukai et al. (1999) confirmaram a variabilidade fenotípica, em arroz, para sistemas radiculares mais profundos, com maior capacidade de penetrar em camadas compactadas e extrair água mais eficientemente do solo.

Segundo Lilley e Fukai (1994a), o aumento do sistema radicular de genótipos de arroz promoveu a extração de água e melhor estado hídrico. Genótipos com maior comprimento radicular comportaram-se melhor que outras sob condições de deficiência hídrica moderada, porém o mesmo não é observado para as condições de períodos prolongados de deficiência hídrica. A vantagem do sistema radicular bem desenvolvido se dá principalmente para as condições de distribuição irregular de chuvas, com veranicos curtos (LILLEY; FUKAI, 1994b).

4.1.2 Componentes vegetativos, componentes de produção e produtividade de grãos

Com exceção da fertilidade dos colmos e da massa de 1000 grãos, as demais variáveis foram afetadas pela interação regime hídrico e genótipo (Tabela 8).

Tabela 8. Análise de variância (probabilidade do teste F) para número de colmos por planta (NCP), número de panículas por planta (NPP), fertilidade dos colmos (FC), número de espiguetas por panícula (NEP), fertilidade das espiguetas (FE), massa de 1000 grãos (P1000) e produtividade de grãos (PG) em genótipos de arroz de terras altas em função de dois regimes hídricos em casa de vegetação.

Variáveis	Probabilidade do teste F			
	Bloco	Regime Hídrico (RH)	Genótipo (G)	RH*G
NCP	0,169	<0,001	<0,001	<0,001
NPP	0,116	<0,001	<0,001	<0,001
FC	0,994	<0,001	<0,001	0,212
NEP	0,234	<0,001	<0,001	<0,001
FE	0,092	<0,001	<0,001	<0,001
P1000	0,012	0,006	<0,001	0,163
PG	0,694	<0,001	<0,001	<0,001

Com exceção do BRA 01600, a deficiência hídrica reduziu o número de colmos dos demais genótipos (Tabela 9). As diferenças entre os genótipos quanto ao número de colmos foram praticamente as mesmas, tanto com quanto sem deficiência hídrica, em que o IRRI 2 produziu o maior número de colmos. O único genótipo que foi mais intensamente afetado pela deficiência hídrica foi o BRS Soberana, produzindo a menor quantidade de colmos em relação aos demais, sob esse tratamento.

A capacidade de perfilhamento é uma característica intrínseca de cada genótipo. O IRRI 2 é um material do grupo indica que possui alta capacidade de perfilhamento. Fornasieri Filho e Fornasieri (1993) afirmam que dependendo da intensidade, a deficiência hídrica pode reduzir o número de colmos, pois causa dormência nas gemas axilares (AQUINO, 1984; PINHEIRO et al., 1990).

Com exceção do Guarani e IRRI 33, a deficiência hídrica reduziu a fertilidade de colmos dos demais genótipos (Tabela 9). Isso acontece porque esse estresse pode interromper a transformação da gema vegetativa em reprodutiva ou até degenerar o primórdio da panícula, afetando, portanto, a fertilidade de colmos (PINHEIRO et al., 1985).

Apesar do Guarani não ter a fertilidade de colmos afetada pelo regime hídrico, ele foi o genótipo com menores valores dessa variável, tanto com e como sem deficiência hídrica.

Assim como constatado para fertilidade de colmos, com exceção do Guarani, a deficiência hídrica reduziu o número de panículas (Tabela 9) em todos os genótipos. A ocorrência de deficiência hídrica durante o perfilhamento e na diferenciação da gema vegetativa em reprodutiva afeta diretamente o número de panícula por área, pois reduz o número de colmos e a diferenciação da panícula nesses (STONE et al., 1979a, 1979b, 1984a, 1996; AQUINO, 1984; PINHEIRO et al., 1985; FORNASIERI FILHO e FORNASIERI, 1993; OLIVEIRA, 1994; OLIVEIRA, 1995; ARF et al., 2001; CRUSCIOL et al., 2002a, 2002b, 2003g; RODRIGUES et al., 2004).

Verificou-se com e sem deficiência hídrica maior número de panículas para o IRRI 2 em decorrência do maior número de colmos produzidos por esse genótipo. O menor valor de número de panículas por planta foi constatado no Guarani sem deficiência hídrica, reflexo dos baixos valores de número de colmos.

A deficiência hídrica reduziu o número de espiguetas por panícula apenas no Carreon (Tabela 9). No entanto, esse estresse aumentou o número de espiguetas nos genótipos BRS Soberana, BRA 01600 e IRRI 33. A diminuição no número de espiguetas sob condições de deficiência hídrica é devida à redução no número de ramificações de primeira e segunda ordem que se desenvolvem na raquis e dos pontos de diferenciação das espiguetas nessas ramificações (O'TOLLE; CHANG, 1979). Por outro lado, o aumento do número de espiguetas em decorrência da deficiência hídrica, provavelmente, é decorrente da capacidade

de ajuste que cada genótipo possui quanto a partição de fotoassimilado, uma vez que houve redução do número de panículas por planta sob esse tratamento, ou seja, acaba sendo um efeito compensatório de alguns genótipos.

Constatou-se que maiores valores de números de espiguetas total (Tabela 9) sem deficiência hídrica foram do IRRI 2. Sem deficiência hídrica a BRS Soberana teve o menor número de espiguetas total, enquanto com deficiência hídrica o menor valor foi o do Guarani. A ocorrência de deficiência hídrica durante, aproximadamente, os primeiros vinte dias da fase reprodutiva, pode reduzir o número de espiguetas total por panícula (CRUZ, 1974; YOSHIDA, 1977; FAGERIA, 1980; CAMPELO JÚNIOR, 1985; DABNEY, HOFF, 1989; OLIVEIRA, 1995; PRASERTSAK, FUKAI, 1997; CRUSCIOL et al., 2002a, 2003a, 2003c; RODRIGUES et al., 2004). Segundo Yoshida (1981), esse componente é influenciado por fatores genéticos e por condições externas vigentes durante a fase reprodutiva, mais precisamente de 32 a 5 dias que antecedem o florescimento.

A deficiência hídrica aumentou a fertilidade de espiguetas (Tabela 9) do genótipo Carreon, reduziu a do BRS Soberana, IRRI 2 e IRRI 33, e não alterou a do Guarani e BRA 01600. Sem deficiência hídrica, os maiores valores foram constatados no Guarani, BRA 01600, IRRI 33 e BRS Soberana, e o menor no Carreon e IRRI 2. Com deficiência hídrica as maiores fertilidade de espiguetas foram constatadas no Guarani, Carreon, e BRA 01600 e a menor no IRRI 2. Os maiores valores obtidos com o Guarani, com e sem deficiência hídrica, podem estar relacionados com o fato dessa genótipo ser do grupo tradicional. Mauad (2006), trabalhando com duas genótipos, Caiapó e Maravilha, observou que a Caiapó, por ser genótipo do grupo tradicional, com características como maior tolerância à deficiência hídrica, teve maior fertilidade de espiguetas, quando comparada com a Maravilha, que pertence ao grupo moderno.

A fertilidade das espiguetas é reduzida quando a deficiência hídrica ocorre principalmente durante as etapas emborrachamento (microsporogênese) e de florescimento (AQUINO, 1984; STONE et al., 1984a, 1986; PINHEIRO et al., 1985, 1990; FORNASIERI FILHO e FORNASIERI, 1993; OLIVEIRA, 1994, 1995; PRASERTSAK e FUKAI, 1997; RODRIGUES et al., 2004; CRUSCIOL et al., 2006).

A deficiência hídrica aumentou a massa de 1000 grãos (Tabela 9) do genótipo BRS Soberana, que pode ter sido decorrente do ajuste na partição de fotoassimilado,

uma vez que houve redução da fertilidade das espiguetas. Os demais genótipos não foram afetados pelo regime hídrico. No entanto, há relatos de que a deficiência hídrica causa menor transporte de carboidratos para o grão afetando sua massa (CRUZ et al. 1975, STONE et al., 1979a, 1979b, 1984; FAGERIA, 1980, STONE et al. 1984a; AQUINO, 1984; CAMPELO JÚNIOR, 1985; STONE et al., 1986; CARVALHO JÚNIOR, 1987; DABNEY, HOFF, 1989; OLIVEIRA, 1994; PRASERTSAK, FUKAI, 1997; ARF et al., 2001; CRUSCIOL et al. 2001, 2002a, 2002b, 2006, 2012; RODRIGUES et al., 2004), principalmente, quando ocorre nos primeiros quatorze dias após o florescimento.

Analisando os genótipos, com e sem deficiência hídrica (Tabela 9), nota-se diferenças, com maior massa de grãos para o Guarani nos dois regimes hídricos e os menores valores para o IRRI 2 e IRRI 33. Isto está relacionado ao tipo de grão dos genótipos, em que o Guarani possui grãos longos e o IRRI 2 e o IRRI, 33, ambos do grupo indica, apresentam grãos meio-alongados. A massa do grão trata-se de um caráter varietal estável, que depende do tamanho da casca, determinado durante duas semanas que antecedem a antese (YOSHIDA, 1981b) e do desenvolvimento da cariópse após o florescimento (MATSUSHIMA, 1970), portanto dependem das translocações de carboidratos, nos primeiros sete dias, para preencher a casca no sentido do seu comprimento, e nos sete dias posteriores, na largura e espessura (MACHADO, 1994).

Verificou-se que a deficiência hídrica reduziu a produtividade de grãos de todos os genótipos (Tabela 9). A produtividade média do tratamento com deficiência hídrica foi 55% inferior em relação ao tratamento sem deficiência hídrica. Deficiências hídricas simuladas pela supressão da irrigação, em casa de vegetação, no emborrachamento, com duração de quatro e oito dias, provocaram reduções da ordem de 60% e 87%, respectivamente, na produtividade de grãos (STONE et al., 1986).

Sem deficiência hídrica o IRRI 2 foi o genótipo mais produtivo, com 58 g pl⁻¹ (Tabela 9), enquanto BRS Soberana e o Guarani foram os menos produtivos (16 g pl⁻¹). Sob deficiência hídrica o mais produtivo foi o Carreon e o IRRI 33 (21 e 19 g pl⁻¹, respectivamente) e os menos produtivos foram o Guarani, BRS Soberana e o BRA 01600 (12, 11 e 14 g pl⁻¹, respectivamente). Há vários relatos referentes a redução na produtividade de grãos do arroz de terras altas no sistema de sequeiro, mediante um efeito sinérgico, quando esse estresse atua sobre dois ou mais componentes da produção, ou em um efeito isolado,

quando se manifesta sobre um componente da produção (CRUZ et al., 1975; STONE et al., 1979a, 1979b, 1984a, 1986; FAGERIA, 1980; MAMBANI, LAL, 1983; AQUINO, 1984; CAMPELO JÚNIOR, 1985; PINHEIRO et al., 1985; CARVALHO JÚNIOR, 1987; DABNEY, HOFF, 1989; CASTILHO et al., 1992; FORNASIERI FILHO, FORNASIERI, 1993; OLIVEIRA, 1994, 1995; PRASERTSAK, FUKAI, 1997; ARF et al., 2001; CRUSCIOL et al., 2002a, 2002b, 2003a, 2003b, 2003c, 2003d, 2003e, 2003f, 2006; RODRIGUES et al., 2004; SANTOS et al., 2007, 2008).

Analisando a produtividade de grãos relativa (Tabela 9) constata-se que os genótipos menos afetados pela deficiência hídrica foram Guarani, BRS Soberana e BRA 01600, com índice de 75%, 69% e 64%, respectivamente, em relação a produtividade de grãos constatada sem deficiência hídrica. O genótipo mais afetado pela deficiência hídrica, ou seja, com a menor produtividade de grãos relativa, foi o IRRI 2, com índice de 29%.

