**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Coeficiente da cultura e avaliação em vaso da deficiência hídrica
em dois genótipos de arroz de terras altas**

Gentil Cavalheiro Adorian

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

**Piracicaba
2014**

Gentil Cavalheiro Adorian
Engenheiro Agrônomo

**Coeficiente da cultura e avaliação em vaso da deficiência hídrica em dois
genótipos de arroz de terras altas**

Orientador:
Prof. Dr. **KLAUS REICHARDT**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba
2014

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Adorian, Gentil Cavalheiro

Coeficiente da cultura e avaliação em vaso da deficiência hídrica em dois genótipos de arroz de terras altas / Gentil Cavalheiro Adorian. - - Piracicaba, 2014.
103 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2014.

1. *Oryza sativa* 2. Evapotranspiração 3. Estresse hídrico I. Título

CDD 663.18
A241c

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

Aos meus pais, Gentil e
Osvalda, e à minha noiva
Evelynne

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço:

Primeiramente à Deus, acima de todas as coisas, pelo dom da vida.

À minha mãe Osvalda Cavalheiro e ao meu pai Gentil Forte Adorian pelo apoio e incentivo aos meus estudos.

Agradeço à minha noiva Evelynne Urzedo Leão pelo amor, pelo carinho, pela dedicação, pelo companheirismo, pela atenção, pelo incentivo e por me proporcionar momentos maravilhosos ao seu lado, que sem dúvidas serão eternos.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, em especial ao Departamento de Produção Vegetal e ao Programa de Fitotecnia, pela oportunidade de cursar o Doutorado.

Ao meu orientador, professor Dr. Klaus Reichardt, pelo apoio e orientações prestadas ao longo do curso, no desenvolvimento do experimento e na elaboração da tese.

Ao professor Dr. Durval Dourado Neto pelo apoio e orientações durante o curso e no desenvolvimento da tese.

Ao professor Dr. Pedro Jacob Christoffoleti pelo disponibilização da área experimental, casa de vegetação, para realizar o experimento. Como também, agradeço ao funcionário Osmair pela disponibilidade e auxílio no experimento.

Ao professor Dr. Ricardo Antunes Azevedo e à Dra. Salete Aparecida Gaziola pela disponibilização do Laboratório de Genética e Bioquímica de Plantas e auxílio nas análises bioquímicas do experimento.

Ao professor Dr. Angelo Pedro Jacomino e ao Dr. Marcos Trevisan pela disponibilização do Laboratório de Pós-colheita.

À secretária do Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Luciane Aparecida Lopes Toledo, pela dedicação prestada aos alunos da Fitotecnia.

Aos professores em geral da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” pelo empenho de ensinar seus alunos.

À Embrapa *Arroz e Feijão*, em especial ao pesquisador Dr. Alexandre Bryam Heinemann, por conceder as sementes de arroz para a realização do experimento.

Aos meus amigos de pós-graduação e outros companheiros que tive o prazer de conviver, Rogério Lorençoni, Ronaldo Sakai, Yuri Caires, Naiara Célide, Carolina Andrade, Adilson Nunes, Anderson Ramos, André Fadel, Carolina Rossi, Frederico Miranda, Mateus Donegá, Leonardo Cirilo, César, Matheus Henrique, Denis e entre outros, não menos importantes, que presenciaram minha trajetória.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudo.

E à todos aqueles que torceram pela minha vitória, um muito obrigado!

BIOGRAFIA

GENTIL CAVALHEIRO ADORIAN – Nascido em 23 de Janeiro de 1984, na cidade de Palmeiras das Missões, RS. Filho de Gentil Fortes Adorian e Osvalda Cavalheiro. Ingressou no Curso de Agronomia da Universidade Federal do Tocantins, Campus de Gurupi, graduando-se em Janeiro de 2008. Em agosto de 2008, iniciou o Mestrado em Produção Vegetal, área de concentração Melhoramento de Plantas, na Universidade Federal do Tocantins, Campus de Gurupi, obtendo o título em Agosto de 2010. Em março de 2011 iniciou o curso de pós-graduação em Ciências, área de concentração Fitotecnia, em nível de Doutorado, na Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ, na cidade de Piracicaba, SP.

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT	13
LISTA DE FIGURAS	15
LISTA DE TABELAS	17
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	19
LISTA DE SÍMBOLOS.....	21
1 INTRODUÇÃO	23
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	27
2.1 A importância do arroz.....	27
2.1.1 O arroz de terras altas.....	28
2.2 Relações água-solo-planta-atmosfera.....	30
2.3 Evapotranspiração	32
2.4 Deficiência hídrica.....	35
2.4.1 Respostas da planta ao estresse	37
2.4.2 Respostas antioxidativas das plantas sob deficiência hídrica	39
3 MATERIAL E MÉTODOS	45
3.1 Caracterização da área experimental e condução dos experimentos	45
a) Área experimental	45
b) Genótipos de arroz de terras altas utilizados, semeadura e transplante.....	45
c) Características do solo	46
d) Adubação, calagem, controle de pragas e plantas daninhas	47
e) Manejo da irrigação.....	48
3.2 Experimento 1: Evapotranspiração potencial da cultura (ET_c , mm.dia ⁻¹) conduzida em vaso, coeficiente da cultura (KC) dos genótipos de arroz de terras altas e relação $K_c \times IAF_{est}$ (índice de área foliar estimado).	48
a) Evapotranspiração potencial da cultura (ET_c , mm.dia ⁻¹):.....	49
b) Evapotranspiração de referência (ET_0 , mm.dia ⁻¹):	49
c) Determinação do coeficiente da cultura (K_c).....	51
d) Coeficiente da cultura (KC) x índice de área foliar estimado (IAF_{est})	52
e) Análise estatística	53
3.3 Experimento 2: Deficiência hídrica nas características morfológicas e bioquímicas dos genótipos de arroz de terras altas em estágio reprodutivo	54

a)	Delineamento experimental	54
b)	Variáveis avaliadas.....	54
c)	Análises bioquímicas	56
d)	Análise estatística.....	57
3.4	Experimento 3: Deficiência hídrica aplicada em estágio reprodutivo, com posterior reidratação das plantas dos genótipos de arroz de terras altas.....	58
a)	Delineamento experimental	58
b)	Variáveis avaliadas.....	58
c)	Análise estatística	59
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
4.1	Experimento 1: Evapotranspiração potencial da cultura (ET_c , $mm.dia^{-1}$) conduzida em vaso, coeficiente da cultura (K_c) dos genótipos de arroz de terras altas e relação $K_c \times IAF_{est}$ (índice de área foliar estimado).....	61
a)	Evapotranspiração potencial (ET_c) e determinação do coeficiente da cultura (K_c)	61
b)	Coeficiente da cultura (K_c) em função do índice de área foliar estimado (IAF_{est})	67
4.2	Experimento 2: Deficiência hídrica nas características morfológicas e bioquímicas dos genótipos de arroz de terras altas em estágio reprodutivo	70
a)	Características morfológicas	71
b)	Respostas bioquímicas.....	77
4.3	Experimento 3: Deficiência hídrica aplicada em estágio reprodutivo, com posterior reidratação das plantas dos genótipos de arroz de terras altas.....	81
5	CONCLUSÕES.....	89
	REFERÊNCIAS	91

RESUMO

Coeficiente de cultura e avaliação em vaso da deficiência hídrica em dois genótipos de arroz de terras altas

Diante das restrições socioambientais do cultivo do arroz irrigado é necessário maior incentivo no seu cultivo em sistema de terras altas, que sofre limitação da produção devido à deficiência hídrica. Para reverter tal situação é necessário adotar irrigação suplementar ou tornar a cultura mais tolerante à seca, através da identificação de características de tolerância à deficiência hídrica, talvez encontrada em genótipos tradicionais de arroz de terras altas. Assim sendo, o presente estudo teve como objetivos: 1 - avaliar a evapotranspiração potencial e calcular o coeficiente da cultura de dois genótipos de arroz de terras altas, moderno e tradicional, numa tentativa de verificar diferenças na tolerância à seca; 2 – com a mesma intensão, avaliar a relação do coeficiente da cultura dos genótipos com seus respectivos índices de área foliar; 3 - avaliar a deficiência hídrica em características morfológicas e bioquímicas dos genótipos; 4 - e avaliar a deficiência hídrica com posterior reidratação nas características produtivas. Os ensaios foram conduzidos em casa de vegetação, utilizando os genótipos: 'Batatais', arroz tradicional, e 'BRS-Primavera', arroz moderno. Foram realizados três experimentos. No experimento I avaliou-se a evapotranspiração potencial da cultura (ET_c), o coeficiente da cultura (K_c), o índice de área foliar (IAF_{est}) e a relação $K_c \times IAF_{est}$. No experimento II foram avaliadas as características morfológicas e bioquímicas dos genótipos submetidos aos tratamentos: AS - análises antes da suspensão da irrigação; CD - tratamento com deficiência hídrica após três dias de suspensão da irrigação; e SD - tratamento sem suspensão da irrigação. No experimento III avaliou-se as características produtivas dos genótipos submetidos aos tratamentos: CD - com deficiência hídrica após três dias de suspensão da irrigação, seguido de reidratação e com a irrigação mantida até o final do ciclo; e SD - tratamento sem deficiência, irrigado até o final do ciclo. O genótipo BRS-Primavera apresentou maior evapotranspiração por índice de área foliar. A deficiência hídrica não afetou a peroxidação de lipídeos em 'Batatais', porém, aumentou em 'BRS-Primavera', que teve maior esterilidade das espiguetas devido ao estresse hídrico, de tal forma que 'Batatais' apresentou-se com maior tolerância à deficiência hídrica em relação ao 'BRS-Primavera'.

Palavras-chave: *Oryza sativa*; Evapotranspiração; Estresse hídrico

ABSTRACT

Crop coefficient and pot evaluation of the hydric defficiency of two upland rice genitypes

Face to the sócio-environmental restrictions of irrigated rice cultivation a greater incentive is due to upland rice cultivation, which suffers productivity limitations caused by hydric defficiencies. To reverse this situation it is necessary to adopt supplementary irrigation, or better to identify characteristics of plant tolerance to hydric defficiency, which could be found in upland traditional rice genotypes. Based on this, the present study had as objectives: 1. Evaluate the potential evapotranspiration and calculate the crop coefficient of two highland rice genotypes, modern and traditional, in order to verify differences in relation to hydric resistance; 2. With the same intention, evaluate the relation between the crop coefficient and the respective foliar indices; 3. Evaluate hydric defficiency in morphologic and biochemical characteristics of the genotypes; and 4. Evaluate the effect of hydric defficiency after a later re-hydration on productivity characteristics. Essays were carried out in a greenhouse, using the genotypes: 'Batatais', a tradicional rice variety, and 'BRS-Primavera', a modern rice varity. Three experiments were made: I. evaluation of the crop potential evapotranspiration (ET_c), of the crop coefficient (K_c), the foliar area index (IAF_{est}) and the relation $K_c \times IAF_{est}$; II evaluation of the morphologic and biochemical characteristics of the genotypes submitted to the treatments: AS – analysis before irrigation stop; CD – hydric deficieny after three days of irrigation stop; and SD – withour irrigation stop. Experimento III evaluated the productive characteristics of the genotypes submitted to: CD – with hydric defficiency after three days of irrigation stop, followed by re-hydration and with irrigation maintained up to the end of the cycle; and SD – without hydric defficiency, irrigated up to the end of the cycle. The genotype BRS-Primavera presented greater ET_c and IAF . The hydric defficiency did not affect the peroxidation of lipids in 'Batatais', increased however in 'BRS-Primavera', that presented the greatest sterility of spikelets due to hydric stress, so that 'Batatais' was the genotype that presented the best tolerance to hydric defficiency in relation to 'BRS-Primavera'.

Keywords: *Oryza sativa*; Evapotranspiration; Hydric stress

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Umidade relativa média do ar (UR méd, %), temperatura máxima (T_{max} , °C) e temperatura mínima (T_{min} , °C) durante os dias de condução do experimento (DATA)..... 49
- Figura 2 - Valores de médias semanais de evapotranspiração da cultura (ET_c , mm.dia⁻¹) de cultivares de arroz de terras altas, Batatais (B) e BRS-Primavera (P), em função do tempo (t, semanas após o transplante)..... 67
- Figura 3 - Valores de médias semanais da evapotranspiração de referência (ET_0 , mm.dia⁻¹) estimada pelos métodos de Thornthwaite (1948) (TH) e Hargreaves e Samani (1985) (HS), e temperatura média semanal (T , °C), ao longo do tempo (t, semanas após o transplante).....68
- Figura 4 - Valores médios semanais do coeficiente da cultura (K_c), de cultivares de arroz de terras altas, Batatais (B) e BRS-Primavera (P), utilizando evapotranspiração de referência estimada pelos métodos de Thornthwaite (1948) (gráfico 1), e Hargreaves e Samani (1985) (gráfico 2), em função do tempo (t, semanas após o transplante)..... 70
- Figura 5 - Valores de médias semanais do coeficiente da cultura (K_c) calculado usando evapotranspiração de referência estimada pelos métodos de Thornthwaite (1948) (gráfico 1) e Hargreaves e Samani (1985) (gráfico 2), de cultivares de arroz de terras altas, Batatais (B) e BRS-Primavera (P), em função dos valores médios semanais de índice de área foliar estimados (IAF_{est}).....72
- Figura 6 - Valores médios do volume de água no solo (θ , cm³.cm⁻³) dos genótipos de arroz de terras altas, Batatais (B) e BRS-Primavera (P), nos tratamentos sem (SD) e com (CD) deficiência hídrica.....80
- Figura 7 - Valores médios de peroxidação lipídica (MDA) dos genótipos de arroz de terras altas, Batatais (B) e BRS-Primavera (P) nos tratamentos: antes da suspensão da irrigação (AS), sem deficiência hídrica (SD) e com deficiência hídrica (CD).....82

- Figura 8 - Valores médios de peróxidos de hidrogênio (H_2O_2 - $\mu\text{g.g}^{-1}$ de matéria fresca) dos genótipos de arroz de terras altas, Batatais (B) e BRS-Primavera (P) nos tratamentos: antes da suspensão da irrigação (AS), sem deficiência hídrica (SD) e com deficiência hídrica (CD).....83
- Figura 9 - Valores médios de proteínas (mg.mL^{-1}) dos genótipos de arroz de terras altas, Batatais (B) e BRS-Primavera (P) nos tratamentos: antes da suspensão da irrigação (AS), sem deficiência hídrica (SD) e com deficiência hídrica (CD).....84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Descrições das características dos genótipos de arroz de terras altas, Batatais e BRS-Primavera.....	50
Tabela 2 -	Análise física e química do solo utilizado no experimento.....	51
Tabela 3 -	Valores de quadrado médio (QM) da área foliar (AF), massa seca foliar (MSF), massa seca do colmo (MSC), massa seca radicular (MSR), massa seca da panícula (MSP), massa seca total (MST) e conteúdo hídrico foliar (CHF) dos genótipos de arroz de terras altas, Batatais e BRS-Primavera, nos tratamentos: antes da suspensão da irrigação (AS), sem deficiência hídrica (SD) e com deficiência hídrica (CD).....	76
Tabela 4 -	Valores médios de área foliar (AF, cm ²), massa seca foliar (MSF, g), massa seca do colmo (MSC, g), massa seca radicular (MSR, g), massa seca da panícula (MSP, g), massa seca total (MST, g) e conteúdo hídrico foliar (CHF, %) de genótipos de arroz de terras altas, Batatais e BRS-Primavera, nos tratamentos: antes da suspensão da irrigação (AS), sem deficiência hídrica (SD) e com deficiência hídrica (CD) no estágio R5.....	77
Tabela 5 -	Valores de quadrado médio (QM) da análise de variância do volume de água no solo (θ , cm ³ .cm ⁻³) de genótipos de arroz de terras altas, Batatais e BRS-Primavera, nos tratamentos sem (SD) e com (CD) deficiência hídrica.....	79
Tabela 6 -	Valores de quadrado médio (QM) da análise de variância da peroxidação lipídica (MDA), peróxido de hidrogênio (H ₂ O ₂) e quantificação de proteínas (PROT) dos genótipos de arroz de terras altas, Batatais (B) e BRS-Primavera (P) nos tratamentos: antes da suspensão da irrigação (AS), sem deficiência hídrica (SD) e com deficiência hídrica (CD).....	81
Tabela 7 -	Valores do quadrado médio (QM) da análise de variância da massa seca do colmo (MSC), da massa seca foliar (MSF), da massa seca radicular (MSR), da área foliar (AF), da altura da planta (ALT), do número de panículas por planta (Nº PAN) e número de perfilhos por	

planta (Nº PERF) dos genótipos de arroz de terras altas, Batatais e BRS-Primavera, submetidos aos tratamentos com (CD) e sem (SD) deficiência hídrica.....86

Tabela 8 - Valores médios de massa seca do colmo (MSC, g), massa seca foliar (MSF, g), massa seca radicular (MSR, g), área foliar (AF, cm²), altura da planta (ALT, cm), número de panículas por planta (Nº PAN) e número de perfilho por planta (Nº PERF) dos genótipos de arroz de terras altas, Batatais e BRS-Primavera, submetidos aos tratamentos com (CD) e sem (SD) deficiência hídrica.....87

Tabela 9 - Valores do quadrado médio (QM) da análise de variância do peso de cem grãos (P100), do número de grãos cheios por panícula (GC/PAN), do número total de grãos vazios por planta (GV TOTAL), do número total de grãos por planta (G TOTAL) e da esterilidade das espiguetas (EST) dos genótipos de arroz de terras altas, Batatais e BRS-Primavera, submetidos aos tratamentos com (CD) e sem (SD) deficiência hídrica.....89

Tabela 10 - Valores médios de peso de cem grãos (P100, g), número de grãos cheios por panícula (GC/PAN), número total de grãos vazios da planta (GV TOTAL), número total de grãos da planta (G TOTAL) e esterilidade das espiguetas (EST, %) dos genótipos de arroz de terras altas, Batatais e BRS-Primavera, submetidos aos tratamentos com (CD) e sem (SD) deficiência hídrica.....90

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APX	Ascorbato Peroxidase
ABA	Ácido Abscísico
CAT	Catalase
CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
EROs	Espécies Reativas de Oxigênio
ET	Evapotranspiração
ET _c	Evapotranspiração da Cultura
ET ₀	Evapotranspiração Potencial de Referência
GPOX	Guaiacol Peroxidase
GR	Glutathione Redutase
K _c	Coeficiente da Cultura
MAPK	Proteína Quinase mitógeno-Ativada
MDA	Conteúdo de Malondialdeído
MPa	Mega Pascal
PVPP	Polyvinylpolypyrrolidone
RNA	Ácido Ribonucleico
Rubisco	Ribulose-1,5-Bifosfato Carboxilase/Oxigenase
SOD	Superóxido Dismutase
TBA	Ácido Tiobarbitúrico
TCA	Ácido Tricloroacético

LISTA DE SÍMBOLOS

θ	Volume de água no solo
μ_w	Potencial químico da água
μ^0_w	Potencial químico da água pura
Ψ_w	Potencial hídrico
Ca^{+2}	Cálcio
CO_2	Dióxido de carbono
G_w	Energia Livre Molal Parcial de Gibbs
H^+	Hidrogênio
H_2O_2	Peróxido de Hidrogênio
K^+	Potássio
O_2	Oxigênio
$^1\text{O}_2$	Oxigênio "Singlet"
OH	Radical hidroxila

1 INTRODUÇÃO

A agricultura consome em torno de 66% de toda água utilizada para atividades humanas e é o principal meio que altera a quantidade e a qualidade dos fluxos hídricos globais (GORDON et al., 2008).