Tabela 9. Número de colmos por planta (NCP), número de panículas por planta (NPP), fertilidade dos colmos (FC), número de espiguetas por panícula (NEP), fertilidade das espiguetas (FE), massa de 1000 grãos (P1000) e produtividade de grãos (PG) em genótipos de arroz de terras altas em função de dois regimes hídricos.

Estresse	Genótipos						Média
	Guarani	BRS Soberana	BRA 01600	Carreon	IRRI 2	IRRI 33	
	<u>Nº de colmos por planta</u>						
Sem	8 aC	12 aB	6 aC	12 aB	16 aA	12 aB	11
Com	6 bC	4 bD	5 aCD	9 bB	14 bA	9 bB	8
Média	7	8	6	10	15	10	
	<u>Fertilidade de colmos (%)</u>						
Sem	56,6 aB	100 aA	100 aA	100 aA	92,3 aA	87 aA	89,4
Com	61,7 aB	75,4 bAB	75,7 bAB	79,7 bA	71,3 bAB	76 aAB	73,2
Média	58,8	87,7	87,8	89,8	81,8	81,9	
	<u>Número de panículas por planta</u>						
Sem	4 aE	13 aB	7 aD	12 aB	15 aA	11 aC	10
Com	4 aC	4 bC	4 bC	8 bB	10 bA	7 bB	6
Média	4	8	5	9	12	10	
	<u>Número de espiguetas por panícula</u>						
Sem	102 aD	74 bE	144 bC	204 aB	229 aA	200 bB	159
Com	105 aD	147 aC	170 aB	174 bB	235 aA	225 aA	176
Média	103	111	157	189	232	213	
	<u>Fertilidade de espiguetas (%)</u>						
Sem	89,4 aA	81,3 aAB	87,4 aA	75,7 bB	78,7 aB	90,8 aA	69,2
Com	92,5 aA	69,4 bC	84,4 aAB	92,7 aA	34,3 bD	50,3 bC	84,8
Média	91,0	75,4	85,9	82,6	56,5	70,6	
	<u>Peso de 1000 grãos (g)</u>						
Sem	35 aA	22 bBC	23 aB	23 aB	20 aCD	17 aD	24
Com	37 aA	27 aB	26 aBC	23 aCD	20 aDE	19 aE	25
Média	36	25	24	23	20	18	
	<u>Produtividade de grãos (g pl⁻¹)</u>						
Sem	16 aE	16 aE	22 aD	50 aB	58 aA	38 aC	33
Com	12 bC	11 bC	14 bC	21 bA	17 bB	19 bAB	16
Média	14	13	18	35	38	28	
	<u>Produtividade relativa (%)</u>						
Sem	100	100	100	100	100	100	100
Com	75	69	64	42	29	50	48
Média	-	-	-	-	-	-	-

Valores seguidos de mesma letra, maiúscula na horizontal e minúscula na vertical, não são diferentes significativamente pelo teste LSD ($p = 0.05$).

4.2 Experimento em campo

4.2.1 Crescimento radicular

Com exceção do diâmetro, que não foi influenciado pelos fatores bem como pela interação, todas as demais variáveis foram afetadas pela interação entre os fatores (Tabela 10) em todas as profundidades.

Tabela 10. Análise de variância (probabilidade do teste F) para diâmetro (D), matéria seca (M), matéria seca total (MT), comprimento (Comp), comprimento total (CompT) e distribuição do comprimento de raízes (%) de genótipos de arroz de terras altas em função de dois regimes hídricos nas profundidades de 0-20 (1), 20-40 (2), 40-60 (3) e 60-80 cm (4) de profundidade. Porangatu (GO), 2011.

Variáveis	Probabilidade do teste F			
	Blocos	Regime Hídrico (RH)	Genótipo (G)	RH*G
D1	0,490	0,406	0,199	0,940
D2	0,462	0,229	0,354	0,887
D3	0,718	0,481	0,247	0,102
D4	0,772	0,908	0,101	0,101
M1	0,437	0,393	<0,001	<0,001
M2	0,905	0,043	<0,001	<0,001
M3	0,127	0,003	<0,001	<0,001
M4	0,050	<0,001	<0,001	<0,001
MT	0,453	0,015	<0,001	0,001
Comp1	0,660	0,364	<0,001	0,039
Comp2	0,477	0,183	<0,001	<0,001
Comp3	0,062	0,002	<0,001	0,003
Comp4	0,411	0,001	<0,001	<0,001
CompT	0,112	0,007	<0,001	<0,001
%1	0,822	0,104	<0,001	0,009
%2	0,620	0,305	0,001	<0,001
%3	0,302	0,014	0,285	0,051
%4	0,860	0,019	<0,001	<0,001

As médias para diâmetro foram semelhantes entre os genótipos tanto com quanto sem deficiência hídrica (Tabela 11).

Tabela 11. Diâmetro de raízes de genótipos de arroz de terras altas em quatro profundidades em função de dois regimes hídricos. Porangatu (GO), 2011.

Estresse	Genótipos						Média
	Guarani	BRS Soberana	BRA 01600	Carreon	IRRI 2	IRRI 33	
	<u>Diâmetro (cm)</u>						
	<u>0-20 cm</u>						
Sem	0,265	0,267	0,250	0,266	0,295	0,292	0,272 a
Com	0,254	0,263	0,242	0,249	0,266	0,266	0,257 a
Média	0,259 AB	0,265 AB	0,246 B	0,258 AB	0,281 A	0,279 A	
	<u>20-40 cm</u>						
Sem	0,233	0,220	0,246	0,242	0,239	0,261	0,240 a
Com	0,232	0,220	0,285	0,266	0,237	0,253	0,249 a
Média	0,232 AB	0,220 B	0,266 A	0,254 AB	0,238 AB	0,257 AB	
	<u>40-60 cm</u>						
Sem	0,229	0,195	0,203	0,193	0,213	0,265	0,216 a
Com	0,215	0,194	0,253	0,261	0,238	0,227	0,231 a
Média	0,222 AB	0,195 B	0,228 A	0,227 AB	0,222 AB	0,246 A	
	<u>60-80 cm</u>						
Sem	0,198	0,187	0,205	0,190	0,200	0,206	0,198 b
Com	0,200	0,194	0,283	0,209	0,227	0,222	0,222 a
Média	0,199 BC	0,191 C	0,244 A	0,199 BC	0,213 BC	0,214 B	

Valores seguidos de mesma letra, maiúscula na horizontal e minúscula na vertical, não são diferentes significativamente pelo teste LSD ($p = 0.10$).

A matéria seca de raízes (Tabela 12) foi menos influenciada pelo regime hídrico na camada de 0-20 cm. Houve efeito apenas para o genótipo BRA 01600, em que a deficiência hídrica incrementou em 28% essa variável.

O regime hídrico teve maior influência na matéria seca de raízes na camada de 40-60 cm, com incremento desta variável em todos os genótipos sob deficiência hídrica, com exceção ao Guarani.

A deficiência hídrica aumentou a matéria seca de raízes do IRRI 2 e do Carreon nas camadas de 20-40, 40-60 e 60-80 cm, e nas camadas de 0-20, 40-60 e 60-80 cm para o BRA 01600. Estes resultados refletiram nos de matéria seca total e esses três genótipos (BRA 01600, Carreon e IRRI 2) produziram maior quantidade de matéria seca de raízes sob deficiência hídrica, com incremento de 194%, 137% e 149%, respectivamente.

Entre todos os genótipos, considerando todas as profundidades, nos dois regimes hídricos, constatou-se que o BRS Soberana esteve sempre entre os menores valores de matéria seca. Os maiores valores de matéria seca sem deficiência hídrica foram do

IRRI 2, Carreon, IRRI 33 nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60. Sendo que na camada de 40-60 observou que o Guarani também produziu maiores valores de matéria seca. A deficiência hídrica proporcionou maiores valores para o BRA 01600, Carreon e IRRI 2 na camada de 0-20. Na camada de 60-80, o valor foi do BRA 01600 foi o maior entre os genótipos. Verificou-se que sem deficiência hídrica o Carreon, BRA 01600 e o IRRI 2 foram o que mais produziram maior quantidade de matéria seca total.

Quanto ao regime hídrico sem deficiência hídrica a matéria seca total constatou-se que a maior produção, foi do IRRI 2 e do Carreon. Nos dois regimes hídricos constatou-se que os menores valores foram dos genótipos Guarani e BRS Soberana.

Tabela 12. Matéria seca de raízes de genótipos de arroz de terras altas em quatro profundidades e matéria seca total em função de dois regimes hídricos. Porangatu (GO), 2011.

Estresse	Genótipos						Média
	Guarani	BRS Soberana	BRA 01600	Carreon	IRRI 2	IRRI 33	
<u>Matéria seca de raízes (g m⁻²)</u>							
<u>0-20 cm</u>							
Sem	18 aB	24 aB	40 bA	45 aA	48 aA	39 aA	36
Com	22 aD	29 aCD	56 aA	57 aA	45 aAB	34 aBC	40
Média	20	27	48	51	47	36	
<u>20-40 cm</u>							
Sem	13 bCD	10 aD	16 aBC	21 bA	23 bA	20 aAB	18
Com	22 aC	12 aD	15 aD	30 aB	38 aA	20 aC	23
Média	17	11	16	25	30	20	
<u>40-60 cm</u>							
Sem	9 aA	3 bB	4 bB	9 bA	8 bA	8 bA	6
Com	9 aD	6 aD	20 aB	18 aBC	24 aA	15 aC	15
Média	9	4	12	14	16	11	
<u>60-80 cm</u>							
Sem	6 aB	2 aC	6 bB	18 bA	5 bB	6 bB	7
Com	6 aE	3 aF	38 aA	23 aB	19 aC	8 aD	16
Média	6	2	22	20	12	7	
<u>Matéria Seca Total</u>							
Sem	51 aE	40 aDE	67 bCD	94 bA	86 bAB	74 aBC	69
Com	56 aC	50 aC	130 aA	129 aA	128 aA	79 aB	95
Média	54	45	98	112	107	76	

Valores seguidos de mesma letra, maiúscula na horizontal e minúscula na vertical, não são diferentes significativamente pelo teste LSD ($p = 0.10$).

Quanto ao comprimento radicular, a deficiência hídrica acarretou maior crescimento radicular para o Carreon em todas as profundidades, com exceção da camada de 20-40 cm (Tabela 13). Para o IRR1 2 a deficiência hídrica só não propiciou maior crescimento radicular na camada de 0-20 cm. Na camada de 0-20 cm, constatou-se que apenas o Guarani teve o comprimento radicular reduzido pela deficiência hídrica, e os demais genótipos, exceção ao Carreon, não foram influenciados pelo regime hídrico.

O regime hídrico teve maior influência no comprimento radicular dos genótipos na camada 60-80 cm, sendo a única exceção o Guarani. A deficiência hídrica reduziu o comprimento radicular do IRR1 33 em 22%. No entanto, esse estresse aumentou o comprimento radicular nessa camada (60-80 cm) em 38%, 72%, 43% e 47% para a BRS Soberana, BRA 01600, Carreon e IRR12, respectivamente.

O Carreon foi o único genótipo que esteve entre os que tiveram maior comprimento radicular nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm nos dois regimes hídricos. O mesmo comportamento foi observado no IRR1 2 nas camadas de 20-40 e 40-60 cm, e com deficiência hídrica, o IRR1 2 foi o material com maior valor no comprimento radicular na camada de 60-80 cm.

Na camada de 0-20 cm com e sem deficiência hídrica deve ser destacado também os maiores valores de comprimento radicular do BRA 01600. Sem deficiência hídrica também foi observado os maiores valores no comprimento radicular nas camadas de 20-40 e 40-60 para a BRA 01600.

O menor comprimento radicular foi verificado para a BRS Soberana na maioria das avaliações, em todas as camadas (Tabela 13), em ambos regimes hídricos. Essa característica, pode ajudar a explicar as menores produtividades de grãos em genótipos sob condições de deficiência hídrica, quando comparado a outros (CRUSCIOL, 1998).