O cultivo do arroz (*Oryza sativa* L.) sofre restrições socioambientais em seu sistema irrigado, pois, além de existir risco de contaminação dos recursos hídricos, a quantidade de água utilizada pode afetar a sua disponibilidade nos centros urbanos, que estão em constante aumento de demanda (ANA, 2009). Diante de tais restrições, faz-se necessário melhor aproveitar a água disponível para irrigação, sem que existam desperdícios da mesma.

Quando se visa manter ou mesmo melhorar o patamar de produção do arroz, com redução do gasto de água, é necessário maior incentivo na ampliação de seu cultivo em sistema de terras altas. O arroz conduzido sob sistema de terras altas, encontrado com maior predominância no Brasil, é caracterizado pela condição aeróbica de desenvolvimento radicular, cultivado sem o solo estar inundado (GUIMARÃES et al., 2006).

A região de Cerrados no Brasil é a mais importante no cultivo tradicional de arroz de terras altas (FORNASIERI FILHO; FORNASIERI, 2006; GUIMARÃES et al., 2006). Porém, nessa região, ocorrem períodos de estresse por falta de chuvas regulares, intervalos conhecidos como “veranicos”, em frequência e duração distintas (DATTA, 1981). Nas plantas, esses períodos secos suficientemente prolongados promovem estresse hídrico (BEARD, 1989), que limita o crescimento e o desempenho de plantas cultivadas mais do que qualquer outro fator ambiental (SHAO et al., 2008), ocasionando maior perda de produtividade, no caso do arroz, no período reprodutivo (HEINEMANN; STONE, 2009).

Devido ao aumento populacional é estimado que a produção de arroz deverá aumentar em, pelo menos, 40% até 2030, porém, até o momento, o aumento da produção não está acompanhando o aumento da população (KHUSH, 2005). Dessa forma, tendo em vista a limitação da produção de arroz cultivado em terras altas, devido às variações ambientais e à necessidade de aumento da produção, será necessário para o cultivo de arroz nesse sistema, adotar irrigação suplementar ou tornar a cultura mais tolerante à seca (WANG et al., 2005).

No que se refere à dinâmica da água no sistema solo-planta-atmosfera, sabe-se que a evapotranspiração é um processo simultâneo de perda de água para a atmosfera pela transpiração da planta e pela evaporação do solo, variando conforme a cultura e seu estágio de desenvolvimento. Seu conhecimento é de fundamental importância em projetos de irrigação, por representar a quantidade de água que deve ser reposta ao solo para manter o crescimento e desenvolvimento das plantas em condições ideais (MENDONÇA et al., 2003).

O conhecimento da evapotranspiração potencial da cultura, em condições ótimas de disponibilidade de água no solo, juntamente com a evapotranspiração de referência, que é a perda de água por unidade de tempo e de área de uma cultura padrão, pode-se calcular o coeficiente da cultura (K_c), que indica o quanto a cultura de interesse necessita de água a mais que a cultura de referência. Tal coeficiente é extremamente útil no manejo da irrigação.

No cultivo do arroz, a determinação do K_c é geralmente feita sem distinção de cultivares, o que leva a padronização do coeficiente da cultura, levando em consideração apenas a cultura e não o genótipo. Entretanto, os valores de evapotranspiração podem variar entre cultivares, o que demonstra a necessidade de conhecimento do K_c para cada genótipo. Segundo Allen et al., (1998), é importante que os valores do coeficiente e a duração dos estágios da cultura apresentados sejam ajustados de acordo com a variedade plantada, condições climáticas e manejo de condução, por meio de experimentos locais.

Quanto ao desenvolvimento de genótipos melhorados para ambientes com períodos de deficiência hídrica, as pesquisas relacionadas com tolerância à seca na cultura do arroz evoluem lentamente, pois o conhecimento do complexo de mecanismos depende da melhor compreensão das interações do genótipo com a grande diversidade nos tipos de estresse e ambientes de cultivo (LAFITTE et al., 2006).

Para dar suporte aos programas de melhoramento genético, na identificação de características que permitam com que as plantas se adaptem às condições de cultivo em áreas sujeitas à deficiência hídrica, é necessária melhor compreensão dos mecanismos de tolerância da planta de arroz (CABUSLAY et al., 2002). As plantas podem iniciar diversas mudanças moleculares, celulares e fisiológicas para responder e adaptar-se a estes estresses, permitindo, assim, sua sobrevivência em tais condições (LARCHER, 2004; NOGUEIRA et al., 1998). Contudo, a possibilidade

de sucesso em um programa de melhoramento pode ser ampliada quando se conhece as diferentes respostas das plantas às variações ambientais (YOSHIDA, 1975).

O melhoramento genético no arroz visando características agronômicas importante como tipo de planta e resistência à brusone promoveu um estreitamento de sua base genética, diminuindo sua variabilidade (GUIMARÃES et al., 1996), o que torna difícil encontrar genótipos com traços de tolerância à seca. Diante disso, faz-se necessário procurar características de tolerância à seca em genótipos tradicionais, ou também, chamados de crioulos, que são pouco cultivados, ou mesmo deixaram de ser, no entanto, apresentam maiores diversidades, e são importantes fontes de genes para programas de melhoramento (ZENG et al., 2007). A identificação de genótipos com características de tolerância poderá ser uma alternativa aos programas de melhoramento, para uso racional dos recursos naturais, sobretudo no uso da água na orizicultura, tanto em sistema de produção irrigado quanto em terras altas, reduzindo a demanda hídrica sem prejuízo aos rendimentos e à produção.

Assim, o presente estudo teve como objetivos: 1 - avaliar a evapotranspiração potencial e calcular o coeficiente da cultura de dois genótipos de arroz de terras altas, um caracterizado como moderno e outro, como tradicional, numa tentativa de verificar diferenças na tolerância à seca; 2 - com a mesma intensão, avaliar a relação do coeficiente da cultura dos genótipos com seus respectivos índices de área foliar; 3 - avaliar o efeito da deficiência hídrica em características morfológicas e bioquímicas dos genótipos; 4 - e avaliar o efeito da deficiência hídrica com posterior reidratação nas características produtivas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A importância do arroz

O arroz é cultivado em vários locais do planeta, sendo encontrado desde a latitude 50 Norte até a latitude 40 Sul (YAN et al., 2010). Os países maiores produtores de arroz são, nesta ordem, China, Índia, Indonésia, Vietnã, Tailândia, Bangladesh, Myanmar, Filipinas, Brasil e Japão, sendo, portanto, a China e a Índia juntas responsáveis por quase metade do arroz total produzido no mundo. No Brasil, o arroz é o terceiro cereal mais produzido, atrás somente da soja e do milho e teve, em 2013, produção total de 11.758.873 toneladas (IBGE, 2014). Porém, mais de 90% de todo arroz do mundo é cultivado e consumido na Ásia, local onde 60% da população mundial vivem (KHUSH, 2005).

Evidências arqueológicas indicam que o arroz está presente na vida do homem há pelo menos 8.000 anos a. C. e, desde então, vem acompanhando-o nas atividades agrícolas (SWEENEY; MCCOUCH, 2007). Atualmente é uma importante fonte de renda para aproximadamente dois milhões de agricultores (ZOLIN; ANDREOSSO-O'CALLAGHAN, 2012). Em 2010, o arroz gerou como produção líquida mundial um valor de 174.746.524 mil dólares. No Brasil, para este mesmo ano, a renda líquida foi de 3.089.811 mil dólares (FAOSTAT, 2012).

O arroz é cultivado no Brasil por grandes e pequenos produtores em todos os estados da federação, abrange dois grandes sistemas de produção: o de terras altas ou de sequeiro, com ou sem irrigação suplementar; e o de várzeas, neste, estando representadas as áreas de arroz irrigado por inundação controlada, em várzeas sistematizadas ou em várzeas não sistematizadas (PRABHU; FILIPPI, 2006). O estado que se destaca como maior produtor de arroz é o Rio Grande do Sul, o qual responde por mais de 50% da produção nacional. Já a outra metade corresponde aos estados de: Santa Catarina, Mato Grosso, Maranhão e Tocantins (CONAB, 2009).

O arroz destaca-se não somente por ser importante fonte de alimento para mais da metade da população mundial, mas também, por apresentar qualidade nutricional, auxiliando na manutenção da saúde, por ser excelente fonte de energia, proteínas, vitaminas e minerais. Em países que o arroz é o principal alimento da dieta, onde, o consumo encontra-se em torno de 715 kcal *per capita* por dia, ele é

responsável por fornecer, em média, 27% dos carboidratos, 20% das proteínas e 3% dos lipídios da alimentação (WALTER et al., 2008). É considerado como alimento mais importante para a segurança alimentar do mundo, pois além de fornecer um excelente balanceamento nutricional é uma cultura extremamente rústica, o que faz dela a espécie de maior potencial de aumento de produção para o combate da fome (BARATA, 2005).

2.1.1 O arroz de terras altas

Durante o processo evolutivo do arroz surgiram diversos genótipos que se adaptaram a diferentes condições do ambiente (GARRIS et al., 2005). Hoje, o arroz é encontrado em muitos locais do mundo, onde pode ser cultivado em ecossistema de várzeas, em sistema irrigado por inundação controlada ou em sistema de terras altas (GUIMARÃES et al., 2006).

O arroz cultivado sob o sistema de terras altas pertence ao grupo *japonica tropical* ou também conhecido como *javanica* (SWEENEY; MCCOUCH, 2007). Esse grupo foi primeiramente domesticado, provavelmente, em áreas montanhosas do Sudeste da Ásia, de onde foi distribuído, de forma antropogênica, para locais onde atualmente é mais cultivado, como o Brasil e alguns países africanos (KHUSH, 1997). No Brasil, desde meados da década de noventa, novas cultivares originadas de cruzamentos entre os grupos *indica* e *javanica* têm sido lançadas, no sentido de se obter plantas com melhor estatura e tipo de grão (PINHEIRO, 2006).

Existe um número amplo de genótipos de arroz de terras altas, que, em certo grau, apresentam variabilidade fenotípica (NASCIMENTO et al., 2011). Porém, boa parte das cultivares, principalmente as comerciais, são muito semelhantes em algumas características, devido aos programas de melhoramentos terem realizados seleções de forma convergente (SILVA et al., 2011). Este tipo de seleção, onde ocorre perda de características genéticas muitas vezes importantes, gera grandes problemas que tendem a se acentuarem, à medida que cada país vai se desenvolvendo (ISHIKAWA et al., 2002). No entanto, geralmente cultivares tradicionais ou também conhecidas como crioulas possuem maior diversidade genética e são, sem dúvida, importantes reservatórios de genes que podem ser úteis em programas de melhoramento genético (ZENG et al., 2007).

Com objetivos de conhecer a variabilidade genética usada e distribuída pelo Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), e identificar as razões porque parte dessa variabilidade genética é eliminada, Guimarães et. al., (1996) concluíram que, somente uma limitada quantia de variabilidade genética usadas em cruzamentos no CIAT é disponível para Programas Nacionais na região, e a alta intensidade de seleção visando características agronômicas como tipo de planta e resistência à brusone foi responsável pela eliminação anual de 17,6 a 69,0 % dos materiais segregantes nas gerações iniciais.

O arroz de terras altas (também conhecido como arroz de sequeiro) tem como principal característica ser dependente da água provinda da chuva, sendo, portanto, plantado na época mais chuvosa do ano (ISHIKAWA et al., 2002). No Brasil este sistema é responsável por 55% da área cultivada com arroz, porém sua produção corresponde a 25% da produção total brasileira. Resultado baixo quando comparado ao sistema do arroz irrigado, com 75% da produção total brasileira em 43% da área total cultivada com arroz no país (SANTOS; RABELLO, 2008).

A região central do Brasil é a mais importante no cultivo tradicional mecanizado de arroz de terras altas. Nesta região dos Cerrados, as propriedades agrícolas são caracterizadas por apresentarem áreas bastante extensas, em que o cultivo tradicional do arroz de terras altas vem sendo utilizado desde o início dos anos setenta, considerando o estímulo das políticas governamentais para a produção de alimentos (FORNASIERI FILHO; FORNASIERI, 2006; GUIMARÃES et al., 2006).

No ecossistema Cerrado, durante a estação chuvosa é muito comum a ocorrência do fenômeno denominado 'veranico', caracterizado pela ausência temporária de chuvas dentro do período chuvoso (SETTE, 2005). O arroz de terras altas, pelo fato de na maioria das vezes ser conduzido sem irrigação suplementar, pois, em grande parte é cultivado apenas para subsistência por pequenos agricultores que aplicam poucos recursos na cultura (RABELLO et al., 2008; BORBA et al., 2009), tem como uns dos principais fatores abióticos limitantes de sua produtividade a deficiência hídrica (HEINEMANN et al., 2008). A deficiência hídrica proporcionada pelos veranicos pode desencadear uma série de problemas metabólicos e fisiológicos, como aumento da temperatura interna da planta e deficiências nutricionais, acarretando perdas na produtividade (WU et al., 2011).

Pouco progresso se tem conseguido em programas de melhoramento genético quando se tem em foco a resistência à seca, uma vez que, características relacionadas possuem base genética complexa, dominada por vários genes (BERNIER et al., 2008). Portanto, a identificação de genótipos com características de tolerância à seca, muitos desses podendo ser tradicionais, pois, são decorrentes em maior parte da seleção natural proporcionada pelo ambiente, é de fundamental importância em programas de melhoramento genético que visam à produção de cultivares tolerantes a períodos de deficiência hídrica.

2.2 Relações água-solo-planta-atmosfera

A importância de se estudar as relações entre a água, o solo, as plantas e a atmosfera, se deve à diversidade de funções bioquímicas, fisiológicas e ecológicas que a mesma exerce sobre o meio e sobre as plantas. A água presente no solo se movimenta por meio de difusão para o interior da planta, e da planta para a atmosfera, num processo contínuo solo-planta-atmosfera. Em estado líquido, a água entra pelas raízes da planta e se desloca pelo seu interior até chegar à superfície da folha, onde é liberada à atmosfera por meio de aberturas microscópicas presentes nas folhas chamadas de estômatos. Nesse momento, a água se vaporiza passando para o estado gasoso (WILLIAMS et al., 1996).

A água serve como veículo de transporte de nutrientes do solo para as plantas, as quais os extraem para o seu desenvolvimento. O movimento de difusão da água do solo para as raízes da planta se dá, pelo fato, do solo apresentar maior potencial hídrico do que a planta, ou seja, a água sai do local em que se encontra com maior quantidade para o local com menor quantidade (JACKSON et al., 2000). Portanto, a planta somente pode retirar água do solo se suas raízes mais finas apresentarem um valor de potencial hídrico menor que o do solo em contato com a rizosfera (região de abrangência das raízes) (LARCHER, 2000). Geralmente, as raízes apresentam valores de potencial hídrico mais negativos em relação ao solo com que mantém contato (alguns décimos de MPa-Mega Pascal), mas é o suficiente para retirar a maior parte da água capilar do solo (LARCHER, 2004).

O movimento da água da planta para a atmosfera também ocorre devido à diferença de potencial hídrico. Com a perda de água para a atmosfera, ocorre uma

redução do potencial hídrico da planta, que se torna mais negativo que o solo, criando um gradiente que forma um fluxo de água do solo para as raízes, das raízes para as folhas e das folhas para a atmosfera (PIMENTA, 2004).

A perda de água em forma de vapor da planta para a atmosfera é chamada de transpiração (MEINZER, 2002). A transpiração faz com que a planta perca juntamente com a água energia na forma de calor (KLAR, 1991). O calor é gerado por processos metabólicos no interior da planta, e a passagem da água pelos seus tecidos faz com que essa energia seja dissipada para a água e da água para fora da planta. Esta liberação de calor para atmosfera, que se dá juntamente com a liberação de água, possibilita, o interior da planta, manter temperatura ideal para o funcionamento do metabolismo celular, o qual é responsável por processos que levam ao crescimento e desenvolvimento da planta (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Para entender o transporte da água através do solo, células das plantas, atmosfera, etc., é necessário medir a energia livre da água em relação à sua quantidade unitária (1 mol). A quantidade de energia livre por mol é conhecida como Energia Livre Molal Parcial de Gibbs (Gw), podendo ser referido como potencial químico da água (μ_w), ou mesmo, potencial hídrico, representado pela letra grega psi (Ψ). O potencial hídrico (Ψ_w) é o potencial químico da água (μ_w) no sistema, comparado com o potencial químico da água pura (μ^0_w), sob pressão atmosférica e mesma temperatura, sendo o resultado expresso em unidade de pressão (PIMENTA, 2004). Para definir o estado de energia da água em determinado ponto do solo, é necessário considerar vários componentes de força como gravitacional, de pressão, osmótica, matricial, etc., e fazer um somatório desses. Não considerando forças externas atuando sobre o meio, a água pura, sem sais e sem partículas, tem seu potencial máximo igual à zero, pois não há forças negativas ou positivas atuando, sendo este valor, o potencial de referência da água (KLAR, 1991). No entanto, o potencial da água num sistema quase sempre é negativo (PIMENTA, 2004).

Quando o ar atmosférico está mais seco, seu potencial hídrico é reduzido, fazendo com que, a água presente nos tecidos foliares das plantas seja dissipada com mais velocidade para a atmosfera. A planta, dessa forma, aumenta a transpiração, aumentando também a demanda de água contida no solo. Se o conteúdo de água no solo não é repostado, este solo será desidratado até determinado ponto, em que, a planta não consegue mais absorver água. A habilidade dos

estômatos em controlar a taxa transpiratória, como também, a capacidade da planta reduzir a perda de água para a atmosfera é extremamente importante para sua sobrevivência em ambientes mais secos (MANZONI et al., 2013; TOGNETTI et al., 2009).

À medida que o solo perde água, seu potencial hídrico é reduzido. Com menor conteúdo de água no solo maior será a força exercida pelas plantas para sua absorção. A maior distribuição das raízes no solo, de forma a abranger maior volume, facilita a retirada de água dos colóides. Contudo um maior volume radicular é fundamental para a sobrevivência das plantas em solos mais secos (SCHNEIDER et al., 2010).

2.3 Evapotranspiração

Dos componentes do ciclo hidrológico, a evapotranspiração é um dos principais e se refere ao total de perda de água para a atmosfera, da superfície do solo e das plantas, pela combinação simultânea da evaporação com a transpiração (SEDIYAMA, 1998).

Quando se tem por objetivo planejar, dimensionar e manejar qualquer sistema de irrigação de forma correta, um dos principais parâmetros é a determinação da quantidade de água necessária para a cultura. Esta quantificação é realizada fazendo-se o balanço hídrico da camada do solo ocupada pelo sistema radicular da cultura, o qual tem, na evapotranspiração e na precipitação pluviométrica, seus principais componentes (BERNARDO, 1995).

O termo “Evapotranspiração” foi utilizado por Thornthwaite no início da década de 40, no intuito de expressar esta ocorrência simultânea dos processos de evaporação da água no solo e da transpiração das plantas (MENDONÇA et al., 2003). Ela é controlada pelo balanço de energia, pela demanda atmosférica e pelo suprimento de água do solo às plantas. Pereira et al., (1997), definem a evapotranspiração como um elemento climatológico fundamental, que corresponde ao processo oposto da chuva, também expressa em milímetros.

Com a finalidade de padronizar a evapotranspiração de comunidades vegetais, foram fixadas as condições nas quais sua medida deve ser feita. Definiu-se então, a evapotranspiração potencial de referência (ET_0) como sendo a quantidade de água evapotranspirada na unidade de tempo e de área, por uma cultura de baixo

porte (grama ou alfafa), verde, cobrindo totalmente o solo, de altura uniforme e sem deficiência de água (REICHARDT; TIMM, 2012).

A evapotranspiração pode ser determinada ou estimada de diferentes maneiras, podendo ser mensurada utilizando métodos diretos ou estimada por meio de informações climáticas (MIRANDA et al., 2001). No primeiro grupo, entre outros, estão incluídos os diferentes tipos de lisímetros e o balanço de água no solo; enquanto no segundo, estão enquadrados os métodos teóricos e empíricos, como os de Penman (1948), Thornthwaite (1948), Blaney e Criddle (1950), Jensen e Haise (1963), Priestley e Taylor (1972), Hargreaves (1977) e evaporímetros como o tanque “Classe A” (SENTELHAS, 2003), dentre outros.

Na ausência de medidas diretas, como as obtidas por meio dos lisímetros, a evapotranspiração pode ser estimada por medidas indiretas utilizando diferentes metodologias. Entretanto, os métodos mais empregados, quer pela simplicidade ou pelo grau de confiabilidade, são: Thornthwaite, Camargo, Hargreaves-Samani, Priestley-Taylor e Penman-Monteith (SENTELHAS, 2001).

Para a determinação da ET_0 utiliza-se o método de Penman-Monteith-FAO (PM-FAO), sendo este considerado internacionalmente o mais apropriado para a estimativa da ET_0 , adotado como padrão. Neste método a cultura de referência utilizada é uma cultura hipotética, cujas características se assemelham, à ET da grama. Isto permite que tais características (valores numéricos) mantenham-se como parâmetros constantes adotados no cálculo da ET_0 . Estes parâmetros, para a cultura hipotética, são: altura de 0,12 m, albedo igual a 0,23 e resistência da cultura ao transporte de vapor d'água igual a 69 s.m^{-1} . Logo, a ET_0 é um elemento indicativo da demanda hídrica das culturas de um determinado local e período (CARVALHO et al., 2011), sendo necessários dados de temperatura do ar, umidade relativa, radiação e velocidade do vento, diários, semanais, decenais ou mensais.

A máxima perda de água de uma cultura, em qualquer estágio de desenvolvimento em condições de nenhuma restrição de água é definida como evapotranspiração da cultura, denominadas como ET_c , quando existem ótimas condições de umidade e nutrientes no solo, de modo a permitir a produção potencial desta cultura no campo (CARVALHO et al., 2011).

A evapotranspiração varia de cultura para cultura como também nos diferentes estádios de desenvolvimento delas. Dentre estes fatores pode se considerar, em parte, à arquitetura foliar, as características das folhas, além da

duração do ciclo e época de plantio. Em projetos de irrigação, o conhecimento da ET_c é fundamental, pois ela representa a quantidade de água que deve ser repostada ao solo para manter o crescimento e desenvolvimento em condições ideais. Dentre as abordagens disponíveis para a estimativa do consumo de água pelas plantas, se destaca o uso de coeficientes de cultura (K_c) associados a estimativas da ET_0 (MENDONÇA et al., 2007). O coeficiente da cultura foi proposto inicialmente por Jensen em 1968, o qual é obtido pela razão entre ET_c e ET_0 , determinados experimentalmente. Os valores de k_c para diferentes culturas podem ser determinados pelo método de aproximação, utilizando o coeficiente da cultura (k_c) em função do seu estágio de desenvolvimento (estádio inicial, secundário ou de desenvolvimento vegetativo, intermediário ou de produção e final ou de maturação), de modo que se permita traçar um gráfico de variação do k_c ao longo do ciclo da cultura (BERNARDO et al., 2006; MANTOVANI et al., 2006).

Uma padronização dos valores de k_c é difícil, pois variam de acordo com o método de estimativa da ET_0 empregado (Penman-Monteith, Penman, Radiação Solar, Tanque Classe “A”, Hargreaves, Linacre, Thorntwaite, etc.); de acordo com as variedades ou cultivares, em função do tempo (alguns trabalhos apresentam valores de K_c obtidos em períodos médios de 5 dias, 10 dias, 15 dias ou mensal; outros em dias após o plantio ou dias após a semeadura) ou mesmo quando os ciclos fenológicos ou estádios de desenvolvimento para uma mesma cultura são apresentados de maneira diferenciada; alguns autores apresentam os valores de K_c em função dos ciclos fenológicos, conforme apresentado por Doorenbos e Kassam (1994) ou em estádios de desenvolvimento, como em Doorenbos e Pruitt (1977).

O coeficiente de cultura para o arroz pode variar durante seu ciclo. O desenvolvimento do arroz de terras altas pode ser dividido em quatro períodos: na emergência até o afilhamento o (K_c) se localiza em torno de 0,58. Do afilhamento até a emissão da panícula o (K_c) aumenta para 0,72. Da emissão da panícula até grão pastoso o (K_c) observado é de 1,34 e para a fase final grão pastoso à maturação fisiológica (K_c) diminui para 0,67 (STONE et al., 2006). Steinmetz(1986) apresentou valores do coeficiente de cultura (K_c) para o arroz de terras altas, de acordo com o desenvolvimento da cultura. Para a cultivar com ciclo de 130 dias, adotaram-se os seguintes valores: 0,70 (8-18 dias); 0,90 (18-40 dias); 1,24 (40-110 dias) e 0,90 (110-130 dias). Por outro lado, Reichardt (1987) observou que a necessidade de água para o arroz varia de 450-700 mm por ciclo, dependendo do

clima e cultivar, e que o coeficiente da cultura quando irrigada por inundação é 1 a 1,2 durante todo o ciclo e, em solos drenados, o K_c varia de 0,30-0,40 de 0 a 20 dias; de 0,70-0,80 de 20 a 50 dias; de 1,05-1,2 de 50 a 110 dias; de 0,65-0,70 de 110 a 160 dias e de 0,20-0,25 até a colheita.

2.4 Deficiência hídrica

As plantas durante seu ciclo de vida frequentemente passam por períodos de baixa disponibilidade hídrica no solo que reduzem o conteúdo de água de seus tecidos. A partir do momento que uma planta passa a absorver menor quantidade de água do que perder para o ambiente, e tendo assim, seu conteúdo relativo de água, potencial hídrico e turgor das células reduzidos, ela se encontra em deficiência hídrica (TEZARA et al., 1999).

A deficiência hídrica na natureza acontece quando ocorre o fenômeno seca. A seca é uma condição causada por um período de estiagem suficientemente prolongado que causa escassez de recursos hídricos e, possivelmente, danos nas plantas, causando estresse (BEARD, 1989). Os efeitos deletérios da seca variam em consequência da sua intensidade, frequência e estágio de desenvolvimento das plantas, ou seja, os prejuízos causados pela deficiência hídrica dependem da demanda específica em cada estágio fenológico e da disponibilidade da água no solo (RANGEL, 2008).

Do ponto de vista fisiológico, entende-se por estresse a resposta das plantas às diferentes situações, ou seja, é a flexibilidade de seu metabolismo que permite desenvolver respostas às mudanças ambientais (SHAO et al., 2008). O termo estresse também é definido como “desvio das condições ótimas para o crescimento, desenvolvimento e sobrevivência das plantas” (LARCHER, 2004).

A redução da fotossíntese é uma importante consequência do estresse hídrico, que ocorre devido ao decréscimo de ATP, de ribulosebifosfato e de abertura dos estômatos, correlacionado com menor assimilação de CO_2 (TEZARA et al., 1999). Sob condições de estresse hídrico, os estômatos diminuem sua abertura, sendo isso, em duas fases: a primeira quando ocorre perda de turgor das células guardas (responsáveis pela abertura e fechamento dos estômatos) devido à sua desidratação; e a segunda, quando a planta identifica menor disponibilidade de água no solo e, portanto, as raízes enviam sinais químicos para a parte aérea para reduzir

a abertura dos estômatos e, conseqüentemente, diminuir a perda de água (CHAVES et al., 2009).

Com a redução da abertura estomática, ocorre menor assimilação de CO₂, afetando a atividade fotossintética. O estresse hídrico também implica na atividade fotossintética, devido à redução da atividade da Ribulose-1,5-bifosfato carboxilase/oxigenase – Rubisco (enzima responsável pela assimilação de CO₂ na fase bioquímica da fotossíntese), devido à presença de inibidores de ligação (PARRY et al., 2002).

Além de ocasionar efeitos significativos na fotossíntese, o estresse hídrico também promove o aumento da temperatura interna da planta e deficiência nutricional (WU et al., 2011), devido, com baixa disponibilidade hídrica a planta perde menos calor através da transpiração (KLAR, 1991), e pelo fato, que é necessária a presença da água para absorção de nutrientes (SIMUNEKA; HOPMANS, 2009). Nas características morfológicas, o estresse hídrico promove efeitos como redução no comprimento e diâmetro do caule, na área foliar, no peso seco e fresco da parte aérea (SHAO et al., 2008).

O arroz é altamente dependente da oferta de água durante praticamente todo ciclo, maiores demandas são observadas no período reprodutivo da cultura, sendo considerado período crítico, compreende cerca de 55% de toda oferta de água à cultura (MEDEIROS et al., 2005). Nas fases iniciais do desenvolvimento, o estresse de seca pode causar retardamento da floração. Já na fase de diferenciação floral ou emborrachamento, pode aumentar o índice de esterilidade de espiguetas. A elevação das temperaturas nesta fase, também contribui para a redução na fertilidade, que, por ocorrência de distúrbios fisiológicos na formação dos grãos de pólen, torna-os estéreis, impossibilitando a fecundação e formação dos grãos (WADE et al., 1999). O arroz de terras altas possui demanda hídrica entre 450 a 700 mm durante todo ciclo, comportamento dependente do material e do solo a ser utilizado para o cultivo (RODRIGUES et al., 2004).

A escolha de cultivares estáveis e adaptados às condições edafoclimáticas proporcionam incrementos no rendimento da cultura. As cultivares de arroz apresentam diferenças na eficiência e demanda hídrica, sendo distintos na resposta fisiológica a estresses abióticos e o melhoramento genético visa desenvolver materiais mais tolerantes à deficiência hídrica, portanto é de suma importância

conhecer a fisiologia e as respostas destes materiais ao ambiente (MACHADO, 1996).

2.4.1 Respostas da planta ao estresse

As respostas das plantas ao estresse têm início após a sua percepção. As plantas percebem os sinais ambientais e os transmitem ao mecanismo celular para ativar respostas adaptativas (XIONG et al., 2002). As respostas da planta à deficiência hídrica são complexas, podendo envolver mudanças de características adaptativas ou deletérias, e sob condições de campo, estas respostas podem ser sinergicamente ou antagonicamente modificadas pela imposição de outros estresses (CHAVES et al., 2002).

Com a percepção do sinal ambiental, um caminho de transdução de sinal genérico se inicia, sendo seguidos pela geração de mensageiros secundários, que podem modular o nível de Ca^{+2} intracelular, muitas vezes, iniciando uma cascata de fosforilação de proteínas que resultam em proteínas alvos, estas diretamente envolvidas na proteção ou no controle de fatores de transcrição de grupos específicos de genes reguladores de estresse, e seus produtos podem participar na geração de moléculas regulatórias, como hormônios vegetais (ácido abscísico, etileno e ácido salicílico) (XIONG et al., 2002).

Muitos sensores são esperados para a aquisição dos diversos sinais de estresse, no entanto, nenhum sensor de estresse da planta tem sido bem confirmado (XIONG et al., 2002). O estresse hídrico induz influxo transitório de Ca^{+2} dentro da célula, indicando que canais responsáveis por esse influxo pode representar um tipo de sensor. O estresse hídrico, assim também como outros estresses, tipo por baixas temperaturas e por alta salinidade estimulam a acumulação de osmólitos compatíveis e antioxidantes, que no caso, em leveduras e em animais são produzidas por vias de proteína quinase mitógeno-ativada (MAPK), que são ativadas por sensores receptores como proteínas tirosina quinases, receptores acoplados de proteína-G e dois componentes histidina quinase (inequivocamente encontrada em plantas) (XIONG et al., 2002).

Sob condições de estresse, na planta, muitos genes são responsáveis pela resposta ao estresse. Genes induzidos sob baixas condições de água funcionam na proteção da célula à deficiência hídrica, produzindo, por exemplo, proteínas de

canais de água envolvidas na alteração do potencial hídrico celular, enzimas requeridas para a biossíntese de vários os protetores como açúcares, prolina e betaína, dentre outros diversos compostos de respostas ao estresse (SHINOZAKI; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, 1996).

Em consequência da deficiência hídrica e como resposta ao estresse, maiores níveis de ácido abscísico (ABA) são sintetizados, os quais promovem o fechamento dos estômatos, ou mesmo, redução de sua abertura, de forma a diminuir a perda de água por transpiração, mantendo os tecidos das plantas hidratados por um período maior de tempo. Porém, como resultado do fechamento estomático tem-se o aumento da temperatura interna da folha, que pode ser agravada conforme demais fatores ambientais como a intensidade da radiação solar nas folhas e o coeficiente de transferência de calor para o ar (HSIAO, 1973). O fechamento estomático, por sua vez, também pode induzir menor absorção de CO₂, gerando efeitos negativos sobre a taxa fotossintética e, conseqüentemente, reflexos indesejáveis sobre o vigor e a altura da planta, fertilidade do grão de pólen e produtividade, dentre outros (BOTA et al., 2004). A resistência da parede celular quanto à perda de água é um fator não estomático que pode reduzir a transpiração (HSIAO, 1973).

Ao longo de sua evolução, as plantas desenvolveram mecanismos de adaptação, possibilitando certas espécies a se adaptar em ambientes estressantes de seca, absorvendo água do solo em condições onde outras espécies não conseguiriam absorvê-la e utilizá-la de forma mais eficiente (TERRA, 2008). Para Nguyen et al., (1997), os mecanismos fisiológicos de tolerância à seca estão relacionados ao uso moderado da água pela planta, redução da área foliar, controle da perda de água pelas folhas e habilidade das raízes em explorar camadas mais profundas do solo.