Sem deficiência hídrica pode-se dividir os genótipos em dois grupos em relação ao comprimento radicular total, os maiores valores foram BRA 01600, Carreon, IRR1 2 e IRR1 33, e os menores valores foram constatados para o Guarani e BRS Soberana. No entanto, a deficiência hídrica acarretou maior variabilidade entre os genótipos. O maior valor no comprimento radicular total foi verificado para o Carreon, e o menor foi o do BRS Soberana.

Tabela 13. Comprimento de raízes de genótipos de arroz de terras altas em quatro profundidades e comprimento total em função de dois regimes hídricos. Porangatu (GO), 2011.

Estresse	Genótipos						Média
	Guarani	BRS Soberana	BRA 01600	Carreon	IRRI 2	IRRI 33	
<u>Comprimento de raízes (m m⁻²)</u>							
<u>0-20 cm</u>							
Sem	1926 aC	1659 aC	4386 aA	4157 bA	3596 aB	3141 aB	3144
Com	1485 bE	2002 aD	4640 aA	4937 aA	3650 aB	2943 aC	3276
Média	1705	1830	4513	4547	3623	3042	
<u>20-40 cm</u>							
Sem	1110 bB	1447 aB	2704 aA	2522 aA	2488 bA	2729 aA	2167
Com	2490 aBC	1368 aD	1483 bD	3008 aAB	3211 aA	2161 aC	2287
Média	1800	1408	2094	2765	2849	2445	
<u>40-60 cm</u>							
Sem	627 aBC	459 aC	1167 aA	1015 bAB	1130 bA	982 aAB	897
Com	923 aC	670 aC	1543 aB	2368 aA	2126 aA	1015 aC	1441
Média	775	565	1355	1691	1628	998	
<u>60-80 cm</u>							
Sem	807 aB	288 bD	330 bD	697 bC	727 bBC	1158 aA	668
Com	757 aD	465 aE	1209 aB	1218 aB	1375 aA	900 bC	987
Média	782	377	769	957	1051	1029	
<u>Comprimento Total (m)</u>							
Sem	4469 bB	3855 aB	8589 aA	8378 bA	7941 bA	8011 aA	6874
Com	5655 aE	4507 aF	8876 aC	11534 aA	10363 aB	7020 bD	7992
Média	5062	4181	8733	9956	9152	7516	

Valores seguidos de mesma letra, maiúscula na horizontal e minúscula na vertical, não são diferentes significativamente pelo teste LSD ($p = 0.10$).

Analisando a distribuição percentual do comprimento radicular (Tabela 14), constata-se que a deficiência hídrica propiciou menor concentração de raízes na camada de 0-20 cm para o Guarani, IRRI 2 e Carreon, sem alterar a dos demais genótipos.

Na camada de 20-40 cm (Tabela 14) o regime hídrico influenciou de modo diferente os genótipos, pois a deficiência hídrica aumentou a porcentagem do comprimento radicular do genótipo Guarani e reduziu dos BRS Soberana e BRA 01600, e não alterou dos demais.

Na camada de 40-60 cm (Tabela 14) o regime hídrico influenciou apenas os genótipos Carreon e IRRI 2, aumentando a concentração de raízes de ambos sob deficiência hídrica.

Constatou-se, na camada de 60-80 cm (Tabela 14), que a deficiência hídrica reduziu a concentração de raízes do IRRI 33 e a aumentou dos demais genótipos.

Em todas as camadas houve grande variabilidade entre os genótipos quanto a distribuição de raízes (Tabela 14). Sem deficiência hídrica, as maiores concentrações de raízes, na camada de 0-20 cm, foram dos genótipos BRA 01600, Carreon e o IRRI 2. Na camada de 20-40 cm a maior concentração de raízes foi constatada para o BRS Soberana e IRRI 33. Nesse regime hídrico não houve diferenças entre os genótipos na camada de 40-60 cm, e na camada de 60-80 cm o Guarani proporcionou maior concentração de raízes em relação aos demais genótipos.

Na ausência de deficiência hídrica (Tabela 14), os menores valores de concentração de raízes, na camada de 0-20, foram constatados nos genótipos Guarani, BRS Soberana e IRRI 33. Na camada de 20-40 cm os menores valores foram os do Guarani, e na camada de 60-80 cm a menor concentração de raízes foi da BRA 01600.

Sob deficiência hídrica (Tabela 14), BRA 01600 teve a maior concentração de raízes nas camadas de 0-20 e 60-80 cm, diferenciando dos demais. Na camada de 20-40 cm o Guarani foi o genótipo que teve maior concentração de raízes, enquanto na camada de 40-60 cm foi o Carreon e o IRRI 2. Nesse manejo hídrico, as menores concentrações, em cada camada do solo, foram do Guarani (0-20 cm), BRA 01600 (20-40 cm), BRS Soberana, IRRI 33, Guarani e BRA 01600 (40-60 cm), e BRS Soberana e Carreon (60-80 cm).

Verificou-se que para o Guarani as maiores concentrações de raízes aconteceram nas profundidades de 20-40 e 60-80 cm. O IRRI 2 ficou entre os genótipos que a deficiência hídrica acarretou uma maior concentração de raízes nas camadas mais profundas (40-60 e 60-80 cm). No entanto, o material com menor concentração de raízes nas camadas mais profundas foi a BRS Soberana.

Assim, verifica-se que na camada mais profunda (60-80 cm), no regime com deficiência hídrica, houve uma maior proporção de raízes em relação sem deficiência hídrica, concordando com os relatos de Glinski e Lipiec (1990) e Morita e Yamazaki (1993).

Tabela 14. Distribuição do comprimento de raízes de genótipos de arroz de terras altas em quatro profundidades em função de dois regimes hídricos. Porangatu (GO), 2011.

Estresse	Genótipos						Média
	Guarani	BRS Soberana	BRA 01600	Carreon	IRRI 2	IRRI 33	
<u>Distribuição de raízes (% do comprimento)</u>							
<u>0-20 cm</u>							
Sem	43 aC	43 aC	51 aA	50 aAB	46 aABC	40 aC	45
Com	27 bD	45 aB	52 aA	43 bB	35 bC	42 aB	41
Média	35	44	52	46	40	41	
<u>20-40 cm</u>							
Sem	25 bC	37 aA	31 aB	30 aBC	31 aB	34 aAB	32
Com	44 aA	30 bB	17 bC	26 aB	31 aB	31 aB	30
Média	34	34	24	28	31	32	
<u>40-60 cm</u>							
Sem	14 aA	12 aA	14 aA	12 bA	14 bA	12 aA	13
Com	16 aAB	15 aB	17 aAB	20 aA	21 aA	15 aB	17
Média	15	14	16	16	17	13	
<u>60-80 cm</u>							
Sem	18 bA	8 bC	4 bD	8 bC	9 bC	14 aB	10
Com	13 aAB	10 aD	14 aA	11 aCD	13 aAB	12 bBC	12
Média	15	9	9	10	11	13	

Valores seguidos de mesma letra, maiúscula na horizontal e minúscula na vertical, não são diferentes significativamente pelo teste LSD ($p = 0.10$).

4.2.2 Variáveis fisiológicas

Para taxa fotossintética houve efeito do regime hídrico (probabilidade de F) aos 73 e 83 DAE (Tabela 15).

Tabela 15. Análise de variância (probabilidade do teste F) para a assimilação de CO₂ em genótipos de arroz de terras altas em função de dois regimes hídricos aos 73 e 83 DAE.

Variáveis	Probabilidade do teste F	
	Blocos	Regime Hídrico
73	0,970	0,005
83	0,384	<0,001

A deficiência hídrica propiciou decréscimo na taxa fotossintética em ambos dias em todos os genótipos (Tabela 16). Enquanto sem deficiência hídrica constatou-se em média $17,5 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$, com deficiência hídrica a média da assimilação de CO₂ dos genótipos foi de $12,0 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Shah e Paulsen (2003) afirmam que o déficit hídrico

pode reduzir a taxa fotossintética foliar, o que, aliados a outros processos fisiológicos e bioquímicos, levam a senescência foliar.

A taxa fotossintética foi fortemente afetada pela deficiência hídrica nos genótipos, alguns em maior intensidade que os outros. Centritto et al. (2009) trabalhando com diferentes genótipos de arroz, verificaram que em geral aqueles que apresentaram maiores taxas fotossintéticas e condutância estomática também foram os mais produtivos, enquanto que aqueles com menores taxas fotossintéticas e condutância estomática foram os menos produtivos. Nesse trabalho conduzido em Porangatu não se avaliou as taxas fotossintéticas entre os genótipos porque as datas de avaliação não eram representativas em relação ao estágio fisiológico. Dessa forma os valores foram altamente influenciados pela fase de desenvolvimento da planta e não pela deficiência hídrica.

Tabela 16. Assimilação de CO₂ em genótipos de arroz de terras altas em função de dois regimes hídricos aos 73 e 83 DAE, 2011.

Estresse	Genótipos						Média
	Guarani	BRS Soberana	BRA 01600	Carreon	IRRI 2	IRRI 33	
<u>Assimilação de CO₂ (μmol CO₂ m⁻² s⁻¹)</u>							
<u>73 DAE</u>							
Sem	21,3 a	17,1 a	17,3 a	14,3 a	16,1 a	13,7 a	16,8
Com	17,3 b	12,6 b	13,8 b	10,5 b	10,0 b	11,1 b	12,6
<u>83 DAE</u>							
Sem	21,9 a	20,5 a	16,2 a	16,6 a	17,1 a	17,1 a	18,2
Com	11,1 b	13,3 b	11,2 b	11,1 b	10,7 b	11,9 b	11,5
Média	16,5	16,9	13,7	13,8	13,9	14,5	

Valores seguidos de mesma letra minúscula na vertical não são diferentes significativamente pelo teste LSD ($p = 0.05$).

A análise de variância (probabilidade do teste F) para temperatura das folhas, resistência estomática e potencial hídrico está na Tabela 17.

Tabela 17. Análise de variância (probabilidade do teste F) para temperatura das folhas (TEMP), resistência difusiva estomática (RE) e potencial hídrico (PH) em três períodos do dia (T1 = 6:30 – 7:00 h, T2 = 14:30 – 15:00 h e T3 = 17:30 – 18:00 h) aos 72 dias após a emergência de genótipos de arroz de terras altas em função de dois regimes hídricos. Porangatu (GO), 2010 e 2011.

Variáveis	Probabilidade do teste F			
	Blocos	Regime Hídrico (RH)	Ano (A)	RH*A
TEMP1	0,007	0,006	0,149	0,274
TEMP2	0,958	0,069	0,131	0,241
TEMP3	0,209	0,022	0,137	0,265
RE1	0,625	0,045	0,136	0,273
RE2	0,155	0,035	0,142	0,276
RE3	0,397	0,079	0,150	0,244
PH1	0,005	0,001	0,143	0,262
PH2	0,152	0,246	0,345	0,428
PH3	0,122	0,026	0,134	0,226

Observou-se que no T1 (6:30 – 7:30) as temperaturas das folhas dos genótipos foram semelhantes nos dois regimes hídricos (Tabela 18), apenas a temperatura do dossel do Guarani foi menor com deficiência hídrica. Esse estresse causou maiores temperaturas das folhas (Tabela 18) de todos os genótipos no T2 (14:30 – 15:00), na média a temperatura foi superior em 12% ou 4°C em relação as folhas das plantas sem deficiência hídrica. No T3 (17:30 – 18:00) constatou-se que somente a temperatura do Carreon foi semelhante nos dois regimes hídricos, as demais de todos os outros genótipos foram superiores com deficiência hídrica.