Quanto à absorção mais eficiente de água, algumas espécies de plantas desenvolveram um sistema radicular bastante profundo e/ou denso, o que possibilita buscar água em regiões mais profundas do solo (LARCHER, 2000), como é o caso de muitas espécies da caatinga e do cerrado (TERRA, 2008). Outras, porém, conseguem sintetizar sais em suas raízes, criando potencial osmótico menor, aumentando, assim, a possibilidade de entrada de água. O comprimento da raiz, a densidade de raízes e o número das raízes grossas são parâmetros importantes para a utilização da água limitada a partir do solo. Aumento da relação raiz-caule

pode facilitar a manutenção do balanço hídrico sob condições de estresse (ZAMBORI et al., 2008).

Quanto ao controle de perda de água pelas folhas, o aumento da espessura da cutícula é uma das características, em que, na maioria das plantas, as células epidérmicas são cobertas por uma camada praticamente impermeável à água, denominada cutícula (FERRI, 1985). Quando a cutícula é espessa, a perda de água ocorre quase exclusivamente pelos estômatos. As plantas ao serem submetidas à deficiência hídrica podem tornar a cutícula mais espessa, reduzindo, assim, a perda de água para a atmosfera, o que pode ser reforçado pelo fechamento estomático devido à ação do fitormônio ácido abscísico (ABA) (TERRA, 2008).

A redução da área foliar também é uma característica importante no controle da perda de água. Com estresse de seca, o teor de água na planta diminui, resultando em menor pressão de turgor, e na subsequente maior concentração de solutos nas células, o que dificulta a perda de água, pois nesta condição existe um potencial osmótico menor. Esse ajuste osmótico nas células auxilia na manutenção do balanço hídrico na planta. As mesmas podem ainda promover a abscisão foliar, devido à síntese do fitormônio etileno, reduzindo a sua superfície transpirante (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Algumas espécies de plantas desenvolveram meios para estocar água, em órgãos como caules, raízes, bulbos e outros, e utilizá-la quando houver maior demanda na planta e deficiência hídrica no solo. Plantas com mecanismo fotossintético C4 e MAC apresentam melhor controle transpiratório, reduzindo, consideravelmente, a perda de água para a atmosfera (TAIZ; ZEIGER, 2004).

2.4.2 Respostas antioxidativas das plantas sob deficiência hídrica

O estresse promovido pelo ambiente representa o fator limitante mais importante para a produtividade vegetal e o rendimento das culturas. No que diz respeito ao estresse oxidativo, este estimula a biossíntese e aumenta a atividade de enzimas antioxidantes. Contudo, no início do estresse, pode haver redução de algumas atividades antioxidantes, contribuindo para um aumento de espécies reativas de oxigênio (EROs). Enzimas que protegem as células e compartimentos sub celulares vegetais dos efeitos citotóxicos das EROs influenciam diversas reações envolvidas na sinalização de defesa vegetal. Suas concentrações e

atividades relacionam-se a muitos processos fisiológicos envolvidos em mecanismos de sinalização celular na defesa vegetal ou no estresse oxidativo (SOARES; MACHADO, 2007), sendo crucial não só para compreender os processos metabólicos oxidação-redução das plantas como, também, as relações entre a homeostase celular e, o crescimento e desenvolvimento destas (FOYER; NOCTOR, 2009).

As EROs são formadas em etapas de redução univalente a partir do oxigênio molecular. O primeiro passo na redução de O_2 é produzir radicais de vida relativamente curta, os superóxidos. Estas incluem os radicais superóxido (O_2^-), peróxido de hidrogênio (H_2O_2), radical hidroxila (OH) e oxigênio "singlet" (1O_2). Sob condições normais, estes são gerados pelo metabolismo dos organismos aeróbicos, principalmente através da fotossíntese e respiração, porém mantidos em níveis basais através de sistemas antioxidantes de defesa (GRATÃO et al., 2005). Em condições adversas como seca, salinidade, alta temperatura, radiação ultravioleta, presença de metais pesados e patógenos a produção de EROs pode aumentar (POLLE, 2001). Quando esse aumento é maior que a capacidade antioxidante da célula, caracteriza-se o processo de estresse oxidativo (PANDHAIR; SEKHON, 2006).

O estresse oxidativo pode ativar a morte celular devido à peroxidação lipídica de membranas, oxidação de proteínas, inibição enzimática e danos ao DNA e RNA. Por outro lado, as EROs também podem agir como sinalizadoras em vários processos intrínsecos de crescimento e desenvolvimento adaptativos (PITZSCHKE et al., 2006), além de atuarem como mensageiros secundários envolvidos na ativação de genes de resposta ao estresse e rotas de defesa (KNIGHT; KNIGHT, 2001).

As proteínas são afetadas diretamente pela oxidação da cadeia de aminoácidos produzindo grupos carbonil na molécula protéica, as quais podem expor regiões hidrofóbicas, produzindo agregados (ROMERO-PUERTAS et al., 2002). Vários mecanismos são utilizados pelas plantas para desintoxicar a célula das EROs produzidas, interrompendo as cascatas de oxidação descontrolada (GRATÃO et al., 2005). Entre os principais mecanismos temos a síntese de compostos antioxidantes não-enzimáticos e enzimáticos, cujo aumento da atividade sob condição de déficit hídrico já foi demonstrado para diversas culturas como feijão (TÜRKAN et al., 2005), arroz (GUO et al., 2006), milho (KELLOS et al., 2008), entre

outras. O mecanismo antioxidante enzimático inclui as enzimas superóxido dismutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX), glutathione redutase (GR), guaiacol peroxidase (GPOX), catalase (CAT), entre outras.

Em relação às duas principais enzimas APX e GR já foram demonstrados que a atividade destas enzimas é aumentada durante o estresse hídrico em plantas de arroz (SHARMA; DUBEY, 2005). Na literatura há relatos de produção de plantas transgênicas tolerantes ao estresse abiótico com superexpressão de diferentes SODs. Plantas de arroz transgênicas com superexpressão de OsMT1a demonstraram tolerância à seca reforçada (YANG et al., 2009). Os protoplastos com a superexpressão Mn-SOD demonstraram menos danos oxidativos, maior teor de H_2O_2 e aumento significativo nas atividades da SOD e GR sob o stress fotooxidativo (MELCHIORRE et al., 2009). Chakraborty & Pradhan (2012) observaram que a acumulação de H_2O_2 diminuiu durante o estresse hídrico prolongado em variedades de trigo.

Em folhas da planta de arroz, stress salino preferencialmente sabe-se que, há um aumento do teor de H_2O_2 , bem como as atividades das enzimas SOD, APX, e a GPOX, que é induzida com a redução de atividade da catalase. Por outro lado, o estresse salino tem pouco efeito sob os níveis de atividade de GR (LEE et al., 2001). Shah et al., (2001) observaram que o aumento no nível de Cádmio em plântulas de arroz levou ao aumento acentuado da atividade da SOD e da atividade da peroxidase. Ainda sobre estresse salino, Vaidyanathan et al., (2003) estudando o efeito do estresse salino em duas cultivares de arroz, tolerante e resistente, observaram que na cultivar tolerante “PK” houve uma maior atividade da enzima CAT e aumento nos níveis de antioxidantes como o ácido ascórbico e glutathione, quando comparado com a cultivar sensível. O nível de SOD foi menor na cultivar tolerante, que apresentou uma menor extensão de danos da membrana (peroxidação lipídica) e menores níveis de H_2O_2 do que a cultivar sensível. Os altos níveis de atividade da enzima catalase indicam limpeza eficiente de H_2O_2 , o qual é mais produzido por meios não enzimáticos do que através da SOD na cultivar tolerante.

A peroxidação lipídica e oxidação de proteínas são constantemente utilizadas como indicadores de estresse oxidativo. A peroxidação lipídica caracteriza-se pelo ataque aos ácidos graxos, ou a um lado específico da cadeia, por qualquer substância química que tenha reatividade suficiente para abstrair um H^+ da cadeia

do ácido graxo, sendo os ácidos graxos poliinsaturados mais sensíveis a peroxidação (HALLIWELL; GUTTERIDGE, 1999). Esta afeta severamente a funcionalidade e integridade celular e pode produzir danos irreversíveis à célula, resultado do aumento na permeabilidade da membrana plasmática, que provoca o extravasamento de íons K^+ e outros solutos (CHAOUI et al., 1997), enquanto que os danos às membranas intracelulares podem afetar a atividade respiratória nas mitocôndrias e a fotossíntese nos cloroplastos (SCANDALIOS, 2005).

O conteúdo de malondialdeído (MDA) produzido pela peroxidação lipídica da membrana celular é frequentemente utilizado como um indicador de estresse e de danos oxidativos (MANDHANIA et al., 2006). Chutipaijit et al., (2012) observou um aumento de MDA nas folhas de arroz quando as plantas foram submetidas a estresse hídrico. Li et al., (2011) também observou aumento de MDA em plântulas de arroz quando submetidas ao estresse hídrico.

O aumento do nível de peroxidação lipídica em plantas submetidas ao estresse hídrico também foi observado em espécies do gênero *Avena*. Neste estudo, Pandey et al., (2010) observaram ainda que taxa de aumento da peroxidação lipídica ocorre independentemente do estágio da planta. Espécies de *Avena* que mostraram alto nível de conteúdo MDA, indica maior peroxidação lipídica e mais permeabilidade da membrana e são comparativamente mais suscetíveis ao déficit hídrico do que aqueles que produzem menos conteúdo de MDA, em maior magnitude do estresse hídrico dessas espécies têm melhor capacidade de estresse hídrico tolerância.

O nível de MDA nas raízes de duas cultivares de arroz submetido ao estresse salino foi observado por Demiral and Türka (2005), neste estudo eles observaram um aumento do nível de MDA nas raízes da cultivar sensível (IR-28), mas não se observou nenhuma mudança na cultivar resistente (Pokkali). Vários trabalhos reportam resultados semelhantes (DIONISIO-SESE; TOBITA, 1998; MORADI; ISMAIL, 2007).

Estresses abióticos são muitas vezes os principais impedimentos para o crescimento de plantas e a produção das culturas (JENKS; HASEGAWA, 2006). A adaptação e a aclimação das plantas ao estresse ambiental resultam de eventos integrados que ocorrem em vários níveis de organização, incluindo o celular, o bioquímico e o molecular (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Acredita-se que as enzimas do sistema antioxidativo estejam envolvidas com os principais mecanismos de tolerância das plantas a estresses ambientais. Por isso,

a ação das enzimas antioxidantes é de grande importância para evitar danos a nível celular. Plantas tolerantes possuem a capacidade de reduzir a produção de EROs, ou aumentar a desintoxicação ou reparação de danos provocados pelas EROs. Quando a geração de EROs ultrapassa a capacidade de eliminação das mesmas mediante as defesas celulares envolvidas, então ocorre o estresse oxidativo (MEHDY et al., 1996), podendo inclusive levar a célula à morte (BUCHANAN et al., 2000).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental e condução dos experimentos

a) Área experimental

Três experimentos foram conduzidos no ano de 2013, em casa de vegetação coberta com plástico transparente anti-UV, na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Esalq/USP, localizada no município de Piracicaba - SP, à 22°43' de latitude sul e 47°38' de longitude oeste, e altitude aproximada de 547 metros. O clima do município é classificado como subtropical úmido com estiagem no verão (Cwa). Os dados climáticos de temperatura e umidade relativa do ar coletados na área experimental por termo-higrômetro digital são demonstrados na Figura 1.

Figura 1 - Umidade relativa média do ar (UR méd, %), temperatura máxima (T máx, °C) e temperatura mínima (T mín, °C) durante os dias de condução do experimento (DATA)

b) Genótipos de arroz de terras altas utilizados, semeadura e transplante

Para o experimento foram utilizados dois genótipos de arroz de terras altas: ‘Batatais’, arroz tradicional, e ‘BRS-Primavera’, arroz moderno (Tabela 1). O arroz ‘Batatais’ foi semeado no dia 21 e o arroz ‘BRS-Primavera’ no dia 23 de dezembro

de 2012, em bandejas de isopor contendo substrato agrícola comercial, e ambos transplantados no dia 04 de janeiro de 2013, em vasos contendo 9 kg de solo seco, com volume de 6.221 cm³ e área superficial de 615,7 cm². Os genótipos foram semeados em datas diferentes para que os mesmos germinassem em data aproximada e tivessem tamanho semelhante na época do transplante.

Tabela 1 - Descrições das características dos genótipos de arroz de terras altas, Batatais e BRS-Primavera

CARACTERÍSTICAS	BATATAIS	BRS-PRIMAVERA
DIAS ATÉ O FLORESCIMENTO	58 - 115	64 - 84
ALTURA (cm)	57 - 131	88 - 124
ANO DE LANÇAMENTO	-	1997
ANO DE COLETA	1995	-
GENITORES	-	IRAT10/LS85-158
Nº DE PERFILHOS/METRO	~ 117	~ 197
Nº DE PANÍCULAS/METRO	~ 104	~ 181
PRODUTIVIDADE (Kg ha ⁻¹)	555 - 6057	1090 - 5500
% INTEIROS	43 - 67	43 - 68
% PROTEÍNAS	7,19	7,93

Fonte: Embrapa Arroz e Feijão

c) Características do solo

As características físicas e químicas do solo utilizado nos vasos estão dispostos na tabela 2.

Tabela 2 - Análise física e química do solo utilizado no experimento

Areia	Argila	Silte	M.O.	pH (CaCl ₂)	P (Resina*)
	%		g.dm ⁻³		mg.dm ⁻³
87,0	10,6	2,4	6,0	5,0	4,0
K	Ca	Mg	H+Al	Al	V
			mmolc.dm ⁻³		%
1,0	6,0	3,0	18,0	0	36

M.O, matéria orgânica; V, saturação de bases. *Método resina trocadora de íons (AMER et al., 1955).

d) Adubação, calagem, controle de pragas e plantas daninhas

A calagem foi realizada de acordo com o resultado da análise de solo, utilizando o método de saturação de bases, conforme equação:

$$NC = T * \left(\frac{Ve - Va}{100} \right)$$

Onde: NC= necessidade de calagem (t.ha⁻¹), T= Capacidade de troca catiônica total (mmolc.dm⁻³), Ve= Saturação de bases desejada (%) e Va= Saturação de bases real do solo (%).

A quantidade de calcário calculada é indicada para um hectare incorporada à profundidade de 0,2m, portanto, sabendo-se o volume do solo do vaso, pôde-se calcular a quantidade indicada em g.vaso⁻¹, sendo então utilizados 1,8 g.vaso⁻¹ de calcário *filler*.

Para adubação de plantio foi utilizado 2,5 g.vaso⁻¹ do formulado NPK 28-08-16 + 2 g.vaso⁻¹ de Yoorin.

Para o controle de pragas foi utilizado Deltametrina 25CE, na dosagem de 40 ml para 100 L de água, aplicados em momento de ataque de lagartas.

O controle de plantas daninhas era feito manualmente à medida que as mesmas foram surgindo.

e) Manejo da irrigação

Nos vasos com solo seco adicionou-se água até serem saturados e começarem a drenar. A partir desse instante, esperou-se cessar o escoamento e, quando o peso de cada vaso se manteve constante, determinou-se a sua capacidade máxima de retenção de água do solo (capacidade de vaso), utilizando balança digital de duas casas decimais com precisão de 5 g.

Realizou-se diariamente a irrigação, com o uso de uma proveta graduada para repor, em volume, a quantidade de água perdida por evapotranspiração, que foi constatada através da diferença do peso na capacidade de vaso e o peso do vaso no dia. Ao longo do ciclo da cultura, seis vasos reservas, três de cada genótipo, foram coletados para obter o peso das plantas de arroz e corrigir a quantidade de água, pois, o peso da planta, ao longo do tempo, influenciava no peso de referência do vaso (capacidade de vaso), uma vez que, ao passo que as plantas foram crescendo, aumentava seu valor na relação do peso do solo seco + água + planta, o que reduzia a quantidade de água que devia ser repostada para manter o solo na capacidade de vaso.

Para atender aos objetivos, o estudo foi dividido em três experimentos distintos, sendo o primeiro com objetivo de avaliar as diferenças da evapotranspiração potencial da cultura, conduzida em vaso e em casa de vegetação (pois em campo, em estação chuvosa, torna-se difícil o controle da irrigação) dos genótipos escolhidos de arroz de terras altas, determinar seus coeficientes da cultura (K_c) e avaliar o coeficiente da cultura em função do índice de área foliar. O segundo experimento teve o objetivo de avaliar a influência da deficiência hídrica nas características morfológicas e bioquímicas dos genótipos e terceiro, teve como objetivo de avaliar as características de produção dos genótipos submetidos à deficiência hídrica com posterior reidratação.

3.2 Experimento 1: Evapotranspiração potencial da cultura (ET_c , mm.dia⁻¹) conduzida em vaso, coeficiente da cultura (K_c) dos genótipos de arroz de terras altas e relação $K_c \times IAF_{est}$ (índice de área foliar estimado).

a) Evapotranspiração potencial da cultura (ETc, mm.dia⁻¹):

Para avaliar a evapotranspiração da cultura, doze vasos delineados em blocos casualizados foram utilizados, sendo dois genótipos e seis repetições. Durante todo período de condução do experimento os vasos foram pesados diariamente pela manhã e quantificada a quantidade de água perdida para a atmosfera, pela diferença do peso na capacidade de vaso e o peso constatado no dia. A diferença de água convertida em volume (1 g de água = 1 ml) dividida pela área da superfície do solo no vaso, resultou na evapotranspiração da cultura em milímetros. Os valores de ETc foram corrigidos, descontando o peso diário das plantas, os quais foram estimados, a partir dos pesos reais dos vasos cultivados paralelos, constatados nos estádios (R2, R5 e R9) utilizando a equação:

$$MP_{est} = MF_1 + \left(\frac{MF_2 - MF_1}{D_2 - D_1} \right) * (d - D_1)$$

Onde: MP_{est}= massa fresca estimada da planta; MF₁= massa fresca inicial da planta (ou primeiro valor de massa da planta coletado, quando refere-se ao dia do transplante, a massa da planta foi considerado igual a zero, pois era insignificante em relação ao peso total do vaso e não quantificável pela balança, (que apresentava precisão de 5 g); MF₂= massa fresca final da planta (ou segundo valor coletado de massa fresca da planta); D₁= dia inicial do ciclo (ou dia da primeira coleta); D₂ = dia final do ciclo (ou dia da segunda coleta); e d = dia desejado do ciclo para a referida massa estimada da planta.

Dos dados de ETc diários corrigidos do peso das plantas, foram feitas médias semanais, para que um valor de ETc (mm.dia⁻¹) representasse cada semana, de forma a reduzir as variações e simplificar as análises. Portanto, no total do ciclo dos genótipos foram determinados doze valores de ETc, um para cada semana.

b) Evapotranspiração de referência (ET₀, mm.dia⁻¹):

A evapotranspiração de referência foi estimada utilizando dois métodos:

i. **Método de Thornthwaite (1948)**, através das equações:

$$ET_0 = 16 \left(10 \frac{T_n}{I} \right)^a \quad \text{para } 0 \leq T_n \leq 26^\circ\text{C}$$

$$ET_0 = -415,85 + 32,24T_n - 0,43T_n^2 \quad \text{para } T_n > 26^\circ\text{C}$$

T_n = Temperatura média do mês n ;

I = Índice que expressa o nível de calor disponível na região, calculado pela seguinte fórmula:

$$I = \sum_{n=1}^{12} (0,2T_n)^{1,514}$$

a = Índice térmico regional, função de I , calculado pela fórmula:

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1,7912 \cdot 10^{-2} I + 0,49239$$

O valor de ET_0 calculado por este método representa o total mensal de evapotranspiração em dias com fotoperíodo de 12 horas. Para se obter a ET_0 do dia correspondente de fotoperíodo N , esse valor de ET_0 foi corrigido dividindo o resultado pelo número real de dias do mês e multiplicado pelo fator de correção (cor):

$$cor = \frac{N}{12}$$

em que:

$$N = 2 \frac{h_n}{15}$$

h_n = Hora do nascer do sol:

$$h_n = \arccos[-\operatorname{tg} \phi \operatorname{tg} \delta]$$

Φ = Latitude

δ = Declinação solar:

$$\delta = 23,45 \operatorname{sen} \left[360 \frac{NDA - 80}{365} \right]$$

NDA= Número do dia juliano do dia em questão

Os resultados de ET_0 foram referentes à evapotranspiração diária. Destes valores foram feitas médias semanais, ou seja, um valor de ET_0 diário que representasse a semana.

ii. **Método de Hargreaves e Samani (1985)**, através da equação:

$$ET_0 = 0,0023 Q_0 (T_{max} - T_{min})^{0,5} (T_{med} + 17,8)$$

Q_0 = Irradiância solar extraterrestre, expressa em mm de evaporação equivalente.

$$Q_0 = 37,6 \left(\frac{d}{D} \right)^2 \left[\left(\frac{\pi}{180} \right) h_n \operatorname{sen} \phi \operatorname{sen} \delta + \cos \phi \cos \delta \operatorname{sen} h_n \right]$$

$$\left(\frac{d}{D} \right)^2 = 1 + 0,033 \cos \left(NDA \frac{360}{365} \right)$$

Os resultados são em mm.dia^{-1} . Da mesma forma do método de Thornthwaite, foi utilizado um valor médio de ET_0 diário para representar uma semana.

c) **Determinação do coeficiente da cultura (K_c)**

A partir dos valores médios obtidos da evapotranspiração da cultura (ET_c , mm.dia^{-1}) e a partir dos valores estimados da evapotranspiração de referência (ET_0 , mm.dia^{-1}), foi possível determinar o coeficiente da cultura (K_c). Foram calculados dois coeficientes da cultura para cada genótipo, um para cada método de estimativa da ET_0 utilizado, através da equação:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0}$$

d) Coeficiente da cultura (KC) x índice de área foliar estimado (IAF_{est})

Para avaliar o índice de área foliar (IAF) foram utilizados dados de seis plantas de cada genótipo cultivadas separadamente em três repetições, uma planta de cada repetição, em três estádios de desenvolvimento da cultura (R2, R5 e R9).

Determinou-se primeiramente a área foliar das plantas de arroz, usando o método dos discos foliares, em que, as plantas foram coletadas e nas folhas foram realizadas perfurações com perfurador em forma de disco com área conhecida. Os discos retirados das folhas foram levados para secagem em estufa por três dias a 70 °C e depois pesados em balança de precisão, com quatro casas decimais. Assim como os discos foliares, todas as folhas das plantas também foram levadas à secagem a 70 °C por três dias e depois pesadas em balança de precisão. A área foliar foi calculada através da equação:

$$\text{Área foliar (cm}^2\text{)} = \frac{\text{MSF} * \text{AD}}{\text{MSD}}$$

Onde: MSF = massa seca foliar total (g); AD= área do disco (cm²); MSD= massa seca do disco (g).

Posteriormente, com a relação entre a área foliar e a área da superfície do solo do vaso, calculou-se o índice de área foliar (IAF), para ter conhecimento da área total das folhas em relação à área do solo do vaso em que as mesmas estavam cobrindo:

$$\text{IAF} = \frac{\text{AF}}{\text{AS}}$$

Onde: AF = área foliar da planta de arroz (cm²); AS = área da superfície do solo do vaso (cm²).

Os valores de IAF calculados são dependentes da área superficial do vaso, que não, necessariamente, representa a área em que uma planta de arroz ocuparia no campo. Portanto, qualquer alteração na área do vaso, tem-se alteração nos

valores de IAF, o que impossibilita a comparação com IAF obtidos em campos. Porém, no atual experimento, tornou-se útil para comparar os genótipos avaliados.

Com o propósito de obter valores de índice de área foliar em cada dia do ciclo dos genótipos, os valores de IAF foram estimados a partir dos valores reais coletados dos três estádios referidos (R2, R5 e R9), para todos os dias do ciclo da cultura, determinando o primeiro dia (dia do transplante) como o dia 0 (zero) com IAF = 0 (zero), e supondo que o crescimento do IAF do dia 0 até a primeira data de coleta (estádio R2) ocorreu de forma linear, e de R2 até R5, e de R5 até R9, também ocorreu de forma linear, foi possível calcular o índice de área foliar estimado (IAF_{est}) através da seguinte equação:

$$IAF_{est} = IAF_1 + \left(\frac{IAF_2 - IAF_1}{D_2 - D_1} \right) * (d - D_1)$$

Onde: IAF_{est} = índice de área foliar estimado; IAF₁ = índice de área foliar inicial (ou primeiro valor de IAF coletado, no caso do dia 0, dia do transplante, o IAF₁ = 0); IAF₂ = índice de área foliar final (ou segundo valor de IAF coletado); D₁ = dia inicial do ciclo (dia do transplante ou dia da primeira coleta em R2); D₂ = dia final do ciclo (ou dia da coleta em R5, quando se deseja calcular o IAF para os dias entre R2 e R5, ou entre R5 e R9); e d = dia desejado do ciclo para o referido índice de área foliar estimado (IAF_{est}).

Os valores médios semanais do índice de área foliar estimados (IAF_{est}) de cada genótipo foram relacionados em função com os valores médios do coeficiente da cultura calculados (Kc₁, utilizando ET₀ estimada pelo método de Thornthwaite e Kc₂, utilizando ET₀ estimada pelo método de Hargreaves e Samani).

e) Análise estatística

Os dados de evapotranspiração potencial da cultura, coeficiente da cultura e coeficiente da cultura em função do índice de área foliar foram submetidos à análise de regressão.

3.3 Experimento 2: Deficiência hídrica nas características morfológicas e bioquímicas dos genótipos de arroz de terras altas em estágio reprodutivo

a) Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial 2x3, sendo dois genótipos de arroz de terras altas e três tratamentos, com cinco repetições, totalizando 30 vasos. Os tratamentos foram: AS - plantas dos genótipos coletadas para análises antes da suspensão da irrigação e início do período com deficiência hídrica; CD - tratamento com deficiência hídrica após três dias de suspensão da irrigação; e SD - tratamento sem deficiência, o qual foi mantido a irrigação durante os três dias em que a irrigação foi suspensa no tratamento CD.

b) Variáveis avaliadas

i. Área foliar (AF, cm²) – Determinada conforme metodologia empregada no experimento I.

i. Massa seca foliar (MSF, g) - Todas as folhas de cada planta, de cada genótipo, foram coletadas e colocadas para secar em estufa a 70 °C durante três dias, e após, pesadas em balança de precisão, determinando assim, a massa seca das folhas.

ii. Massa seca dos colmos (MSC, g) - Todos os colmos de cada planta, de cada genótipo, foram coletados e colocados para secar em estufa a 70 °C durante três dias, e após, pesadas em balança de precisão, determinando assim, a massa seca dos colmos.

iii. Massa seca da panícula (MSP, g) – As panículas das plantas foram coletadas e secadas em estufa a 70°C durante três dias e pesadas em balança de precisão.

iv. Massa seca radicular (MSR, g) - As raízes das plantas coletadas foram lavadas e secadas em estufa a 70 °C durante três dias e pesadas para determinar a massa seca das raízes.

v. Massa seca total (MST, g) - Determinada a partir da somatória de MSF, MSC, MSP e MSR.

vi. Conteúdo hídrico foliar (CHF, %) - A capacidade de acúmulo máximo e mínimo de água do mesmo tecido foi determinada através da relação entre a massa fresca, massa túrgida e massa seca de três pedaços de folhas, e seus valores dados em %. Cada pedaço foi cortado e imediatamente pesado em balança de precisão com quatro casas decimais para determinar a massa fresca em gramas (g). Após a pesagem, cada pedaço de tecido foliar foi acondicionado em recipientes plásticos fechados contendo 100 ml de água deionizada, onde ficaram embebidos por um período de 24 horas no escuro e a uma temperatura de 4°C. Após o período de embebição, cada pedaço de tecido foi pesado para determinação de sua massa túrgida. Após a determinação da massa túrgida, os pedaços de tecido foram levados para secagem em estufa a 70 °C por um período de três dias, para a determinação de sua massa seca. O conteúdo hídrico foliar (CHF) foi calculado através da equação:

$$CHF = \frac{(MMF - MMS)}{(MMT - MMS)} * 100$$

Onde: MMF = Média da massa fresca; MMT = Média da massa túrgida; MMS = Média da massa seca.

vii. Umidade volumétrica do solo (θ , cm³.cm⁻³)

A avaliação da umidade volumétrica do solo foi realizada através da pesagem dos vasos dos tratamentos SD e CD, descontando o peso do solo seco e o peso das plantas, quantificando assim somente o peso da água existente no vaso, considerando 1g = cm³. Após quantificados os volumes de água no vaso, fez-se a relação com o volume de solo, tendo assim, o volume de água por unidade de volume de solo (θ , cm³.cm⁻³).

c) Análises bioquímicas

1. Coleta das amostras

Das seis repetições existentes de todos os genótipos (em cada repetição havia uma planta), foram selecionadas aleatoriamente cinco repetições, e dessas coletadas duas folhas, logo abaixo da folha bandeira, por planta de cada genótipo de arroz de terras altas. As folhas foram enroladas em papel alumínio e imediatamente congeladas em nitrogênio líquido presente em uma caixa de isopor. Em seguida foram levadas para armazenagem em freezer com temperatura de -80°C.

2. Preparo das amostras para análises

As amostras foram retiradas do freezer e conservadas em caixa de isopor contendo nitrogênio líquido durante o preparo das mesmas.

As amostras foram maceradas em nitrogênio líquido até formar um pó homogêneo e colocadas em tubos Falcon, que imediatamente foram colocados no isopor contendo nitrogênio líquido.

Das amostras maceradas foram retiradas 0,2 g e colocadas em cadinho congelado, e misturados 10% de polivinil-polipirrolidona (PVPP) e 2 mL de ácido tricloroacético (TCA 0,1%). A mistura foi colocada em tubo eppendorf de 2 mL e levada para centrifugar, com rotação de 10.000 rpm, temperatura de 4°C, durante 10 min.

3. Peroxidação de lipídeos (MDA)

Após a centrifugação, para a extração de MDA (malondialdeído), retirou-se 250 µl do sobrenadante e adicionou-se em tubo rosca juntamente com 1 mL de solução de TCA 20% + TBA 0,5% (ácido tiobarbitúrico), posteriormente colocados em banho-maria a 95°C por 30 minutos. Após 30 minutos em banho-maria, a amostra foi colocada em cubeta plástica e deixada estabilizar por pelo menos 15 minutos à temperatura ambiente e protegida da luz. Juntamente com a amostra foi

preparada uma amostra branca (sem amostra vegetal) para referência, com 250 µl de água deionizada e 1 mL da solução TCA 20% + TBA 0,5%.

Após estabilizada as leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 535 e 600 nm e os resultados expressos em nmol de MDA.g⁻¹ de matéria fresca.

4. Peróxidos de hidrogênio (H₂O₂)

Em tubo eppendorf foi adicionado 200 µl do sobrenadante da mesma amostra utilizada para a extração de MDA, 800 µl de iodeto de potássio 1M e 200 µl de tampão de fosfato de potássio (0,1 M, pH 7,5), misturados por inversão e incubados no gelo por 1 hora, protegido da luz. Para a amostra branca, utilizou-se somente 800 µl de iodeto de potássio 1M e 200 µl de tampão de fosfato de potássio (0,1 M, pH 7,5), juntamente com 200 µl de água deionizada.

Após 1 hora retirou-se do gelo e deixou-se em temperatura ambiente por pelo menos 15 minutos ao abrigo da luz. Após 15 minutos, a mistura foi colocada em cubetas de quartzo e avaliadas em espectrofotômetro a 390 nm. Os resultados dados em µg de H₂O₂ por g de matéria fresca.

5. Extração e quantificação de proteínas

Para a extração de proteínas, nas amostras maceradas adicionou-se tampão de extração 100 mM fosfato de potássio (pH 7,5), contendo K₂HPO₄ (fosfato de potássio dibásico) e KH₂PO₄ (fosfato de potássio monobásico), 3 mM de DDT (ditiotretol) e 1 mM de EDTA (ácido etilenodiamino tetra-acético), na proporção 1:3 (peso da amostra/volume do tampão). Em seguida, a mistura foi centrifugada a 10.000 rpm, por 30 minutos a 4 °C. Por fim, coletou-se o sobrenadante e quantificou-se a concentração de proteína solúvel total foliar (mg.ml⁻¹) em espectrofotômetro a 595 nm, de acordo com a metodologia de Bradford (1976), utilizando albumina de soro bovino (BSA) como padrão.

d) Análise estatística

As variáveis avaliadas foram submetidas à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

3.4 Experimento 3: Deficiência hídrica aplicada em estágio reprodutivo, com posterior reidratação das plantas dos genótipos de arroz de terras altas.

a) Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, em esquema fatorial 2x2, sendo dois genótipos e dois tratamentos, com cinco repetições, totalizando 20 vasos. Os tratamentos foram os seguintes: CD - tratamento com deficiência hídrica após três dias de suspensão da irrigação iniciada em estágio reprodutivo (R5), seguido de reidratação e com a irrigação mantida até o final do ciclo; e SD - tratamento sem deficiência, o qual foi mantida a irrigação até o final do ciclo.

b) Variáveis avaliadas

i. **Área foliar (AF, cm²), massa seca foliar (MSF, g), massa seca do colmo (MSC, g), massa seca radicular (MSR, g):** Avaliadas conforme metodologia descrita anteriormente.

ii. **Altura de plantas (ALT, cm)** - As plantas de cada vaso de cada genótipo foram medidas com fita métrica, da base da planta rente ao solo ao topo da panícula.

iii. **Número de perfilhos por planta (Nº PERF)** - Foram contadas as perfilhações existentes de cada planta em cada vaso de cada genótipo.

iv. **Número de panículas por planta (Nº PAN)** - Foram contadas as panículas existentes de cada planta em cada vaso de cada genótipo.

v. **Peso de cem grãos (P100, g)** - Foram contados cem grãos cheios de cada planta de cada genótipo e pesados em balança de precisão com quatro casas decimais.

vi. **Número total de grãos cheios por planta (GC TOTAL)** - Foi contada a quantidade de grãos cheios existentes por planta de cada genótipo.

vii. Número de grãos cheios por panícula (GC/PAN) - O número total de grãos cheios por planta foi dividido pelo número de panículas por planta.

viii. Número total de grãos vazios por planta (GV TOTAL) - Foi contada a quantidade total de grãos vazios existentes por plantas de cada genótipo.

ix. Número total de grãos por planta (G TOTAL) - Obtido através do somatório de grãos cheios e vazios existentes por planta de cada genótipo.

x. Esterilidade das espiguetas (EST, %) - Obtida através da equação:

$$EST = \frac{GV \times 100}{GT}$$

Onde: GV= nº total de grãos vazios por planta; e GT= nº total de grãos por planta.

c) Análise estatística

As variáveis avaliadas foram submetidas à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento 1: Evapotranspiração potencial da cultura (ET_c , mm.dia⁻¹) conduzida em vaso, coeficiente da cultura (K_c) dos genótipos de arroz de terras altas e relação $K_c \times IAF_{est}$ (índice de área foliar estimado).

O ciclo do arroz Batatais e do arroz BRS-Primavera foi em torno de 90 dias, desde a emergência até a colheita. Ambos cultivares apresentaram semelhança no ciclo, com variação aproximada de dois dias, onde 'BRS-Primavera' foi mais rápido, porém, para padronização, esperou-se que a maioria das plantas de ambos cultivares estivessem na mesma fase fenológica, para que se realizassem a coleta para avaliações.