Guimarães et al. (2006b) afirmaram que os genótipos menos resistentes à deficiência hídrica apresentaram temperatura do dossel, em média, 2 °C mais alta que os mais resistentes, por transpirem menos, quando submetidos à deficiência hídrica. Nunes (2009) e Guimarães et al. (2010 e 2011) observaram correlação negativa entre temperatura do dossel e componentes de produção e produtividade de grãos. Ainda, Guimarães et al. (2010) verificou correlação positiva entre temperatura do dossel e biomassa da parte aérea, assim como com densidade radicular nas camadas mais profundas.

Com relação à resistência estomática (Tabela 18), no T1 apenas o comportamento da BRA 1600 foi semelhante nos dois regimes hídricos, a deficiência hídrica

provocou maiores valores de resistência estomática nos demais genótipos. No T2, o intervalo de tempo de maior incidência solar, o IRR1 2 e o Guarani estavam com a resistência estomática semelhante com e sem deficiência hídrica, enquanto os demais foram influenciados pela deficiência hídrica que proporcionou maiores valores de resistência para os genótipos. Já no T3 houve maior variabilidade, a deficiência hídrica acarretou maior resistência ao Guarani e IRR1 33, menores para o IRR12, Carreon e BRA 01600, e semelhante resistência estomática foi conferida ao BRS Soberana nos dois regimes hídricos. Farooq et al. (2009) afirma que o fechamento estomático é uma das mais proeminentes respostas à seca, levando à diminuição das trocas gasosas, porém maior número de estômatos pode favorecer maior entrada de gases diminuindo a resistência estomática.

Quanto ao potencial hídrico (Tabela 18), no T1, constatou-se que a deficiência hídrica proporcionou menores valores no Guarani, IRR1 2, IRR1 33 e Carreon. No T3 a deficiência hídrica ocasionou menor potencial hídrico em todos os genótipos, no entanto, no T2 o ambiente hídrico não influenciou nenhum material. Apesar da complexa rede de mecanismos associada à resistência à deficiência hídrica, é bastante evidente que aqueles mecanismos associados à capacidade de manutenção de alto potencial de água na planta associam-se diretamente com a alta produtividade de grãos em condições de deficiência hídrica (Fukai et al., 1999). Jongdee et al. (2002) também verificaram variabilidade genética significativa do potencial de água na folha entre linhagens de arroz sob condições de deficiência hídrica durante a floração. As linhagens que mantinham alto potencial de água na folha tiveram maior fertilidade das espiguetas. Esses autores observaram também que a variabilidade do potencial de água na folha manteve-se inalterada durante as fases de desenvolvimento da planta, sugerindo oportunidade de avaliação tanto durante o período vegetativo como reprodutivo da planta.

Guimarães e Stone, 2011 verificaram que os genótipos com melhor adaptação à deficiência hídrica, por apresentarem menor resistência difusiva estomática e maior potencial de água nas folhas, tiveram menor temperatura das folhas ao longo do dia e essa variou linearmente com o potencial de água nas folhas. Nesse trabalho conduzido em Porangatu não se avaliou as taxas fotossintéticas entre os genótipos porque as datas de avaliação não eram representativas em relação ao estágio fisiológico. Dessa forma os valores

foram altamente influenciados pela fase de desenvolvimento da planta e não pela deficiência hídrica.

Tabela 18. Temperatura do dossel, resistência estomática e potencial hídrico aos 72 dias após a emergência de genótipos de arroz de terras altas em função de dois regimes hídricos. Porangatu (GO), 2010 e 2011.

Estresse	Genótipos						Média
	Guarani	BRS Soberana	BRA 01600	Carreon	IRRI 2	IRRI 33	
<u>Temperatura do dossel em °C no período de 6:30 – 7:00 h</u>							
Sem	20 a	18 a	19 a	18 a	18 a	18 a	18
Com	18 b	19 a	19 a	18 a	18 a	19 a	18
<u>14:30 – 15:00 h</u>							
Sem	27 b	29 b	29 b	28 b	28 b	28 b	28
Com	32 a	32 a	33 a	32 a	31 a	31 a	32
<u>17:30 – 18:00 h</u>							
Sem	22 b	23 b	23 b	23 a	22 b	23 b	23
Com	24 a	24 a	25 a	23 a	24 a	24 a	24
<u>Resistência estomática (s cm⁻¹) no período de 6:30 – 7:00 h</u>							
Sem	430 b	678 b	1010 a	730 b	461 b	931 b	707
Com	985 a	1683 a	924 a	1948 a	1074 a	1459 a	1346
<u>14:30 – 15:00 h</u>							
Sem	403 a	285 b	176 b	400 b	365 a	240 b	311
Com	367 a	366 a	477 a	772 a	345 a	523 a	472
<u>17:30 – 18:00 h</u>							
Sem	554 b	398 a	493 a	880 a	754 a	260 b	556
Com	785 a	370 a	269 b	430 b	432 b	535 a	470
<u>Potencial hídrico (MPa) no período de 6:30 – 7:00 h</u>							
Sem	-1,05 a	-1,20 a	-1,51 b	-1,79 a	-1,40 a	-1,78 a	-1,45
Com	-1,25 b	-1,36 a	-1,25 a	-2,27 b	-2,38 b	-1,97 b	-1,74
<u>14:30 – 15:00 h</u>							
Sem	-2,25	-2,13	-2,02	-2,28	-2,34	-2,27	-2,21 a
Com	-2,09	-2,25	-2,20	-2,53	-2,70	-2,34	-2,35 a
<u>17:30 – 18:00 h</u>							
Sem	-0,08 a	-1,16 a	-0,95 a	-1,50 a	-1,90 a	-1,66 a	-1,32
Com	-1,76 b	-1,76 b	-2,20 b	-2,05 b	-2,16 b	-2,09 b	-2,03

Valores seguidos de mesma letra minúscula na vertical não são diferentes significativamente pelo teste LSD ($p = 0.05$).

4.2.3 Variáveis bioquímicas

Com exceção da catalase, as demais enzimas tiveram suas atividades influenciadas (probabilidade de F) pelo regime hídrico (Tabela 19).

Tabela 19. Análise de variância (probabilidade do teste F) para a atividade das enzimas Superóxido Dismutase (SOD), Ascorbato Peroxidase (APX), Catalase (CAT) e Guaiacol (G) em genótipos de arroz de terras altas em função de dois regimes hídricos. Porangatu (GO), 2011.

Variáveis	Probabilidade do teste F	
	Blocos	Regime Hídrico
SOD	0,374	0,001
APX	0,887	0,002
CAT	0,799	0,507
G	0,207	0,026

A produção de H_2O_2 pela atividade da SOD, que é produto tóxico à célula, necessita da atuação da APX e CAT, enzimas que irão detoxificar este composto, e gerar outros produtos que não são tóxicos à célula.

A deficiência hídrica aumentou a atividade da SOD para a BRS Soberana (Tabela 20). A deficiência hídrica proporcionou o aumento das atividades da APX e Guaiacol do IRRI 33 e da BRA 01600, neste caso estas enzimas tem maior afinidade pelo substrato que a CAT, que não foi maior em nenhum dos genótipos sob deficiência hídrica. Ou seja, a APX e a Guaiacol foram mais eficientes na remoção de H_2O_2 .

De acordo com Foyer e Noctor (2005), o metabolismo antioxidante atua com harmonia, ou seja, uma enzima subsequente (APX e CAT) remove o produto formado (H_2O_2) pela ação da anterior (SOD). No entanto, esse comportamento não foi observado na BRS Soberana, que apesar de maior atividade da SOD no sistema sob deficiência hídrica, não se constatou maior atividade das enzimas subsequentes, o que demonstra a ineficiência do seu sistema antioxidante.

A APX está presente em quase todos os compartimentos celulares e é importante nos cloroplastos onde a CAT não atua. Da mesma forma que observado para o IRRI 33 e para a BRA 01600, Madhusudhan et al. (2003) observaram que a APX tem maior eficiência para decompor H_2O_2 . A maior eficiência da APX em relação à CAT está relacionada à sua maior distribuição na célula, por seu maior número de moléculas (WILLEKENS et al.; 1995).

Tabela 20. Atividade das enzimas Superóxido Dismutase (SOD), Ascorbato Peroxidase (APX), Catalase (CAT) e Guaiacol (G) e em genótipos de arroz de terras altas em função de dois regimes hídricos. Porangatu (GO), 2011.

Estresse	Genótipos						Média
	Guarani	BRS Soberana	BRA 01600	Carreon	IRRI 2	IRRI 33	
	<u>Superóxido Dismutase (U mg⁻¹ proteína)</u>						
Sem	0,031 a	0,027 b	0,044 a	0,034 a	0,043 a	0,072 a	0,034
Com	0,037 a	0,048 a	0,035 b	0,024 b	0,030 b	0,033 b	0,042
	<u>Ascorbato Peroxidase (µmol m⁻¹ proteína min⁻¹)</u>						
Sem	1,40 a	1,52 a	1,23 b	0,96 a	1,17 a	1,20 b	1,25
Com	1,52 a	1,62 a	1,44 a	1,08 a	1,30 a	1,44 a	1,40
	<u>Catalase (µmol m⁻¹ proteína min⁻¹)</u>						
Sem	0,16 a	0,16 a	0,15 a	0,10 a	0,13 a	0,15 a	0,14
Com	0,12 b	0,17 a	0,17 a	0,11 a	0,14 a	0,15 a	0,15
	<u>Guaiacol (µmol m⁻¹ proteína min⁻¹)</u>						
Sem	0,66 a	0,61 a	0,62 b	0,50 a	0,45 a	0,45 b	0,55
Com	0,62 a	0,62 a	0,84 a	0,61 a	0,46 a	0,64 a	0,63

Valores seguidos de mesma letra minúscula na vertical não são diferentes significativamente pelo teste LSD ($p = 0.05$).

4.2.4 Características fenológicas, componentes vegetativos, de produção e produtividade

A probabilidade do teste F para as características fenológicas, componentes vegetativos, de produção e a produtividade estão contidas na Tabela 21. A interação entre genótipo e regime hídrico só não foi significativa para a altura de plantas e para a massa de 1000 grãos. Foi conduzida a análise conjunta dos dois anos, 2010 e 2011, pois a interação ano com as outras variáveis não foi significativa. Para o restante das variáveis analisadas tanto a interação quanto os efeitos isolados influenciaram os resultados.

Tabela 21. Análise de variância (probabilidade do teste F) para florescimento (F), altura de plantas (AP), número de colmos por m² (NCM), fertilidade dos colmos (FC), número de panículas por m² (NPM), número de espiguetas por panícula (NEP), fertilidade das espiguetas (FE), massa de 1000 grãos (P1000) e produtividade de grãos (PG) em genótipos de arroz de terras altas em função de dois regimes hídricos. Porangatu (GO), 2010 e 2011.

Variáveis	Probabilidade do teste F							
	Blocos	Regime Hídrico (RH)	Genótipo (G)	Ano (A)	RH*G	RH*A	G*A	RH*G*A
F	0,189	0,001	<0,001	0,321	<0,001	0,302	0,274	0,338
AP	<0,001	<0,001	<0,001	0,296	0,992	0,299	0,261	0,341
NCM	0,289	0,018	<0,001	0,299	<0,001	0,293	0,269	0,337
FC	0,921	0,086	<0,001	0,324	0,014	0,314	0,266	0,332
NPM	0,050	<0,001	<0,001	0,322	<0,001	0,309	0,281	0,334
NEP	0,303	0,010	<0,001	0,294	<0,001	0,321	0,275	0,346
FE	0,262	<0,001	<0,001	0,286	<0,001	0,297	0,264	0,343
P1000	0,001	<0,001	<0,001	0,305	0,660	0,292	0,270	0,329
PG	0,514	<0,001	<0,001	0,315	<0,001	0,311	0,286	0,349

Os resultados de comparação de médias referentes a todas as variáveis estão contidos na Tabela 22.

Constatou-se que o tempo para atingir o estágio de florescimento foi diferentes entre os genótipos (Tabela 22). O período para as plantas atingirem 50% do florescimento (Tabela 22) aumentou com a deficiência hídrica para a BRA 01600, Carreon, IRRI 2 e IRRI 33, sendo de 76, 82, 105 e 88 DAE, sem deficiência hídrica, e de 82, 91, 112 e 91 com deficiência hídrica, respectivamente. O aumento no florescimento da cultura foi em média de 6 dias. Pantuwan et al. (2002) e Guimarães et al. (2006b) também observaram variabilidade significativa da floração entre plantas submetidas à deficiência hídrica. Guimarães et al. (2006b) afirmaram que as linhagens mais susceptíveis à deficiência hídrica apresentaram floração mais tardia comparativamente às linhagens mais resistentes. Nesse experimento o BRS Soberana apesar de ser uma planta precoce, com floração mais cedo, foi susceptível à deficiência hídrica.

A altura da planta foi significativamente maior sem deficiência hídrica, diferindo em média 7 cm do resultado obtido com deficiência hídrica. Ou seja, a deficiência hídrica ocorrida durante o desenvolvimento das plantas de arroz reduziu a altura da planta.

Esses resultados também foram observados em outras pesquisas (CRUZ, 1974; STONE et al., 1984a; AQUINO, 1984; CAMPELO JÚNIOR, 1985; PINHEIRO et al., 1985; CARVALHO JÚNIOR, 1987; OLIVEIRA, 1994; OLIVEIRA, 1995; ARF et al., 2001; CRUSCIOL et al., 2003a, 2003c; 2006; RODRIGUES et al., 2004) que também verificaram redução da altura da planta quando da ocorrência de deficiência hídrica na cultura do arroz. Esse comportamento pode ser explicado pela menor absorção de nutrientes interferindo diretamente na divisão e crescimento celular. As diferenças entre os genótipos nas condições de sem deficiência hídrica é decorrente da característica intrínseca de cada um, porém sob deficiência hídrica essas diferenças não foram mantidas, pois cada um possui diferente tolerância a esse estresse e, portanto, tem o crescimento comprometido com diferentes intensidades, não mantendo as mesmas diferenças constatadas no tratamento sem deficiência hídrica.

O número de colmos foi afetado pelos regimes hídricos. Assim, a deficiência hídrica reduziu o perfilhamento do BRS Soberana, BRA 01600 e do IRRI 2 (Tabela 22). As diferenças entre os genótipos quanto ao número de colmos foram praticamente as mesmas, sem deficiência hídrica o IRRI 2 produziu o maior número de colmos. Com deficiência hídrica os maiores produtores de colmos foram Carreon, IRRI 2 e IRRI 33.

A capacidade de perfilhamento é uma característica intrínseca de cada genótipo. O IRRI 2 é um material do grupo indica que possui alta capacidade de perfilhamento. Fornasieri Filho e Fornasieri (1993) afirmam que dependendo da intensidade, a deficiência hídrica pode reduzir o número de colmos, pois causa dormência nas gemas axilares (AQUINO, 1984; PINHEIRO et al., 1990).

Com exceção da BRS Soberana, a deficiência hídrica não reduziu a fertilidade de colmos dos demais genótipos (Tabela 22). A BRS Soberana esteve entre os genótipos com menor fertilidade de colmo com deficiência hídrica. Apesar do Guarani não ter a fertilidade de colmos afetada pelo regime hídrico, foi um dos genótipos com menores valores dessa variável, tanto com e como sem deficiência hídrica.

A deficiência hídrica reduziu o número de panículas (Tabela 22) para BRS Soberana, BRA 01600 e IRRI 2. Quando ocorre a deficiência hídrica na época do perfilhamento e na diferenciação da gema vegetativa em reprodutiva, o número de panícula por área é afetado diretamente, pois reduz o número de colmos e a diferenciação da panícula nesses (STONE et al., 1979a, 1979b, 1984a, 1996; AQUINO, 1984; PINHEIRO et al., 1985;

FORNASIERI FILHO e FORNASIERI, 1993; OLIVEIRA, 1994; OLIVEIRA, 1995; ARF et al., 2001; CRUSCIOL et al., 2002a, 2002b, 2003g; RODRIGUES et al., 2004).

Verificou-se com e sem deficiência hídrica maior número de panículas para o IRRI 2 em decorrência do maior número de colmos produzidos por esse genótipo. O menor valor de número de panículas por planta foi constatado no Guarani e na BRS Soberana tanto com e sem deficiência hídrica, reflexo dos baixos valores de número de colmos.

O número de espiguetas total foi afetado pelo regime hídrico. A deficiência hídrica acarretou menor quantidade de espiguetas para o Carreon e Guarani. O menor número de espiguetas por panícula sob deficiência hídrica foi relatado em outras pesquisas (CRUZ, 1974; YOSHIDA, 1977; FAGERIA, 1980; CAMPELO JÚNIOR, 1985; DABNEY, HOFF, 1989; OLIVEIRA, 1995; PRASERTSAK, FUKAI, 1997; CRUSCIOL et al., 2002a, 2003a, 2003c; RODRIGUES et al., 2004).

Quanto aos genótipos, nos dois regimes hídricos maior número de espiguetas total foi verificado o IRRI 2 e o BRA 01600 (Tabela 22). O menor número de espiguetas sem deficiência hídrica foi observado no Guarani e na BRS Soberana. Com deficiência hídrica o menor número de espiguetas foi do Guarani e do Carreon. O número total de espiguetas é influenciado por fatores genéticos e por condições externas vigentes durante a fase reprodutiva até 5 dias que antecedem o florescimento (YOSHIDA, 1981).

A deficiência hídrica proporcionou redução na fertilidade de espiguetas para o Guarani, BRS Soberana, BRA 01600 e Carreon (Tabela 22). A menor fertilidade das espiguetas sem deficiência hídrica foi a do IRRI 2 e com deficiência hídrica foi verificado também para o IRRI 2, BRA 01600, IRRI 33 e Carreon. Constatou-se que a maior fertilidade de espiguetas nos dois regimes hídricos foi a do Guarani.

Os resultados obtidos para massa de 1000 grãos foram diferentes entre os tratamentos hídricos (Tabela 22). Os grãos oriundos do cultivo sem deficiência hídrica apresentaram maior massa, diferindo significativamente do regime com deficiência hídrica. Resultados semelhantes foram obtidos por vários autores (CRUZ et al. 1975, STONE et al., 1979a, 1979b, 1984; FAGERIA, 1980, STONE et al. 1984a; AQUINO, 1984; CAMPELO JÚNIOR, 1985; STONE et al., 1986; CARVALHO JÚNIOR, 1987; DABNEY, HOFF, 1989; OLIVEIRA, 1994; PRASERTSAK, FUKAI, 1997; ARF et al., 2001; CRUSCIOL et al. 2001, 2002a, 2002b, 2006, 2012; RODRIGUES et al., 2004). O material com maior massa de 1000

grãos com e sem deficiência hídrica foi o Guarani, assim como os menores valores foram do IRR1 2 e IRR1 33, tanto no regime com deficiência como no sem deficiência hídrica.

Em todos os genótipos a produtividade de grãos foi significativamente reduzida com a deficiência hídrica (Tabela 23), em decorrência de ter afetado um ou mais componentes da produção, ou seja, mediante efeito isolado ou por meio de efeito sinérgico, quando atuou em pelo menos dois componentes (CRUZ et al., 1975; STONE et al., 1979a, 1979b, 1984a, 1986; FAGERIA, 1980; MAMBANI, LAL, 1983; AQUINO, 1984; CAMPELO JÚNIOR, 1985; PINHEIRO et al., 1985; CARVALHO JÚNIOR, 1987; DABNEY, HOFF, 1989; CASTILHO et al., 1992; FORNASIERI FILHO, FORNASIERI, 1993; OLIVEIRA, 1994, 1995; PRASERTSAK, FUKAI, 1997; ARF et al., 2001; CRUSCIOL et al., 2002a, 2002b, 2003a, 2003b, 2003c, 2003d, 2003e, 2003f, 2006; RODRIGUES et al., 2004; SANTOS et al., 2007, 2008).

A diferença entre os dois regimes hídricos foi de 1201 kg ha^{-1} , ou seja, houve um decréscimo na produtividade de grãos, proporcionado pela deficiência hídrica, da ordem de 45,1 % (Tabela 23).

Verificou-se que houve diferença entre os genótipos, sendo que o BRA 01600 foi o mais produtivo sem deficiência hídrica, e com deficiência hídrica os genótipos mais produtivos foram o Guarani, IRR1 2 e BRA 01600. A BRS Soberana, o Carreon e o IRR1 33 foram os genótipos menos produtivos nos dois regimes hídricos.

Os maiores valores de produtividade de grãos relativa (Tabela 23) sob deficiência hídrica foram constatados para o Guarani e para o IRR1 2, 74 e 63%, respectivamente. Isto indica que estes genótipos, sob deficiência hídrica possuem maior estabilidade produtiva. Esses genótipos provavelmente tem características e acionam os mecanismos de tolerância à deficiência hídrica com maior eficiência que os demais. Constatou-se valores mais baixos de produtividade relativa para o BRA 01600 e Carreon. No entanto, o BRA 01600 teve os maiores valores de produtividade de grãos nos dois ambientes, desta forma, apesar de não ter elevada estabilidade produtiva, sendo mais sensível a deficiência hídrica, é um genótipo com alto potencial produtivo.

Apesar de sob deficiência hídrica ter sido constatado que os genótipos BRS Soberana e o IRR1 33 produziram 52 e 51%, respectivamente da produtividade do

tratamento sem deficiência hídrica, esses genótipos foram os menos produtivos nos dois regimes hídricos.

Os genótipos com a maior produtividade relativa possuem maior potencial para a expressão de caracteres morfológicos que contribuam para a tolerância à deficiência hídrica, possíveis de serem utilizados em programas de melhoramento genético com este objetivo. No entanto, genótipos como o BRA 01600, com produtividade elevada tanto com deficiência como sem deficiência hídrica podem ser utilizados nos programas de melhoramento para o ecossistema de terras altas.

Tabela 22. Florescimento, altura de plantas, número de colmos por m², fertilidade dos colmos, número de panículas por m², número de espiguetas por panícula, fertilidade das espiguetas e peso de 1000 grãos em genótipos de arroz de terras altas em função de dois regimes hídricos. Porangatu (GO), 2010 e 2011.

Estresse	Genótipos						Média
	Guarani	BRS Soberana	BRA 01600	Carreon	IRRI 2	IRRI 33	
	<u>Florescimento (dias após emergência)</u>						
Sem	60 aF	64 aE	76 bD	82 bC	105 bA	88 bB	79
Com	62 aD	64 aD	82 aC	91 aB	112 aA	91 aB	84
Média	61	64	79	86	108	89	
	<u>Altura de plantas (cm)</u>						
Sem	89 aA	91 aA	89 aA	93 aA	81 aB	79 aB	87
Com	81 bB	84 bAB	83 bAB	86 bA	75 bC	73 bC	80
Média	85	88	86	90	78	76	
	<u>Nº colmos m⁻²</u>						
Sem	144 aC	239 aB	236 aB	163 aC	286 aA	232 aB	217
Com	169 aB	165 bB	117 bB	186 aAB	214 bA	201 aAB	185
Média	157	202	207	174	250	217	
	<u>Fertilidade dos colmos (%)</u>						
Sem	85 aD	92 aBC	98 aA	91 aBC	95 aAB	89 aCD	92
Com	81 aC	80 bC	94 aA	88 aB	93 aA	89 aB	88
Média	83	86	97	90	94	89	
	<u>Nº panículas m⁻²</u>						
Sem	122 aC	222 aC	233 aB	149 aB	272 aA	207 aB	201
Com	137 aCD	132 bD	167 bB	164 aBC	199 bA	180 aAB	165
Média	130	177	200	156	235	194	
	<u>Nº espiguetas por panícula</u>						
Sem	81 aC	83 aC	114 aAB	104 aB	121 aA	98 aB	101
Com	66 bC	92 aB	118 aA	70 bC	124 aA	105 aB	95
Média	74	87	116	87	123	102	
	<u>Fertilidade das espiguetas (%)</u>						
Sem	82 aA	56 aC	62 aB	62 aB	42 aD	58 aBC	60
Com	73 bA	49 bB	42 bC	42 bC	39 aC	40 aC	48
Média	78	53	52	52	41	49	
	<u>Massa de 1000 grãos (g)</u>						
Sem	34,4 aA	23,5 aC	24,2 aC	25,7 aB	21,7 aD	20,5 aD	25,0
Com	30,3 bA	20,7 bC	21,3 bBC	22,6 bB	19,1 bD	18,1 bD	22,0
Média	32,3	22,1	22,7	24,2	20,4	19,3	

Valores seguidos de mesma letra, maiúscula na horizontal e minúscula na vertical, não são diferentes significativamente pelo teste LSD ($p = 0.05$).