Aos 47 dias após o transplante (DAT) as plantas de ambos os cultivares encontravam-se em fase fenológica R2, que corresponde à formação do colar da folha bandeira e emborrachamento. Aos 66 DAT estavam em fase de enchimento de grãos (R5) e aos 84 DAT apresentavam os grãos maduros (R9) (COUNCE et al., 2000). Menezes et al., (2011) registrou para o arroz BRS-Primavera 60 dias após a emergência (DAE) para o florescimento (quando pelo menos 50% das panículas estão totalmente emergidas) e 93 DAE para o ponto de colheita, tempo aproximado ao registrado no atual estudo. Em experimento para caracterizar morfológicamente cultivares de arroz de terras altas, Bonow et al., (2006) observaram que o arroz BRS-Primavera apresentou 40 dias para a emissão da panícula. Os autores relataram que a alta temperatura no interior da casa de vegetação pode ter resultado no encurtamento do ciclo.

a) Evapotranspiração potencial (ET_c) e determinação do coeficiente da cultura (K_c)

Foram observados maiores valores de ET_c para o arroz Batatais, diferindo do arroz BRS-Primavera, na 8ª semana após o transplante (SAT) (Figura 4). A maior evapotranspiração de 'Batatais' pode estar relacionada com seu maior IAF, pois, em ambientes com condições sem limitação hídrica, quanto maior a área foliar, maior é

a superfície transpirante da planta e maior é a perda de água (DUCHEMIN et al., 2006; TYAGI et al., 2000).

O ponto máximo de evapotranspiração (ET_c) foi na nona semana após o transplante (SAT), com valores médios semanais de 10 mm.dia⁻¹ para 'Batatais' e 9,2 mm.dia⁻¹ para 'BRS-Primavera' (Figura 2). Chan e Cheong (2001) observaram evapotranspiração de até 12,4 mm.dia⁻¹ em plantas de arroz cultivadas em calhas plásticas dentro de estufa.

O modelo de regressão que melhor se adequou aos dados de ET_c foi o polinomial de terceiro grau, com R² de 88,72% para 'Batatais' e 86,29% para 'BRS Primavera', demonstrando leve decréscimo da 1ª até a 2ª semana após o transplante (SAT), aumento da 2ª até a 9ª SAT e a partir dessa, decréscimo até o final do ciclo da cultura. O maior valor de ET_c da 1ª SAT em comparação à 2ª SAT pode ser resultado da evaporação do solo por causa da maior exposição da sua superfície ao sol (LILLEY; FUKAI, 1994), que na 2ª SAT apresentava-se mais sombreada devido ao desenvolvimento da planta. A elevação da evapotranspiração da cultura a partir da 2ª SAT é devido ao desenvolvimento da planta e seu consequente acréscimo de índice de área foliar (IAF), que aumenta o consumo de água disponível no solo do vaso (ABDULLAHI et al., 2013; ALBERTO et al., 2011).

Figura 2 - Valores de médias semanais de evapotranspiração da cultura (ET_c , mm.dia^{-1}) de cultivares de arroz de terras altas, 'Batatais' (B) e 'BRS Primavera' (P), em função do tempo (t, semanas após o transplante)

Os valores estimados de Evapotranspiração de Referência (ET_0) apresentaram oscilações ao longo do tempo indicadas na Figura 3, que seguem as variações da temperatura. Os valores mais altos de ET_0 foram observados para o método de Hargreaves e Samani (1985), com médias variando de 4,7 a 7,5 mm.dia^{-1} . O método de Thornthwaite (1948) apresentou médias variando de 3,7 a 5,7 mm.dia^{-1} . Praveen et al., (2012) comparando vários métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, também observou maiores valores para o método de Hargreaves e Samani, quando comparado com os métodos de Priestly-Taylor, Penman-Monteith, Kimberly-Penman, e outros. Comparando equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na Bacia do Rio Jacupiranga, Borges e Mendingo (2007), também observaram maiores valores para o método de Hargreaves e Samani quando comparado com o método de Thornthwaite, como também, foi o método que melhor se correlacionou com o método de Penman-Monteith, com índice de confiança superior a 0,995, o que resultou no método melhor recomendado para a região na ausência de variáveis necessárias para uso do método de Penman-Monteith (FAO, 1991). Lu et al. (2005) registraram maiores valores de ET_0 para o método de Hargreaves e Samani e os menores valores para o

método de Thornthwaite na região sudeste dos Estados Unidos, porém, o método de Thornthwaite melhor se correlacionou com a evapotranspiração atual do referente estudo. A diferença existente entre os métodos pode ser devido à região a qual o método foi desenvolvido (LU et al., 2005).

O uso do método de Penman-Monteith (FAO, 1991), recomendado pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), foi impossibilitado neste trabalho devido à ausência de dados fundamentais à estimativa, como velocidade do vento e radiação solar líquida incidente no local.

Figura 3 - Valores de médias semanais da evapotranspiração de referência (ET_0 , mm.dia⁻¹) estimada pelos métodos de Thornthwaite (1948) (TH) e Hargreaves e Samani (1985) (HS), e temperatura média semanal (T, °C), ao longo do tempo (t, semanas após o transplante)

Após estimada ET_0 foi possível calcular o coeficiente de cultura (K_c). Devido à diferença entre cultivares na ET_c , o K_c foi calculado para cada cultivar, utilizando ET_0 estimada pelos dois métodos, Thornthwaite (1948) e Hargreaves e Samani (1985) (Figura 4). Os valores de K_c , em geral, procederam de acordo com a ET_c , apresentando seus menores valores nas primeiras semanas após o plantio (SAT) e seus maiores valores da 8ª à 11ª SAT. Para o arroz 'Batatais', os menores valores de K_c foram de 0,5 e 0,3 (2ª SAT) e os maiores de 2,0 e 1,6 (9ª SAT), para os métodos de Thornthwaite (1948) e Hargreaves e Samani (1985), respectivamente. No arroz BRS-Primavera, os menores valores de K_c foram de 0,5 e 0,3 e os maiores de 1,9 e 1,6, para os métodos de Thornthwaite (1948) (9ª e 10ª SAT) e Hargreaves e Samani (1985) (11ª SAT), respectivamente.

O modelo de regressão polinomial de terceiro grau foi o que melhor se adequou à distribuição dos valores de K_c ao longo do ciclo da cultura para ambos genótipos e métodos (Figura 4). O coeficiente de determinação (R^2) foi de 90,9% e 87,4% para 'Batatais' e 'BRS-Primavera', respectivamente, utilizando ET_0 estimado pelo método de Thornthwaite (1948) (Figura 4, 1), e de 92,08% e 87,77% para 'Batatais' e 'BRS-Primavera', respectivamente, utilizando ET_0 estimada pelo método de Hargreaves e Samani (1985). Benli et al., (2006) também adotou o modelo de terceiro grau que melhor se ajustou à disposição dos dados de coeficiente da cultura da alfafa.

Figura 4 - Valores médios semanais do coeficiente da cultura (K_c), de cultivares de arroz de terras altas, Batatais (B) e BRS-Primavera (P), utilizando evapotranspiração de referência estimada pelos métodos de Thornthwaite (1948) (gráfico 1), e Hargreaves e Samani (1985) (gráfico 2), em função do tempo (t , semanas após o transplante)

b) Coeficiente da cultura (K_c) em função do índice de área foliar estimado (IAF_{est})

A média dos valores observados de índice de área foliar foram: 5,9 para 'Batatais' e 4,4 para 'BRS-Primavera', em estágio R2 (47 dias após o transplante – DAT); 7,4 para 'Batatais' e 5,2 para 'BRS-Primavera', em estágio R5 (66 DAT); e 7,2 para 'Batatais' e 5,2 para 'BRS-Primavera', em estágio R9 (84 DAT). Em plantas de arroz o IAF varia conforme o genótipo. Guimarães et al., (2008) avaliando cultivares com divergência fenotípica observaram valores de IAF que variaram de 2,9 a 6 $m^2.m^{-2}$. Ying et al., (1998) observaram IAF de 5,7 a 8,2 $m^2.m^{-2}$, em ambiente tropical, e de 6,7 a 10,4 $m^2.m^{-2}$, em ambiente subtropical, para mesmos genótipos. Vale lembrar que o cálculo do IAF é dependente da área da superfície o qual a planta está disposta, portanto, qualquer alteração no tamanho da área da superfície do solo, há uma alteração no valor de IAF.

Os valores observados no atual experimento são maiores que os observados por Alvarez et al., (2012), onde os máximos valores de IAF, aos 83 dias após a emergência, foram de 5,8 $m^2.m^{-2}$, para o arroz tradicional Caiapó, e de 4,3 $m^2.m^{-2}$ de terreno para o arroz BRS-Primavera. O IAF também pode variar para uma mesma variedade conforme as condições do ambiente de cultivo. Avaliando o desempenho do IAF do arroz de terras altas IAC 47 em doze experimentos, Pinheiro e Guimarães (1990) observaram valores que variaram de 1,5 a 8,3. Elevado IAF resulta em elevada evapotranspiração (ALBERTO et al., 2011), porém, maior IAF não indica superioridade em produtividade. Analisando o crescimento e produtividade de cultivares de arroz de terras altas, Alvarez et al., (2012) constataram que a maior produtividade da cultura está relacionada mais com a fertilidade das espiguetas e massa de mil grãos, do que com o índice de área foliar. Além do mais, os autores também associaram à maior produtividade, a maior massa seca da panícula e a maior taxa de assimilação líquida.

A partir dos valores observados de IAF calculados os valores de IAF estimados, os quais foram relacionados com os valores de K_c . O modelo de regressão linear foi o que melhor se adequou aos valores de K_c em função do IAF estimados, tanto para o arroz Batatais e BRS-Primavera (Figura 5). Para 'Batatais' os valores de R^2 foram de 77,97% e 74,37% e para 'BRS-Primavera' foram de 85%

e 85,15%, utilizando como métodos de estimativa da ET_0 , Thornthwaite (1948) e Hargreaves e Samani (1985), respectivamente. Stone e Pereira (1994) também observaram relação linear entre K_c e IAF para cultivares de arroz de terras altas, com valores de R^2 variando de 0,91 a 0,99.

Figura 5 - Valores de médias semanais do coeficiente da cultura (K_c) calculado usando evapotranspiração de referência estimada pelos métodos de Thornthwaite (1948) (gráfico 1) e Hargreaves e Samani (1985) (gráfico 2), de cultivares de arroz de terras altas, Batatais (B) e BRS-Primavera (P), em função dos valores médios semanais de índice de área foliar estimados (IAF_{est})

Adotando índice de área foliar (IAF) baixo de 0,5 no modelo de regressão linear, o arroz BRS-Primavera apresentou Kc 8,77% e 8,51% maior que o Kc do genótipo 'Batatais', utilizando os métodos de estimativa da ET₀ Thornthwaite (1948) e Hargreaves e Samani (1985), respectivamente. Com IAF intermediário de 3,5, 'BRS-Primavera' apresentou Kc 10,38% e 12,02%, valor este maior que o observado para o 'Batatais', utilizando os métodos de Thornthwaite (1948) e Hargreaves e Samani (1985), respectivamente. Com IAF de 6,5, 'BRS-Primavera' apresentou Kc 10,83% e 12,79% maior que 'Batatais', utilizando os métodos de Thornthwaite (1948) e Hargreaves e Samani (1985), respectivamente. Estes resultados demonstram que, por unidade de índice de área foliar, o arroz 'BRS-Primavera' possui maior perda de água. A quantidade de água perdida pela planta para a atmosfera está relacionada com a densidade, tamanho, posição, abertura e fechamento dos estômatos (HETHERINGTON; WOODWARD, 2003). Avaliando a condutância estomática, densidade de estômatos e comprimento da célula-guarda do estômato em 64 acessos de arroz de um conjunto de germoplasma de uma coleção de pesquisa de diversidade de arroz e em três cultivares altamente produtivos, Ohsumi et al., (2007) relataram considerável variância entre o conjunto de germoplasma quanto à condutância estomática e comprimento dos estômatos, devido à diversidade de espécies e suas características individuais, porém, observaram que a condutância estomática foi maior nos cultivares altamente produtivos que nas demais variedades, pois apresentavam maior densidade estomática. Os autores também observaram que a densidade estomática não necessariamente se correlacionou com a condutância estomática, e que se correlacionou negativamente com o comprimento do estômato, em que, os cultivares altamente produtivos, que exibiram maior densidade estomática, possuíam os estômatos levemente menores que os demais cultivares.

As características dos estômatos podem estar relacionadas com a origem da cultivar. Em estudo com linhagens resultadas do cruzamento entre a variedade *Indica* IR72 e a variedade *Japonica tropical* IR69093-41-3-2-2, Laza et al., (2010) observaram que a variedade *Indica* aumentou a densidade de estômatos e a variedade *Japonica tropical* aumentou o tamanho dos estômatos nos seus derivados. Para a *Japonica tropical*, os autores observaram que a densidade estomática foi de 579 e 653 estômatos.mm⁻², e tamanho médio de 23,2 e 22,3 µm, para adaxial e abaxial respectivamente, e para *Indica*, 635 e 750 estômatos.mm⁻² e

tamanho médio de 22,2 e 21,2 μm , para adaxial e abaxial respectivamente. Comparando com outras espécies anuais, folhas de arroz possuem maior número de estômatos por área foliar que folhas de milho, que apresentam em torno de 70 e 100 estômatos. mm^{-2} na parte adaxial e abaxial, respectivamente (DRISCOLL et al., 2006), que folhas de trigo, que possuem cerca de 85 e 60 estômatos. mm^{-2} na parte adaxial e abaxial, respectivamente (MEHRI et al., 2009) e, que folhas de soja, em torno de 100 e 220 estômatos. mm^{-2} na parte adaxial e abaxial, respectivamente (BUTTERY et al., 1993).

Quanto à posição dos estômatos, a quantidade em folhas de arroz é similar tanto na superfície adaxial quanto na abaxial (OHSUMI et al., 2007). No entanto, a densidade de estômatos responde a fatores ambientais (ISHIMARU et al., 2001). Em estudos com concentrações de CO_2 no ambiente, Rowland-Bamford et al., (1990) constataram que em concentração de CO_2 de 330 $\mu\text{L.L}^{-1}$, a densidade encontrava-se em torno de 300 e 341 estômatos. mm^{-2} nas superfícies abaxial e adaxial, respectivamente, porém, em concentração alta de CO_2 (900 $\mu\text{L.L}^{-1}$), a quantidade de estômatos aumentou para próximo a 490 e 440 estômatos. mm^{-2} para as superfícies abaxial e adaxial, respectivamente. Portanto, plantas que são conduzidas em condições sem limitações hídricas podem apresentar maior densidade estomática que plantas que evoluíram em ambientes com instabilidade climática.

A menor perda de água por área de folha do arroz Batatais, pode ser devido este ser material oriundo de coletas realizadas em locais onde seu cultivo é realizado há diversos anos, passando por diversas variações climáticas e adquirindo tolerância de forma natural. Enquanto o arroz BRS-Primavera é material desenvolvido por programa de melhoramento genético, visando prioritariamente a produtividade e qualidade de grãos, sem passar por condições extremas do ambiente e sem limitação hídrica (ALVAREZ et al., 2012).

4.2 Experimento 2: Deficiência hídrica nas características morfológicas e bioquímicas dos genótipos de arroz de terras altas em estágio reprodutivo

a) Características morfológicas

A análise de variância evidenciou diferenças significativas existentes entre genótipos para as variáveis: área foliar (AF), massa seca foliar (MSF), massa seca do colmo (MSC), massa seca da panícula (MSP) e massa seca total (MST), e entre tratamentos para massa seca do colmo (MSC), massa seca radicular (MSR), massa seca da panícula (MSP) e massa seca total (MST) (Tabela 3).

Ocorreram diferenças significativas entre genótipos, nos tratamentos sem (SD) e com (CD) deficiência hídrica para as variáveis, área foliar (AF), massa seca foliar (MSF) e massa seca do colmo (MSC), em que o genótipo Batatais apresentou maior valor que o genótipo BRS-Primavera (Tabela 4). A menor AF em 'BRS-Primavera' foi por causa da senescência das folhas devido ao estresse hídrico. A maior MSF e MSC em 'Batatais' é devido à maior produção de fotoassimilados e acúmulo de matéria nas folhas e no colmo, mesmo com a redução da água disponível no solo. Entre os tratamentos, para AF e MSF não foram observadas diferenças em nenhum dos genótipos, enquanto, para MSC houve um decréscimo em seu valor no tratamento CD, diferindo significativamente em comparação ao tratamento antes da suspensão da irrigação (AS), porém não houve diferença do tratamento SD. Devido às plantas de arroz estarem em estágio reprodutivo, existe uma demanda, por parte da panícula, de fotoassimilados armazenados no colmo, que reduz a massa do colmo e aumenta a da panícula (FALQUETO et al., 2009). Tal atividade ocorreu para o genótipo BRS-Primavera em ambos tratamentos, SD e CD (o que explica a ausência de diferenças na MSC do tratamento SD e CD), no entanto, com a redução do conteúdo hídrico do solo, a translocação de fotoassimilados pode ter sido acentuada, diferenciando CD de AS.