Tabela 23. Produtividade de grãos em genótipos de arroz de terras altas em função de dois regimes hídricos. Porangatu (GO), 2010 e 2011.

Estresse	Genótipos						Média
	Guarani	BRS Soberana	BRA 01600	Carreon	IRRI 2	IRRI 33	
			<u>Produtividade de grãos (kg ha⁻¹)</u>				
Sem	2591 aBC	2234 aD	3694 aA	2283 aD	2811 aB	2394 aCD	2668
Com	1914 bA	1163 bB	1693 bA	1049 bB	1764 bA	1217 bB	1467
Média	2252	1698	2694	1666	2287	1806	
			<u>Produtividade relativa (%)</u>				
Sem	100	100	100	100	100	100	
Com	74	52	46	46	63	51	
Média	-	-	-	-	-	-	-

Valores seguidos de mesma letra, maiúscula na horizontal e minúscula na vertical, não são diferentes significativamente pelo teste LSD ($p = 0.05$).

5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos e pelas condições em que o estudo foi realizado, pode se chegar às seguintes conclusões:

1.A avaliação do sistema radicular em condições de casa vegetação e em campo se constitui em uma ferramenta importante de fenotipagem para a tolerância à deficiência hídrica. Genótipos com melhor distribuição do sistema radicular no perfil do solo possuem maior estabilidade produtiva, notadamente o Guarani.

2.Estudos em condições controladas não representam resultados de produtividade em ambiente de campo.

3.O genótipo Guarani foi o único que repetiu os resultados de vaso em condições de campo. Sendo o com maior estabilidade.

4.Alguns genótipos aumentam a produção de raiz no perfil do solo como estratégia de atenuar o efeito da deficiência hídrica.

5.Normalmente sob deficiência hídrica é observado menor potencial hídrico das folhas, aumentando a resistência estomática, que acarreta maiores temperaturas nas folhas e diminui a assimilação de CO₂.

6.A deficiência hídrica ocasionou maior atividade da SOD para a BRS Soberana, mas o sistema antioxidante não foi eficiente, por não ativar as enzimas de ação subsequente.

6. REFERÊNCIAS

ALLEN, R.D.; WEBB, R.P.; SCHAKE, S.A. Use of transgenic plants to study antioxidant defenses. **Free Radical Biology and Medicine**. Oxford, v.23, n.3, p.473-479, 1997.

ALSCHER, R.G.; ERTURK, N.; HEATH, L.S. Role of superoxide dismutase (SODs) in controlling oxidative stress in plants. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 53, n. 372, p. 1331-1341, 2002.

APEL, K.; HIRT, H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual Review of Plant Biology*, Palo Alto, v.55, p.373-399, 2004.

AQUINO, A.R.L. **Níveis de modos de aplicação de uréia 15N no arroz (*Oryza sativa* L.) submetidos a veranicos**. Piracicaba, 1984. 134p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

ARF, O.; RODRIGUES, R.A.F.; SÁ, M. E. de; CRUSCIOL, C.A.C. Resposta de genótipos de arroz de sequeiro ao preparo do solo e à irrigação por aspersão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n. 6, p. 871-879, jun, 2001.

ASCH, F. et al. Drought-induced changes in rooting patterns and assimilate partitioning between root and shoot in upland rice. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 93, n. 2-3, p. 223-236, 2005.

AZEVEDO, R.A.; ALAS, R.M.; SMITH, R.J.; LEA, P.J. Response of antioxidant enzymes to transfer from elevated carbon dioxide to air and ozone fumigation, in the leaves and roots of wild-type and catalase-deficient mutant of barley. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.104, n.2, p.280-292. Oct. 1998.

BACCOUCH, S.; CHAOUI, A.; EL FERJANI, E. Nickel toxicity: effects on growth and metabolism of maize. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 21, n. 3, p. 577-588, 1998.

BAEK K.H., SKINNER D.Z. 2003. Alteration of antioxidant enzyme gene expression during cold acclimation of near isogenic wheat lines. *Plant Science*, Limerick, v. 165, p. 1221–1227, 2003.

BIDINGER, F.R.; MAHALAKSHMI, V.; TALUKDAR, B.S.; ALAGARSWAMY, G. Improvement of drought resistance in pearl millet. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. **Drought Resistance in crops with emphasis on rice**. Los Banos (Philippines): IRRI, 1982. p.357-375.

BLUM, A.; Drought resistance – is it really a complex trait? **Functional Plant Biology**, Australia, v. 38, n. 10. p. 753-757, 2011.

BOYER, J.S. Plant productivity and environment. **Science**, Washington, v.218, p.443–448, 1982.

BRADFORD M. Rapid and quantitative method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, San Diego, v. 72, p. 284-252, 1976.

BRADY, R.A.; STONE, L. F.; GOLTZ, S.M. Relation of soybean leaf water potential to soil water potential. **Agronomy Journal**, Madison, v. 66, p. 795-798, 1974.

BRESEGHELLO, F.; STONE, L. F. **Tecnologia para o arroz de terras altas**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1998. 161 p.

CAMPELO JÚNIOR, J.O. **Avaliação da capacidade de extração de água do solo pelo arroz de sequeiro (*Oryza sativa* L.) sob diferentes doses de nitrogênio**. Piracicaba, 1985. 127p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

CARRILO, N.; VALLE, E.M. El lado oscuro del oxígeno. **Revista de la Sociedad Argentina de Fisiología Vegetal**. Cordoba, v.2, n.2. Mar. 2005.

CARVALHO JÚNIOR, A.G. **Efeito da adubação potássica em genótipos de arroz (*Oryza sativa* L.) de sequeiro sob déficit hídrico, em solos sob cerrados**. Lavras, 1987. 165p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura de Lavras.

CASTILHO, E.G., BURESH, R.J., INGRAM, K.T. Lowland rice yield as affected by timing of water deficit and nitrogen fertilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, p.152-159, 1992.

CENTRITTO, M.; LAUTERI, M.; MONTEVERDI, M.C.; SERRAJ, R. Leaf gas exchange, carbon isotope discrimination, and grain yield in contrasting rice genotypes subject to water deficits during the reproductive stage. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 60, n. 8, p. 2325-2339, 2009.

CGIAR Science Council. **IRRI's upland rice research follow-up review to the 6th IRRI EPMR**. Rome, Italy: Science Council Secretariat, 2006.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2011/2012**. Acompanhamento de safra brasileira: grãos, sétimo levantamento, abril 2012 - Brasília : Conab, 2012.

CRUSCIOL, C.A.C. **Espaçamento e densidade de semeadura do arroz, cv. IAC 201, sob condições de sequeiro e irrigado por aspersão**. Botucatu, 1995. 104p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

CRUSCIOL, C.A.C. **Efeitos de lâminas de água e da adubação mineral em dois genótipos de arroz-de-sequeiro sob irrigação por aspersão**. Botucatu, 1998, 129p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

CRUSCIOL, C.A.C. **Crescimento radicular, nutrição e produção de genótipos de arroz de terras altas em função de disponibilidade hídrica e de fósforo**. 2001. 111 f. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

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**, Pelotas, v. 23, p. 287-293, 2001.

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; ARF, O.; ANDREOTTI, M. Exportação de nutrientes e qualidade de grãos do arroz de terras altas em função da disponibilidade hídrica e do espaçamento entre fileiras. **Agronomia**, Itaguai, v. 36, nº 1/2, p. 17-22, 2002a.

CRUSCIOL, C.A.C.; ARF, O.; ZUCARELI, C.; SILVA, R.H. da; CAVARIANI, C.; NAKAGAWA, J. Produtividade e qualidade fisiológica de sementes de duas genótipos de arroz de terras altas em dois sistemas de cultivos. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.24, n. 5, p. 1569 – 1574, 2002b.

CRUSCIOL, C.A.C.; ARF, O.; SORATTO, R.P.; RODRIGUES, R.A.F.; MACHADO, J.R. Manejo de irrigação por aspersão com base no Kc e adubação mineral na cultura de arroz de terras altas. **Bragantia**, v.62, p.465-75, 2003a.

CRUSCIOL, C. A. C.; ARF, O.; SORATTO, R. P.; RODRIGUES, R. A. F.; MACHADO, J. R. Produtividade do arroz de terras altas em função de lâminas de água e da adubação mineral. **Científica**, Jaboticabal, v. 31, n. 1, p. 189-200, 2003b.

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 das lâminas de água no sistema irrigado por aspersão. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 1 p. 125 – 130, 2003c.

CRUSCIOL, C.A.C.; ARF, O.; SORATTO, R.P.; MACHADO, R. M. Qualidade industrial e teores de nutrientes dos grãos de arroz de terras altas sob diferentes lâminas de água e níveis de adubação mineral. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 2 p. 409 – 415, 2003d.

CRUSCIOL, C.A.C.; ARF, O.; SORATTO, R.P.; MACHADO, J. R. Influência de lâminas de água e adubação mineral na nutrição e produtividade de terras altas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, p. 647 – 654, 2003e.

CRUSCIOL, C.A.C.; ARF, O.; SORATTO, R.P.; MACHADO, J. R. Extração de macronutrientes pelo arroz de terras altas sob diferentes níveis de irrigação por aspersão de adubação. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 9, n. 2, p. 145 – 150, abr –jun, 2003f.

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; ARF, O.; ANDREOTTI, M. Produtividade do arroz de terras altas sob condições de sequeiro e irrigado por aspersão em função do espaçamento entre fileiras. **Agronomia**, Itaguai, v.37, n.º.1, p. 10-15, 2003g.

CRUSCIOL, C. A. C.; ARF, O.; SORATTO, R. P. Absorção e exportação de micronutrientes pelo arroz de terras altas em função de lâminas de água aplicadas por aspersão. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 78, n.3, p. 380-393, 2003h.

CRUSCIOL, C.A.C.; SORATTO, R.P.; ARF, O.; MATEUS, G. P. Yield of upland rice genótipos in rainfed and sprinkler-irrigated systems in the Cerrado region of Brazil. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, East Melbourne, v.46, p.1515-1520, 2006.

CRUSCIOL, C.A.C.; ARF, O.; SORATTO, R. P.; MATEUS, G.P. Grain of upland rice genótipos in response to cropping systems in the Brazilian tropical savanna. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, n.5, p. 468-473, 2008.

CRUSCIOL, C.A.C.; TOLEDO, M.Z.; ARF, O.; CAVARIANI, C. Water supplied by sprinkler irrigation system for upland rice seed production. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 34-42, 2012.

CRUZ, J.C. **Efeito de diferentes tensões de umidade no solo, em duas fases de desenvolvimento da planta, com relação ao crescimento e produção do arroz**. Viçosa, 1974. 32p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

CRUZ, J.C., BRANDÃO, S.S., GIÚDICE, R.M., FERREIRA, P.A., LOUREIRO, B.T. Efeito de diferentes tensões de umidade no solo, em duas fases de desenvolvimento da planta, com relação ao crescimento do arroz (*Oryza sativa* L.). **Experientiae**, Viçosa, v.19, n.9, 1975.