Tabela 3 - Valores de quadrado médio (QM) da área foliar (AF), massa seca foliar (MSF), massa seca do colmo (MSC), massa seca radicular (MSR), massa seca da panícula (MSP), massa seca total (MST) e conteúdo hídrico foliar (CHF) dos genótipos de arroz de terras altas, Batatais e BRS-Primavera, nos tratamentos: antes da suspensão da irrigação (AS), sem deficiência hídrica (SD) e com deficiência hídrica (CD)

QM								
FV	GL	AF	MSF	MSC	MSR [#]	MSP	MST	CHF
GENÓTIPO	1	7,04x10 ⁶ **	104,57 **	691,10 **	0,0216	323,40 ***	442,75 *	0,0187
TRATAMENTO	2	1,4x10 ⁶	8,55	253,34 *	0,1646 **	57,44 *	1809,15 ***	0,0452
GENÓTIPO*TRAT	2	1,18x10 ⁶	14,4	2,03	0,0219	4,62	190,66	0,2734
BLOCO	4	1,98x10 ⁶	8,14	19,46	0,013	24,55	126,89	0,0845
RESÍDUO	20	7,56x10 ⁵	8,99	46,46	0,0215	10,75	95,6	0,0943
CV (%)		21,21	19,46	21,36	11,14	27,33	11,9	2,98

FV, fonte de variação; GL, grau de liberdade; * diferença significativa ($P \leq 0,05$); ** diferença significativa ($P \leq 0,01$); *** diferença significativa ($P \leq 0,001$). [#] análise estatística realizada com valores transformados por Log(10).

Tabela 4 - Valores médios de área foliar (AF, cm²), massa seca foliar (MSF, g), massa seca do colmo (MSC, g), massa seca radicular (MSR, g), massa seca da panícula (MSP, g), massa seca total (MST, g) e conteúdo hídrico foliar (CHF, %) de genótipos de arroz de terras altas, Batatais e BRS-Primavera, nos tratamentos: antes da suspensão da irrigação (ANTES), sem deficiência hídrica (SD) e com deficiência hídrica (CD) no estágio R5

GENÓTIPOS	TRAT	AF	MSF	MSC	MSR#	MSP	MST	CHF
BATATAIS	ANTES	4408,43 aA	16,40 aA	41,24 aA	27,64 aA	7,98 bA	93,28 aA	90,15 aA
PRIMAVERA	ANTES	4221,44 aA	15,43 aA	32,59 aA	30,43 aA	14,41 aA	95,68 aA	86,35 aA
BATATAIS	SD	4933,65 aA	18,45 aA	36,83 aA	24,50 aA	10,69 bA	90,49 aA	87,24 aA
PRIMAVERA	SD	3704,47 bA	13,49 bA	27,14 bAB	18,54 aAB	18,68 aA	77,86 aB	85,85 aA
BATATAIS	CD	4413,37 aA	16,98 aA	32,07 aA	17,70 aA	7,46 bA	74,22 aB	82,02 bA
PRIMAVERA	CD	2922,16 bA	11,70 bA	21,62 bB	15,32 aB	12,74 aA	61,39 bC	89,73 aA

Médias seguidas de mesma letra maiúscula e minúscula não diferem entre tratamentos e genótipos, respectivamente. # análise estatística realizada com valores transformados por Log(10).

Na massa seca radicular (MSR) não houve diferenças significativas entre os genótipos em nenhum dos tratamentos, porém, entre tratamentos, o genótipo BRS-Primavera apresentou menor valor no tratamento CD, que diferenciou significativamente do tratamento AS. Tal resultado pode ser devido à degradação de raízes após a suspensão da irrigação e o início da deficiência hídrica (PRICE et. al., 2002). Algumas plantas, quando em situação de deficiência hídrica, principalmente em fase reprodutiva, podem priorizar o fornecimento de fotoassimilados para órgãos de produção, reduzindo o suprimento das raízes, uma vez que, na ausência de água no solo, a função do sistema radicular fica limitada, e assim, a translocação de suas reservas, como também, a redução de água em seus tecidos promovem degeneração das raízes (SHAO et al., 2008).

Na massa seca da panícula (MSP), o genótipo BRS-Primavera apresentou maior valor que o genótipo Batatais, diferindo significativamente em todos os tratamentos. O maior valor de MSP do 'BRS-Primavera' pode ser em razão de sua maior capacidade produtiva.

Na massa seca total (MST), no tratamento com deficiência hídrica (CD), o genótipo Batatais teve maior valor, diferindo significativamente do BRS-Primavera. Entre os tratamentos, 'Batatais' apresentou menor valor de MST no tratamento CD, enquanto, 'BRS-Primavera' diferiu entre todos os tratamentos, apresentando maior valor no AS e menor valor no CD. No tratamento CD, quando comparado com 'Batatais' e com os demais tratamentos, o menor valor de MST em 'BRS-Primavera' é devido ao seu menor valor de MSF e MSC, como também à sua senescência de raízes quando submetido à deficiência hídrica. Asch et al., (2005) observaram redução na altura de planta, área foliar, massa seca total, massa seca de raiz e relação entre raiz e colmo que o arroz, quando submetido ao estresse hídrico em período reprodutivo.

Quanto ao conteúdo hídrico foliar (CHF), entre genótipos, 'BRS-Primavera' no tratamento CD, apresentou maior valor que 'Batatais', porém, entre os tratamentos não houve diferenças em nenhum dos genótipos. Apesar dos tratamentos não alterarem significativamente o CHF de nenhum dos genótipos, 'BRS-Primavera', no tratamento CD demonstrou ter maior quantidade de água nas folhas que 'Batatais', podendo isto ser devido ao fechamento dos estômatos, como também, de ajuste osmótico, que manteve elevada a quantidade de água nas células das folhas mais que 'Batatais' (BIANCH et al., 2005).

A análise de variância do volume de água no solo (θ , $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$) demonstra a existência de diferenças significativas entre genótipos e entre tratamentos (Tabela 5).

Tabela 5 -Valores de quadrado médio (QM) da análise de variância do volume de água no solo (θ , $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$) de genótipos de arroz de terras altas, Batatais e BRS-Primavera, nos tratamentos sem (SD) e com (CD) deficiência hídrica

FV	GL	QM
GENÓTIPO	1	0,0016 **
TRATAMENTO	1	0,1065 ***
GENÓTIPO*TRAT	1	0,0005
BLOCO	4	0,0001
RESÍDUO	12	0,0001
CV (%)		7,69

FV, fonte de variação; GL, grau de liberdade; ** diferença significativa ($P \leq 0,01$); *** diferença significativa ($P \leq 0,001$).

O tratamento sem deficiência hídrica (SD) apresentou maior umidade volumétrica no solo (θ , $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$) que o tratamento com deficiência (CD), para ambos os genótipos avaliados (Figura 6). Entre genótipos, no tratamento CD, 'BRS-Primavera' apresentou maior valor que 'Batatais', diferindo significativamente. Diferenças entre genótipos não foram observadas no tratamento SD.

Os menores valores de θ no tratamento com deficiência hídrica (CD) ocorreu em razão da suspensão da irrigação e do consumo de água pelas plantas de arroz, o que, de fato, reduziu a quantidade de água no solo. A diferença existente entre 'BRS-Primavera' e 'Batatais' é devido ao maior consumo de água promovido por 'Batatais' em relação à 'BRS-Primavera', demonstrando que, este último perdeu menos água, provavelmente por causa da sua menor área foliar, da sua degradação de raízes e do fechamento estomático, em consequência da deficiência hídrica, que diminuiu a evapotranspiração e, conseqüentemente, a absorção de água do solo (BERNIER et al., 2008; CHAVES et al., 2002).

Figura 6 - Valores médios do volume de água no solo (θ , cm³.cm⁻³) dos genótipos de arroz de terras altas, Batatais (B) e BRS-Primavera (P), nos tratamentos sem (SD) e com (CD) deficiência hídrica. Médias seguidas de mesma letra maiúscula e minúscula não diferem entre tratamentos e genótipos, respectivamente, ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

A capacidade do genótipo Batatais em manter maior consumo de água, mesmo em condição de limitação hídrica, pode ser resultado da manutenção do sistema radicular e conservação da superfície de contato da raiz com o solo (GOWDA et al., 2011). Como também, pode ser devido que 'Batatais' permanece por mais tempo com os estômatos abertos, assimilando CO₂ e em consequência perdendo água, enquanto, ao contrário, 'BRS-Primavera' em deficiência hídrica, fecha os estômatos, mantendo as células das folhas hidratadas por mais tempo, porém, limita a captura de CO₂, o que reduz, portanto, a fotossíntese. O resultado corrobora com o observado por Lorençoni (2013) onde, o genótipo Batatais sob deficiência hídrica (40 kPa) apresentou maior condutância estomática (trocas gasosas) que o genótipo BRS-Primavera, revelando que a deficiência hídrica não afetou a condutância estomática de 'Batatais', que manteve seus estômatos abertos, transpirando e assimilando CO₂ mesmo com menor disponibilidade hídrica, consequentemente, realizando fotossíntese.

b) Respostas bioquímicas

A análise de variância demonstra a existência de diferenças significativas entre genótipos para as variáveis peroxidação lipídica (MDA) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2), entre tratamentos para a variável quantificação de proteínas (PROT) e, na interação genótipo x tratamento, para a variável peróxido de hidrogênio (H_2O_2) (Tabela 6).

Tabela 6 - Valores de quadrado médio (QM) da análise de variância da peroxidação lipídica (MDA), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e quantificação de proteínas (PROT) dos genótipos de arroz de terras altas, Batatais (B) e BRS-Primavera (P) nos tratamentos: antes da suspensão da irrigação (AS), sem deficiência hídrica (SD) e com deficiência hídrica (CD)

FV	GL	QM		
		MDA	H_2O_2	PROT
GENÓTIPO	1	0,0235 *	15001,32 ***	0,0024
TRATAMENTO	2	0,0259 *	935,8	3,4105 ***
GEN * TRAT	2	0,0152	2879,45 **	0,4458
BLOCO	4	0,0071	54,02	0,1442
RESÍDUO	20	0,005	479,2	0,1488
CV (%)		14,84	27,53	14,32

FV, fonte de variação; GL, grau de liberdade; * diferença significativa ($P \leq 0,05$); ** diferença significativa ($P \leq 0,01$); *** diferença significativa ($P \leq 0,001$).

Na análise da peroxidação lipídica (MDA), nos tratamentos antes da suspensão da irrigação (AS) e sem deficiência hídrica (SD) ocorreram diferenças significativas entre os genótipos, onde 'Batatais' apresentou maior valor que 'BRS-Primavera' (Figura 7). Já no tratamento com deficiência hídrica (CD), não houve diferença entre os genótipos. O tratamento CD não influenciou em MDA no genótipo Batatais, no entanto, aumentou significativamente para o genótipo BRS-Primavera. O resultado demonstra que 'Batatais' em condições normais apresenta maior peroxidação lipídica que 'BRS-Primavera', porém, não sofre alteração quando submetido à deficiência hídrica, enquanto, 'BRS-Primavera', ao contrário, aumenta a peroxidação de lipídeos.

Figura 7 - Valores médios de peroxidação lipídica (MDA) dos genótipos de arroz de terras altas, Batatais (B) e BRS-Primavera (P) nos tratamentos: antes da suspensão da irrigação (AS), sem deficiência hídrica (SD) e com deficiência hídrica (CD). Médias seguidas de mesma letra maiúscula e minúscula não diferem entre tratamentos e genótipos, respectivamente, ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey

O aumento da peroxidação lipídica está relacionado com o aumento do estresse oxidativo da célula, que ocorre devido à quantidade de espécies reativas de oxigênio (EROs) ser superior à capacidade antioxidante da planta (PANDHAIR; SEKHON, 2006), causando a degradação das membranas e morte celular (PITZSCHKE et al., 2006).

Na análise do peróxido de hidrogênio (H_2O_2), o genótipo Batatais apresentou diferenças significativas do genótipo BRS-Primavera, com maior valor, nos tratamentos AS e SD, enquanto, no tratamento CD não foi observada diferença entre os genótipos (Figura 8). Os tratamentos não influenciaram nos valores de H_2O_2 em 'BRS-Primavera', porém, o tratamento CD apresentou menor quantidade de H_2O_2 em 'Batatais', quando comparado com o tratamento AS, no entanto, não diferiu do tratamento SD.

Figura 8 - Valores médios de peróxidos de hidrogênio (H_2O_2 - $\mu\text{g.g}^{-1}$ de matéria fresca) dos genótipos de arroz de terras altas, Batatais (B) e BRS-Primavera (P) nos tratamentos: antes da suspensão da irrigação (AS), sem deficiência hídrica (SD) e com deficiência hídrica (CD). Médias seguidas de mesma letra maiúscula e minúscula não diferem entre tratamentos e genótipos, respectivamente, ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey

Assim como na peroxidação lipídica, 'Batatais', sob condições normais, sem deficiência hídrica, também apresentou maiores valores de peróxidos de hidrogênio (H_2O_2), porém, seus valores são reduzidos com o tratamento CD, quando comparado ao tratamento AS. Apesar da ausência de diferenças estatística entre SD e CD, o tratamento CD tende a apresentar menor valor que o tratamento SD. A redução de H_2O_2 está relacionado ao aumento da atividade de enzimas que inibem a atividade de radicais livres que degradam as membranas celulares, evitando ou mesmo reduzindo danos às células das plantas (GUO et al., 2006).

O genótipo BRS-Primavera sofreu alterações na quantidade de H_2O_2 em função dos tratamentos, no entanto, sofreu aumento da peroxidação lipídica (MDA) quando submetido ao tratamento com deficiência hídrica (CD). Dessa forma, a degradação de membranas ocorridas em 'BRS-Primavera', ocasionadas pelo estresse hídrico, não foram decorrentes do radical livre H_2O_2 , mas, portanto, de outros radicais livres.

Figura 9 - Valores médios de proteínas (mg.mL⁻¹) dos genótipos de arroz de terras altas, Batatais (B) e BRS-Primavera (P) nos tratamentos: antes da suspensão da irrigação (AS), sem deficiência hídrica (SD) e com deficiência hídrica (CD). Médias seguidas de mesma letra maiúscula e minúscula não diferem entre tratamentos e genótipos, respectivamente, ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey

Não ocorreram diferenças significativas entre os genótipos, em nenhum dos tratamentos avaliados, quanto à quantidade de proteínas (Figura 9). Entre os tratamentos, para o genótipo Batatais, foi observado maior valor no tratamento CD, diferindo significativamente dos tratamentos AS e SD. O genótipo BRS-Primavera apresentou maior valor no tratamento CD, que diferenciou significativamente de AS, porém, não de SD.

O genótipo Batatais apresentou aumento na quantidade de proteínas quando submetido à deficiência hídrica, com consequente estabilidade na peroxidação lipídica e redução de peróxidos de hidrogênio. O aumento na produção de proteínas podem ter resultado no aumento de enzimas antioxidantes, que reagem, combatendo radicais livres como o H₂O₂, evitando assim, a degradação da membrana celular (GRATÃO et al., 2005).

4.3 Experimento 3: Deficiência hídrica aplicada em estágio reprodutivo, com posterior reidratação das plantas dos genótipos de arroz de terras altas.

A análise de variância demonstra diferenças significativas existentes entre genótipos nas variáveis: área foliar (AF), altura de planta (ALT), número de panículas por planta (Nº PAN) e número de perfilhos por planta (Nº PERF) (Tabela 7).

Não foram observadas diferenças significativas entre genótipos para as variáveis, massa seca do colmo (MSC), massa seca foliar (MSF), massa seca radicular (MSR) e número de panículas por planta (Nº PAN) (Tabela 8).

Tabela 7 - Valores do quadrado médio (QM) da análise de variância da massa seca do colmo (MSC), da massa seca foliar (MSF), da massa seca radicular (MSR), da área foliar (AF), da altura da planta (ALT), do número de panículas por planta (Nº PAN) e número de perfilhos por planta (Nº PERF) dos genótipos de arroz de terras altas, Batatais e BRS-Primavera, submetidos aos tratamentos com (CD) e sem (SD) deficiência hídrica

FV	GL	QM						
		MSC	MSF #	MSR #	AF	ALT	Nº PAN	Nº PERF
GENÓTIPO	1	38,19	0,072	0,013	10,23x10 ^{6**}	238,05 *	26,45 *	22,05 *
TRATAMENTO	1	35,21	0,014	0,079	2,59x10 ⁶	1,25	0,05	4,05
GENÓTIPO*TRAT	1	52,03	0,001	0,00002	1,54x10 ⁵	4,05	0,05	8,45
BLOCO	4	11,9	0,011	0,023	5,34x10 ⁶	85	23,8	11,82
RESÍDUO	12	30,61	0,02	0,032	7,89x10 ⁵	31,7	4,43	2,72
CV (%)		23,59	11,89	13,34	21,23	4,44	19,05	13,59

FV, fonte de variação; GL, grau de liberdade; * diferença significativa ($P \leq 0,05$); ** diferença significativa ($P \leq 0,01$). # análise estatística realizada com valores transformados por Log(10).

Tabela 8 - Valores médios* de massa seca do colmo (MSC, g), massa seca foliar (MSF, g), massa seca radicular (MSR, g), área foliar (AF, cm²), altura da planta (ALT, cm), número de panículas por planta (Nº PAN) e número de perfilho por planta (Nº PERF) dos genótipos de arroz de terras altas, Batatais e BRS-Primavera, submetidos aos tratamentos com (CD) e sem (SD) deficiência hídrica

GENÓTIPO	TRATAMENTO	MSC	MSF #	MSR #	AF	ALT	Nº PERF	Nº PAN
BATATAIS	SD	25,12 a A	16,75 a A	20,91 a A	4451,62 a A	130,40 a A	13,40 a A	12,20 a A
PRIMAVERA	SD	19,13 a A	12,96 a A	19,49 a A	3196,35 b A	122,60 b A	10,00 b A	9,80 a A
BATATAIS	CD	24,54 a A	19,80 a A	28,36 a A	5347,34 a A	130,00 a A	13,00 a A	12,20 a A
PRIMAVERA	CD	25,01 a A	15,65 a A	27,29 a A	3740,65 b A	124,00 a A	12,20 a A	10,00 a A

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula e minúscula não diferem entre tratamentos e genótipos, respectivamente. # análise estatística realizada com valores transformados por Log(10).