DABNEY, S.M., HOFF, B.J. Influence of water management on growth and yield of no-till planted rice. *Crop Science*, Madison, v.29, p.746-52, 1989.

EDWARDS, E.A.; ENARD, C.; CREISSEN, G.P.; MULLINEAUX, P.M. Synthesis and properties of glutathione reductase in stressed peas. **Planta**, Berlin, v.192, p.137-143. 1994.

EKANAYAKE, J. J.; DE DATTA, S. K.; STEPONKUS, P. I. Spikelet sterility and flowering response on rice water stress at anthesis. **Annals of Botany**, London, v. 63, n. 2, p. 257–264, Feb. 1989.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Proteínas de choque térmico e tolerância a altas temperaturas em plantas**. Embrapa Agrobiologia, Seropédica, 27p., 1998.

FADZILLAH, N.M.; GILL, V.; FINCH, B.P., BURDON, R.H. Chilling, oxidative stress and antioxidant responses in shoot cultures of rice. **Planta**, Berlin, v. 199, p. 552–556, 1996.

FAGERIA, N.K. Deficiência hídrica em arroz de cerrado e resposta ao fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.15, p.259-65, 1980.

FAO, Food Outlook, **Global Market Analysis**, Maio, 2012. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/015/al989e/al989e00.pdf>>. Acesso em: 22 maio 2012.

FAROOQ, M.; WAHID, A.; KOKAYASHI, N.; FUJITA, D.; BASRA, S.M.A. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 29, p.185–212, 2009.

FENG Z.Z.; GAU A.H.; FENG Z.W. Delay of senescence of detached cucumber cotyledons by triadimefon. **Biologia Plantarum**, Praha, v.46, p. 571–575, 2003.

FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J.L. **Manual da cultura do arroz**. Jaboticabal: FUNEP, 1993. 221p.

FOYER, C.H.; NOCTOR, G. Redox sensing and signaling associated with reactive oxygen in chloroplasts, peroxisomes and mitochondria. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.119, p. 355-364, 2003.

FUKAI, S.; INTHAPAN, P. Growth and yield of rice genótipos under sprinkler irrigation in south-eastern Queensland. 3. Water extraction and plant water relations-comparison with maize and grain sorghum. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, East Melbourne, v. 28, n. 2, p. 249-252, 1988.

FUKAI, S.; COOPER, M. Development of drought-resistant genótipos using physio-morphological traits in rice. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 40, n. 2, p. 67-86, 1995.

FUKAI, S.; PANTUWAN, G.; JONGDEE, B.; COOPER, M. Screening for drought resistance in rainfed lowland rice. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.64, n.1-2, p.61-74, 1999.

GASPAR, T.; PENEL, C.; CASTILLO, F.J.; GREPPIN, H.A. A two step control of basic and acid peroxidase and its significance for growth and development. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.64, p.418-423, 1985.

GIANNOPOLITIS, C.N.; RIES, S.K. Superoxide dismutases: I., occurrence in higher plants. **Plant Physiology**, Rochville, v. 59, n. 2, p. 309 – 314, 1977.

GLINSKI, J., LIPIEC, J. **Soil physical conditions and plant roots**. Boca Raton: CRC Press, Flórida, Inc.1990. 250p.

GOMIDE, R. L.; Monitoramento para manejo de irrigação: instrumentação, automação e métodos. In: FARIA, M.A.; SILVA, E. L.; VILELA L.A.A.; SILVA, A.M. **Manejo de Irrigação**, Lavras, UFLA, SBEA, Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Lavras, MG, Brasil, 1998, p. 133-238.

GOMIDE, R. L. et al. Drought tolerance phenotyping in crops under contrasting target environments: producers and practices. In: MONNEVEUX, P.; RIBAUT, J. – M. (Eds.) **Drought phenotyping in crops: from tolerance and practices**. Mexico, CGIAR: CIMMYT, 2011. pt. 1, p. 51-91.

GRATÃO, P.L.; POLLE, A.; LEA, P.J.; AZEVEDO, R.A. Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. **Functional Plant Biology**, Collingwood, v.32, n.32, p.481-494, 2005.

GUIMARÃES, C. M.; SANTOS, A. B dos.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. de.; STONE, L. F. Sistemas de Cultivo. In: SANTOS, A. B dos.; VIEIRA, N. R. de A. **A cultura do Arroz no Brasil** – 2. Ed. Ver. Ampl. Santo Antônio de Goiás: Editora Embrapa Arroz e Feijão, 2006(a). p. 53-96.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; RANGEL, P. H. N.; FERREIRA, M. E.; RODRIGUES, C. A. P. Resistência à seca. II. Avaliação de **genótipos** de arroz de terras altas em condições de campo. In: Congresso Brasileiro da Cadeia Produtiva de Arroz, 2.; Reunião Nacional de Pesquisa de Arroz, 8., 2006, Brasília, DF. **Anais...** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006(b).

GUIMARÃES, C. M.; BRESEGHELLO, F.; CASTRO, A. P. de; STONE, L. F.; MORAIS JÚNIOR, O. P. DE. Comportamento produtivo de linhagens de arroz do grupo Indica sob irrigação adequada e sob deficiência hídrica. **Comunicado Técnico, 180**, Santo Antônio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão, 4p. 2009.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; LORIEUX, M.; OLIVEIRA, J. P.; ALENCAR, G. C. O.; DIAS, R. A. A. Infrared thermometry for drought phenotyping of inter and intra specific upland rice lines. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.2, p.148–154, 2010.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; OLIVEIRA, J. P.; RANGEL, P. H. N.; RODRIGUES, C. A. P. Sistema radicular do arroz de terras altas sob deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.41, n.1, p. 126-134. 2011.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F. Avaliação da tolerância à deficiência hídrica na Embrapa Arroz e Feijão. In: Simpósio sobre tolerância à deficiência hídrica em plantas:

adaptando as culturas ao clima do futuro, 2010, Goiânia. **Trabalhos apresentados...** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2011.

GUPTA, A.S.; WEBB, R.P.; HOLADAY, A.S., ALLEN, R.D. Overexpression of superoxide dismutase protects plants from oxidative stress. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 103, p.1067-1073, 1993.

HALLIWELL, B., GUTTERIDGE, J.M.C. **Free radicals in Biology and Medicine**. 2nd ed. Oxford: Clarendon, 1989. 496 p.

HAVIR, E.A.; MCHALE, N.A. Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves. **Plant Physiology**, Rockville, v. 84, p. 450–455, 1987.

HEINEMANN, A.B.; STONE, L.S.; FAGERIA, N.K.; CASTRO, L.M. de. Evaluation of physiological traits in upland rice for adaptation to no-tillage system. **Brazilian Society of Plant Physiology**, v. 21, p. 113-122, 2009.

HENRY A, GOWDA VRP, TORRES RO, MCNALLY KL, SERRAJ R. Variation in root system architecture and drought response in rice (*Oryza sativa* L.): phenotyping of the OryzaSNP panel in rainfed lowland fields. **Field Crops Research**, v. 120, p.205–214, 2011.

IRRI (International Rice Research Institute). **Standard evaluation system for rice**. 4.ed. Manila (Philippines): IRRI. 1996. 51p.

JAGADISH, S. V. K.; CRAUFURD, P. Q.; WHEELER, T.R. High temperature stress and spikelet fertility in rice. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, n.12 p. 1-9, 2007.

JACKSON, R.D. IDSO, S. B.; REGINATO, R. J.; PINTER, P.J. Canopy temperature as a crop water stress indicator. **Water Resources Research**, Washington, v. 17, p. 1133 – 1138, 1981.

JONGDEE, B.; FUKAI, S.; COOPER, M. Leaf water potential and osmotic adjustment as physiological traits to improve drought tolerance in rice. **Field Crops Research**, Amsterdam v.76, p.153-164, 2002.

KARUPPANAPANDIAN, T. et al. Reactive oxygen species in plants: their generation, signal transduction, and scavenging mechanisms. **Australian Journal of Crop Science**, Canberra, v. 5, n. 6, p. 709-725, June 2011.

KATO, Y.; OKAMI, M. Root morphology, hydraulic conductivity and plant water relations of high-yielding rice grown under aerobic conditions. **Annals of Botany**, Oxford, v.108, p.575–583, 2011.

KORICHEVA, J.; ROY, S.; VRANJIC, J.A.; HAUKIOJA, E.; HUGHES, P.R.; HANNIEN, O. Antioxidant Responses to stimulated acid rain and heavy metal deposition in birch seedlings. **Environmental Pollution**, Barking, v.95, n.2, p.249-258, 1997.

KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. **Water Relations of Plants and Soils**. San Diego: Academic Press, 1995., 495p.

LAFITTE, R.; BLUM, A.; ATLIN, G. Using secondary traits to help identify drought-tolerant genotypes. In: FISCHER, K.S.; LAFITTE, R.; FUKAI, S.; ATLIN, G.; HARDY, B. (eds.). **Breeding Rice for Drought-Prone Environments**. Los Baños, IRRI, 2003. p 37-48.

LAFITTE, H. R.; COURTOIS, B. Interpreting genótipo x environment interactions for yield in upland rice: assigning value to drought-adaptive traits. **Crop Science**, Madison, v. 42, n. 5, p. 1409–1420, 2002.

LAFITTE, H. R.; BENNETT, J. Requirements for aerobic rice: physiological and molecular considerations. In: BOUMAN, B. A. M.; HENGSDIJK, H.; HARDY, B.; BINDRABAN, P. S.; TUONG, T. P.; LADHA, J. K (ed.). **Water-wise rice production**. Los Baños: International Rice Research Institute, 2002. p.259-274.

LEINOMEN, I.; JONES, H.G. Combining thermal and visible imagery for estimating canopy temperature, leaf water potential and spikelet fertility in rice under contrasting moisture regimes. **Chinese Science Bulletin**, Beijing, v. 50, p. 317 – 326, 2005.

LILLEY, J. M.; FUKAI, S. Effect of timing and severity of water deficit on four diverse rice genótipos. III. Phenological development, crop growth and grain yield. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 37, n. 3, p. 225-234, 1994b.

LIMA, G.P.P.; BRASIL, O.G.; LOVEIRA, A.M. Poliaminas e atividade da peroxidase em feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivado sob estresse salino. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.56, n.1, p.21-25, 1999.

LIN, J.; WANG G. Doubled CO₂ could improve the drought tolerance better in sensitive genótipos than in tolerant genótipos in spring wheat. **Plant Science**. Limerick, v. 163, 627–637, 2002.

MACHADO, J.R. **Desenvolvimento da planta e produtividade de grãos de populações de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado por aspersão em função de épocas de cultivo**. Botucatu, 1994. 237p. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade de Estadual Paulista.

MAMBANI, B., LAL, R. Response of upland rice varieties to drought stress. II. Screening rice varieties by means of variable moisture regimes along a toposequence. **Plant Soil**, v. 73, p.73-94, 1983.

MALLICK, N.; MONH, F.H. Reactive oxygen species: response of algal cells. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v.157, n.2, p.183-193, Aug. 2000.

MAUAD, M.; CRUSCIOL, C.A.C.; GRASSI FILHO, H. Produção de massa seca e nutrição de genótipos de arroz de terras altas sob condição de déficit hídrico e adubação silicatada. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 3, p. 939-948, 2011.

MATSUSHIMA, S. **Crop science in rice: theory of yield determination and its application**. Tokyo: Fuji, 1970. 379p.

MENEZES-BENAVENTE, L.; TEIXEIRA, F.K.; KAMEI, C.L.A.; MARGISPINHEIRO, M. Salt stress induces altered expression of genes encoding antioxidant enzymes in seedlings of a brazilian indica rice (*Oryza sativa* L.). **Plant Science**, Limerick, v.166, n.2, p.323-331, 2004.

MITLER R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 7, p. 405–410, 2002.

MORAIS, O. P.; ANTUNES, F. Z.; SOARES, P. C. Exigências climáticas da cultura do arroz. **Informe Agropecuário**, 5 (55): 16-9, 1979.

MOREIRA, M.F., KLUGE, R.A. Arroz. In. CASTRO, P.R.C., KLUGE, R.A. (Eds.). *Ecofisiologia de cultivos anuais*. São Paulo: Nobel, 1999. P. 91-108.

MORITA, S., YAMAZAKI, K. Root system. In: Matsuo, T. Hoshikawa, K. **Science of the rice plant**. I. Morphology. 1993. p.161-186.

MORROW, P.A.; SLAYTER, R.C. Leaf resistance measurements with diffusion porometers: Precautions in calibration and use. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 8, p. 223-233, 1971.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant and Cell Physiology**, Kyoto, v. 22, p. 867–880, 1981.

NGUYEN, H. T.; BABU, R.C.; BLUM, A. Breeding for drought resistance in rice: Physiology and molecular genetics considerations. **Crop Science**, Madison, v. 37, n. 5, p. 1426-1434, 1997.

NUNES, T. V. **Fenotipagem de inhagens de arroz de terras altas sob déficit hídrico no cerrado tocantinense**. Gurupi, 2009, 53p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Campus Universitário de Gurupi, Universidade Federal do Tocantis.

OLIVEIRA, C.M.M. **Níveis de água e de nitrogênio na cultura do arroz irrigado por aspersão**. Botucatu, 1995. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista.

OLIVEIRA, G.S. **Efeito de densidades de semeadura no desenvolvimento de genótipos de arroz (Oryza sativa L.) em condições de sequeiro e irrigado por aspersão**. Ilha Solteira: Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista. 1994. 41p. (Trabalho de Graduação).

O'TOOLE, J. C. Adaptation of rice to drought-prone environments. In: IRRI - International Rice Research Institute. **Drought resistance in crops with emphasis on rice**. Los Baños: IRRI, 1982. p. 195-213.

PANDEY, S. Rainfed lowland rice research: challenges and priorities for the 21st century. In: FUKAI, S.; COOPER, M.; SALISBURY, J. (Eds.). **Breeding strategies for rainfed lowland rice in drought-prone environments**. Canberra: Australian Center for International Agricultural Research, 1997. p 1-12. Proceedings, 77.

PANTUWAN, G.; FUKAI, S.; COOPER, M., RAJATASEREEKUL, S.; O'TOOLE, J.C. Yield response of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes to different types of drought under rainfed lowlands. I. Grain yield and yield components. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.73, p.153-168, 2002.

PEREIRA, J.A., TAVARES SOBRINHO, J., BELTRÃO, N.E.M. Resposta de genótipos tradicionais e melhoradas de arroz de sequeiro a diferentes níveis de umidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, n.6, p.857-865, 1994.

PINHEIRO, B.S., STEINMETZ, S., STONE, L.F., GUIMARÃES, E.P. Tipo de planta, regime hídrico e produtividade do arroz de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.20, n.1, p.85-7, 1985.

PINHEIRO, B.S., MARTINS, J.F.S., ZIMMERMANN, F.J.P. Índice de área foliar e produtividade do arroz de sequeiro. II. Manifestação através dos componentes da produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.25, p.873-9, 1990.

PINHEIRO, B. Integrating selection for drought tolerance into a breeding program: the Brazilian experience. In: FISHER, K. S.; LAFITTE, R.; FUKAI, S.; ATLIN, G.; HARDY, B. (Eds.). **Breeding rice for drought-prone environments**. Los Baños (Philippines): IRRI, p. 75–83, 2003.

PINHEIRO, B. da S. Características morfofisiológicas da planta relacionadas à produtividade. In: SANTOS, A. B dos.; VIEIRA, N. R. de A. **A cultura do arroz no Brasil** – 2. Ed. Ver. Ampl. Santo Antônio de Goiás: Editora Embrapa Arroz e Feijão, 2006. p. 53-96.

PONNAMPERUMA, F.N. Growth-limiting factors of aerobic soils. In: **INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE**. Los Baños, 1975. p.40-3.

PRASERTSAK, A., FUKAI, S. Nitrogen availability and water stress interaction on rice growth and yield. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.52, p.249-60, 1997.

RAO, K.V.M.; SRESTY, T.V.S. Antioxidative parameters in the seedlings of pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) Millspaugh) in response to Zn and Ni stress. **Plant Science**, Limerick, v.157, p.113-28, 2000.

RAVEN, P.R.; EVERT. R.F.; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal**, 7^a, Coord. Trad. J.E. Kraus. Edição Guanabara Koogan , Rio de Janeiro, 2007.

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**, Jaboticabal, v. 24, n.3, p.546 – 556, set/dez, 2004.

ROSSI, C.; LIMA, G.P.P. Cádmio e atividade da peroxidase durante a germinação de sementes de feijoeiro. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, n.1, p.197-199, 2001.

SANTOS, T. E. B. dos, NAKAYAMA, F. T.; ARF, O.; CASSIOLATO, A. M. R. Variáveis microbiológicas e produtividade do arroz sob diferentes manejos do solo e água. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.29, n. 3, p. 355 – 366, 2007.

SANTOS, T. E. B. dos, NAKAYAMA, F. T.; ARF, O.; CASSIOLATO, A. M. R. Alterações microbiológicas, de fertilidade e de produtividade do arroz de terras altas em diferentes manejos de solo e água. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 2, p. 203-209, 2008.

SCANDALIOS, J.G. Oxygen stress and superoxide dismutases. **Plant Physiology**, Minneapolis, v.101, p.7-12, 1993.

SCANDALIOS, J.G. The rise of ROS. **Trends in Biochemical Sciences**, Amsterdam, v. 27, p.483-486, 2002.

SCANDALIOS, J. G.. Oxidative stress: molecular perception and transduction of signals triggering antioxidant gene defenses. **Brazilian Journal of Medical and Biology Research**, Ribeirão Preto, v. 38; p. 995-1014, 2005.

SHAH, N. H.; PAULSEN, G. M. Interaction of drought and high temperature on photosynthesis and grain-filling of wheat. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 257, n. 1, p. 219-226, Nov. 2003.

SIEGEL, B.Z. Plant peroxidases: an organismic perspective. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v.12, p.303-312, 1993.

STEINMETZ, S.; REYNIERS, F. N.; FOREST, F. Caracterização do regime pluviométrico e do balanço hídrico do arroz de sequeiro em distintas regiões produtoras do Brasil: síntese e interpretação dos resultados. Embrapa-CNPAF. **Documentos**, 23 Goiânia: Embrapa-CNPAF, v. ,1988.

STEINMETZ, S.; SILVA, S. C. da; SANTANA, N. M. P. de. Clima. In: SANTOS, A. B dos.; VIEIRA, N. R. de A. **A cultura do Arroz no Brasil** – 2. Ed. Ver. Ampl. Santo Antônio de Goiás: Editora Embrapa Arroz e Feijão, 2006. p. 117-160.

STONE, L.F., OLIVEIRA, A.B., STEINMETZ, S. Deficiência hídrica e resposta de genótipos de arroz de sequeiro ao nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.14, p.295-301, 1979a.

STONE, L.F., SILVEIRA, P.M., OLIVEIRA, A.B., AQUINO, A.R.L. Efeitos da supressão de água em diferentes fases do crescimento na produção do arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.14, p.105-9, 1979b.

STONE, L.F., LIBARDI, P.L., REICHARDT, K. Deficiência hídrica, vermiculita e genótipos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, n.6, p.695-707, 1984a.

STONE, L.F., LIBARDI, P.L., REICHARDT, K. Deficiência hídrica, vermiculita e genótipos. II. Efeito na utilização do nitrogênio pelo arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.19, p.1403-16, 1984b.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; SILVA, S. C. da. Tensão da água do solo e produtividade do arroz. **Comunicado Técnico**, EMBRAPA-CNPAP, Santo Antônio de Goiás, 19. 6p. 1986.

STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. Resposta do arroz de sequeiro à profundidade de aração adubação potássica e condições hídrica do solo **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.31, p 885-95, 1996.

SU, M. R.; YANG, C. M. Measurement of rice temperature by thermal infrared imagery. **Chinese Agronomy Journal**, v.8, p.29-38, 1998.

SUDHAKAR, C.; LAKSHMI, A.; GIRIDARAKUMAR, S. Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity. **Plant Science**, Strasbourg, v.161, p.613-619, 2001.

SRIVASTAVA, L. M. Gibberellins In: SRIVASTAVA, L. M. Plant growth and development: hormones and environment. Amsterdam: **Academic Press**, 2002. p. 172-181.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848p.

TANGUILIG, V.C., YAMBAO, E.B., O' TOOLE, J.C., DE DATTA, S.K. Water stress effects on leaf elongation, leaf water potential, transpiration, and nutrient uptake of rice, maize, and soybean. **Plant Soil**, v.103, p.155-68, 1987.

TARDIEU, F.; DAVIES, W. J. Integration of hydraulic and chemical signalling in the control of stomatal conductance and water status of droughted plants. **Plant, Cell & Environment**, v. 16, p. 341–349, 1993.

TENNANT, D. A test of a modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Ecology**, London, v.63, p.995-1001. 1975.

VAN BREUSEGEM, F.; VRANOVÁ, E.; DAT, J.F.; VANMONTAGU, M.; INZE, D. The role of active oxygen species in plant signal transduction. **Plant Science**, v.161, p.405-414, 2001.

VERSLUES, P.E.; AGARWAL, M.; KATIYAR-AGARWAL, S.; ZHU, J.; ZHU, J. K. Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. **The Plant Journal**, Oxford, v. 45, p.523–539, 2006.

VIETS JUNIOR, F.G. Water deficits and nutrient availability. In: KOZLOWSKI, T.T. (Ed.) **Water deficits and plant growth**. New York: Academic Press, 1972. v.3, p.217-39.

VRANOVA, E.; INZE, D.; VAN BREUSEGEM, F. Signal transduction during oxidative stress. **Journal of experimental Botany**, Oxford, v.53, n.372, p.1227-1236, 2002.

WANDER, A. E.; CHAVES, M. O. Consumo aparente per capita de arroz no Brasil, 1991 a 2010. In CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 7., 2011, Balneário Camboriú. **Racionalizando recursos e ampliando oportunidades: anais**. Itajaí: Epagri, 2011.

WICKHAM, T.H.; SINGH, V.P. Water management for lowland rice: water requirements and yield response. In IRRI. **Soils and rice**. Los Baños, p. 649-669, 1978.

YE, N.; ZHU, G.; LIU, Y.; LI, Y.; ZHANG, J. ABA Controls H₂O₂ accumulation through the induction of OsCATB in rice leaves under water stress. **Plant and Cell Physiology**, Kyoto, v.52, p. 689–698, 2011.

YOSHIDA, S. Rice. In: ALVIM, P.T., KOLZWSKI, T.T. **Ecophysiology of tropical crops**. New York: Academic Press, 1977. p.57-87.

YOSHIDA, S. Growth and development of the rice plant. In: _____. **Fundamentals of rice crop science**. Los Baños, 1981b. cap. 1, p.1-65.

YOSHIDA, S.; HASEGAWA, S. The rice root system: its development and function. In: IRRI - International Rice Research Institute. **Drought resistance in crops with emphasis in rice.** Los Baños: IRRI, p. 97-114, 1982.

YU, Q.; RENGEL, Z. Drought and salinity differentially influence activities of superoxide dismutase in narrow-leaved lupins. **Plant Science**, Limerick, n.142, p.1-11, 1999. p.94 – 124.

ZHOU, Y.; LAM, H.M.; ZHANG.; J. Inhibition of photosynthesis and energy dissipation induced by water and high light stresses in Rice. *Journal of Experimental Botany*, vol. 58, nº 5, p. 1207-1217, 2007