Na área foliar (AF) o genótipo Batatais apresentou maior valor, diferindo significativamente do genótipo BRS-Primavera. No número de perfilhos por planta (Nº PERF) e altura de planta (ALT), 'Batatais' apresentou maiores valores no tratamento sem deficiência hídrica (SD), diferindo significativamente de 'BRS-Primavera'. Apesar de não existir diferença significativa no número de perfilhos entre os tratamentos sem e com deficiência hídrica, 'BRS-Primavera' tende a apresentar menos perfilhos que 'Batatais'.

Entre tratamentos, não foram observadas diferenças significativas em nenhuma das variáveis (MSC, MSF, MSR, AF, ALT, Nº PERF e Nº PAN) para nenhum dos genótipos (Batatais e BRS-Primavera), demonstrando que o período de suspensão hídrica não afetou estas variáveis.

Nas características de produção dos grãos, a análise de variância revela diferenças existentes entre genótipos para as variáveis: peso de cem grãos (P100), número de grãos cheios por panícula (GC/PAN), número total de grãos vazios por planta (GV TOTAL), número total de grãos por planta (G TOTAL) e esterilidade das espiguetas (EST) e, entre tratamentos, para a variável esterilidade das espiguetas (EST) (Tabela 9).

O genótipo Batatais diferiu significativamente, com maior valor, do genótipo BRS-Primavera quanto ao peso de cem grãos (P100) tanto no tratamento sem (SD) como no tratamento com (CD) deficiência hídrica (Tabela 10). Cultivares modernos de arroz de terras altas são produtos de programas de melhoramento genético, que têm também como objetivo o formato do grão, longo e fino, para atender a demanda do mercado (SILVA et al., 2011), diferentemente de cultivares tradicionais, como no caso de 'Batatais', que apresenta grãos mais largos, o que possivelmente pode concentrar mais amidos resultando em maior massa por grão.

Tabela 9 - Valores do quadrado médio (QM) da análise de variância do peso de cem grãos (P100), do número de grãos cheios por panícula (GC/PAN), do número total de grãos vazios por planta (GV TOTAL), do número total de grãos por planta (G TOTAL) e da esterilidade das espiguetas (EST) dos genótipos de arroz de terras altas, Batatais e BRS-Primavera, submetidos aos tratamentos com (CD) e sem (SD) deficiência hídrica

QM						
FV	GL	P100	GC/PAN	GV TOTAL #	G TOTAL	EST
GENÓTIPO	1	2,79 **	10801,02 **	426,11 **	1,89x10 ^{6**}	10,65 **
TRATAMENTO	1	0,03	2500,29	109,06	30186,45	4,78 *
GENÓTIPO*TRAT	1	0,0005	2208,36	30,09	312,05	1,42
BLOCO	4	0,02	641,42	8,7	44810,8	0,47
RESÍDUO	12	0,01	691,86	23,88	1,27x10 ⁵	0,77
CV (%)		5,26	22,21	27,45	21,13	16,68

FV, fonte de variação; GL, grau de liberdade; * diferença significativa ($P \leq 0,05$); ** diferença significativa ($P \leq 0,01$). # análise estatística realizada com valores transformados por raiz quadrada.

Tabela 10 - Valores médios* de peso de cem grãos (P100, g), número de grãos cheios por panícula (GC/PAN), número total de grãos vazios da planta (GV TOTAL), número total de grãos da planta (G TOTAL) e esterilidade das espiguetas (EST, %) dos genótipos de arroz de terras altas, Batatais e BRS-Primavera, submetidos aos tratamentos com (CD) e sem (SD) deficiência hídrica

GENÓTIPO	TRATAMENTO	P100	GC/PAN	GV TOTAL #	G TOTAL	EST
BATATAIS	SD	3,01 a A	95,88 b A	146,40 b A	1340,40 b A	11,24 b A
PRIMAVERA	SD	2,26 b A	163,37 a A	372,20 a B	1964,00 a A	18,74 a B
BATATAIS	CD	2,92 a A	94,54 a A	212,6 b A	1426,00 b A	14,38 b A
PRIMAVERA	CD	2,17 b A	120,00 a B	714,40 a A	2033,80 a A	34,60 a A

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula e minúscula não diferem entre tratamentos e genótipos, respectivamente. # análise estatística realizada com valores transformados por raiz quadrada.

Quanto ao número de grãos cheios por panícula (GC/PAN), 'BRS-Primavera' apresentou maior quantidade que 'Batatais' no tratamento SD, porém, no tratamento CD não ocorreram diferenças entre os genótipos, demonstrando que, em condições sem deficiência hídrica, 'BRS-Primavera' é mais produtivo em quantidade de grãos, porém, em deficiência hídrica, não difere de 'Batatais'.

No número total de grãos vazios por planta (GV TOTAL) e esterilidade das espiguetas (EST) o genótipo BRS-Primavera apresentou maiores valores, diferindo significativamente do genótipo Batatais em ambos tratamentos, SD e CD. O tratamento CD aumentou GV TOTAL e EST do genótipo BRS-Primavera, diferindo significativamente do tratamento SD. Tais resultados revelam que o período de suspensão hídrica afetou as características produtivas do genótipo BRS-Primavera, enquanto não afetou as características produtivas do genótipo Batatais, evidenciando a maior tolerância desse genótipo, tradicional, ao déficit hídrico e a maior suscetibilidade do genótipo moderno BRS-Primavera. Heinemann e Stone (2009) também observaram redução do número de grãos por panícula e aumento na esterilidade das espiguetas no genótipo BRS-Primavera quando submetido à deficiência hídrica. Os autores também não observaram redução da massa de grãos em nenhum dos genótipos avaliados, justificando a não influência da deficiência hídrica nesta característica, pelo fato desta ser uma característica genética. Boonjung e Fukai (1996) também não observaram redução da massa de grãos em cultivares de arroz sob condição de deficiência hídrica.

No número total de grãos cheios por planta (GC TOTAL) não foram observadas diferenças significativas entre os genótipos e entre os tratamentos. O número total de grãos por planta (G TOTAL) não foi influenciado pelos tratamentos, no entanto, em ambos tratamentos, o genótipo BRS-Primavera apresentou maior quantidade que o genótipo Batatais, com diferença significativa.

A deficiência hídrica afetou o potencial produtivo do genótipo BRS-Primavera, aumentando a sua esterilidade de espiguetas (EST). Avaliando o efeito da deficiência hídrica em cultivares de arroz de terras altas, Heinemann e Stone (2009) observaram perda de rendimento produtivo para 'BRS-Primavera' de 85%, quando submetido à condição de estresse hídrico.

A consequência do período de deficiência hídrica nas características produtivas do genótipo BRS-Primavera pode estar relacionada com o aumento da peroxidação lipídica, por causa do aumento do estresse oxidativo causado por

espécies reativas de oxigênio (EROs) (CHAKRABORTY; PRADHAN, 2012), que provavelmente limitou as trocas gasosas das folhas, uma vez que, sob estresse as plantas fecharam os estômatos, reduzindo a assimilação de CO₂, prejudicando a fotossíntese, com consequentes perdas na produção (CHAVES et al., 2009).

5 CONCLUSÕES

Experimento 1:

O genótipo de arroz de terras altas Batatais apresentou maior evapotranspiração, na 8ª semana após o plantio, que o genótipo BRS-Primavera.

Devido à diferença existente na evapotranspiração potencial entre os genótipos foram calculados coeficientes da cultura (K_c) para cada genótipo de arroz de terras altas avaliado.

Conforme a relação do coeficiente da cultura e o índice de área foliar estimado, o genótipo BRS-Primavera apresentou maior evapotranspiração por índice de área foliar.

Experimento 2:

Tanto 'Batatais' quanto 'BRS-Primavera' apresentaram redução na massa seca total da planta devido à deficiência hídrica.

Durante o período de suspensão da irrigação, 'Batatais' perdeu mais água para a atmosfera que 'BRS-Primavera'.

A deficiência hídrica não afetou a peroxidação de lipídeos em 'Batatais', porém, aumentou em 'BRS-Primavera'.

A deficiência hídrica não influenciou na quantidade de peróxidos de hidrogênio em 'BRS-Primavera', porém tendeu a reduzi-la em 'Batatais'.

'Batatais' em condição de deficiência hídrica aumentou a síntese de proteínas em relação à condição sem deficiência hídrica.

Experimento 3:

A deficiência hídrica aumentou a esterilidade das espiguetas de 'BRS-Primavera' o que reduziu o número de grãos cheios por panícula, consequentemente limitando a produtividade.

Nas condições do experimento, com simulação de período de deficiência hídrica, pode-se concluir que 'Batatais' apresentou-se com maior tolerância à deficiência hídrica que 'BRS-Primavera'.

REFERÊNCIAS

- ABDULLAHI, A.S.; SOOM, M.A.M.; AHMAD, D.; SHARIFF, A.R.M. Characterization of rice (*Oryza sativa*) evapotranspiration using micro paddy lysimeter and class “A” pan in tropical environments. **Australian Journal of Crop Science**, Melbourne, v. 7, n. 5, p. 650-658, 2013.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56). Disponível em: < <http://www.fao.org/docrep/x0490e/x0490e00.htm> >. Acesso em: 19 ago. 2014.
- ALBERTO, M.C.R.; QUILTY, J.R.; BURESH, R.J.; WASSMANN, R.; HAIDAR, S.; CORREA JR, T.Q.; SANDRO, J.M. Actual evapotranspiration and dual crop coefficients for dry-seeded rice and hybrid maize grown with overhead sprinkler irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 136, p. 1–12, 2011.
- ALVAREZ, R.C.F.; CRUSCIOL, C.A.C.; NASCENTE, A.S. Análise de crescimento e produtividade de cultivares de arroz de terras altas dos tipos tradicional, intermediário e moderno. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 4, p. 397-406, out./dez. 2012.
- AMER, F.; BOULDIN, C.A.; BLACK, C.A.Q.; DUCKE, F.R. Characterization of soil phosphorus by anion exchange resin absorption and P32 equilibration. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.6, p.391-407, 1955.
- ANA (**AGÊNCIA NACIONAL DA ÁGUA**). Disponível em:< <http://cadastrocthidro.ana.gov.br/relatorioProjeto.php?&id=637&voltar=projetos&ord=rBy=&filtro=®s=10&bt=&bn=&pag=1> >. Acesso em: 20 abr. 2009.
- ASCH, F.; DINGKUHN, M.; SOW, A.; AUDEBERT, A. Drought-induced changes in rooting patterns and assimilate partitioning between root and shoot in upland rice. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 93, p. 223–236, 2005.
- BARATA, T.S. **Caracterização do consumo de arroz no Brasil: um estudo na Região Metropolitana de Porto Alegre**. 2005. 91p. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) - Faculdade de Agronomia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- BEARD, J.B. Turfgrass water stress: drought resistance components, physiological mechanisms, and species-genotype diversity. In: INTERNATIONAL TURFGRASS RESEARCH CONFERENCE, 6., 1989. Tokyo. **Proceedings...** Tokyo, July, 1989. p. 23-29,
- BENLI, B.; KODAL, S.; ILBEYI, A.; USTUN, H. Determination of evapotranspiration and basal crop coefficient of alfalfa with a weighing lysimeter. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 81, p. 358–370, 2006.
- BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 6 ed. Viçosa: UFV, 1995. 657p.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006. 625p.

BERNIER, J.; SERRAJ, R.; KUMAR, A.; VENUPRASAD, R.; IMPA, S.; GOWDA, R. P. V.; OANE, R.; SPANER, D.; ATLIN, G. The large-effect drought-resistance QTL *qt12.1* increases water uptake in upland rice. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 110, p. 139–146, 2008.

BLANEY, H.F.; CRIDDLE, W.D. **Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data**. Washington: USDA, 1950. 48p.

BONOW, S.; VON PINHO, E.V.R.; SOARES, A.A.; SIÉCOLA JÚNIOR, S.; Caracterização morfológica de cultivares de arroz visando à certificação da pureza varietal. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 3, p. 619-627, maio/jun., 2007.

BORBA, T.C.O.; MENDES, C.A.; GUIMARÃES, E.P.; BRUNES, T.O.; FONSECA, J.R.; BRONDANI, R.V.; BRONDANI, C. Genetic variability of Brazilian rice landraces determined by SSR markers. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.7, p.706-712, jul. 2009.

BORGES, A.C.; MENDIONDO, E.M. Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na Bacia do Rio Jacupiranga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.3, p.293–300, 2007.

BOTA, J.; MEDRANO, H.; FLEXAS, J. Is photosynthesis limited by decreased Rubisco activity and RuBP content under progressive water stress? **New Phytologist**, Oxford, v.162, p.671–681, 2004.

BOONJUNG, H.; FUKAI, S. Effects of soil water deficit at different growth stages on rice growth and yield under up land conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.48, p. 47-55, 1996.

BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, New York, v. 72, p. 248-254, 1976.

BUCHANAN, B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. **Biochemistry & Molecular Biology of Plants**. Ed. American Society of Plants Physiologists, 2000.1367p.

BUTTERY, B.R.; TAN, C.S.; BUZZELL, R.I.; GAYNOR, J.D.; MACTAVISH, D.C. Stomatal numbers of soybean and response to water stress. **Plant and Soil**, Crawley, v. 149, p. 283-288, 1993.

CABUSLAY, G.S.; ITO, S.; ALEJAR, A.A. Physiological evaluation of responses of rice (*Oryza sativa* L.) to water deficit. **Plant Science**, Limerick, v.163, p.815-827, 2002.

CARVALHO, L.C. de; RIOS, G.F.A.; MIRANDA, W.L.; CASTRO NETO, P. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 456-465, jul./set. 2011

CHAKRABORTY, U.; PRADHAN, B. Oxidative stress in five wheat varieties (*Triticum aestivum* L.) exposed to water stress and study of their antioxidant enzyme defense system, water stress responsive metabolites and H₂O₂ accumulation. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v. 24 n.2, p.117-130, 2012.

CHAN, C.S.; CHEONG, A.W. Seasonal weather effects on crop evapotranspiration and rice yield. **Journal of Tropical Agriculture and Food Science**, Kuala Lumpur, v. 29, n. 1, p. 77–92, 2001.

CHAOUI, A.; MAZHOUDI, S.; GHORBAL, M.H.; FERJANI, E.L. Cadmium and zinc induction of lipid peroxidation and effects on antioxidants enzyme activities in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Plant Science**, Amsterdam, v. 127, n. 2, p. 139-147, 1997.

CHAVES, M.M.; PEREIRA, J.S.; MAROCO, J.; RODRIGUES, M.L.; RICARDO, C. P.P.; OSÓRIO, M.L.; CARVALHO, I.; FARIA, T.; PINHEIRO, C. How plants cope with water stress in the field. **Annals of Botany**, London, v. 89, p. 907-916, 2002.

CHAVES, M.M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, Oxford, v. 103, p. 551–560, 2009.

CHUTIPAIJIT, S.; CHA-UM, S.; SOMPORNPAILIN, K. An evaluation of water deficit tolerance screening in pigmented indica rice genotypes. **Pakistan Journal of Botany**, Karachi, v. 44, n.1, 65–72, 2012.

CONAB (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO). **Acompanhamento de safra brasileira** 2009. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/6graos_08.09.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2009.

COUNCE, P.A.; KEISLING, T.C.; MITCHELL, A.J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, Madison, v. 40, n. 2, p. 436-443, 2000.

DATTA, S.K. DE. **Principles and practices of rice production**. A Wiley – intersciences publication, 1981. 637p.

DEMIRAL, T.; TÜRKAN, I. Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance. **Environmental and Experimental Botany**, Lucknow, v. 53, p. 247–257, 2005.

DIONISIO-SESE, M.L.; TOBITA, S. Antioxidant responses of rice seedlings to salinity stress. **Plant Science**, Amsterdam, v. 135, n.1, p. 1–9, 1998.

- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.M. Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande: FAO, 1994. 306p. (Estudos FAO, Irrigação e Drenagem 33).
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. Guidelines for predicting crop water requirements. 2nd ed. Rome: FAO, 1977. 179p. (FAO Irrigation and Drainage Paper 24).
- DRISCOLL, S.P.; PRINS, A.; OLMOS, E.; KUNERT, K.J.; FOYER, C.H. Specification of adaxial and abaxial stomata, epidermal structure and photosynthesis to CO² enrichment in maize leaves. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 57, n. 2, p. 381-390, 2006.
- DUCHEMIN, B.; HADRIA, R.; ERRAKI, S.; BOULET, G.; MAISONGRANDE, P.; CHEHBOUNI, A.; ESCADAFAL, R.; EZZAHAR, J.; HOEDJES, J.C.B.; KHARROU, M.H.; KHABBA, S.; MOUGENOT, B.; OLIOSO, A.; RODRIGUEZ, J.-C.; SIMONNEAUX, V. Monitoring wheat phenology and irrigation in Central Morocco: On the use of relationships between evapotranspiration, crops coefficients, leaf area index and remotely-sensed vegetation indices. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 79, p. 1–27, 2006.
- FALQUETO, A.R.; CASSOL, D.; MAGALHÃES JÚNIOR, A.M.; OLIVEIRA, A.C.; BACARIN, M. A. Crescimento e partição de assimilados em cultivares de arroz diferindo no potencial de produtividade de grãos. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.3, p.563-571, 2009.
- FAOSTAT – Food and Agriculture Organization – FAO. Disponível em <www.fao.org.br>. Acesso em: 10 abril 2012.
- FERRI, M.G. **Fisiologia Vegetal**. Editora Pedagógica e Universitária. 2.ed. São Paulo, 1985. 362p.
- FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J.L. **Manual da cultura do arroz**. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 589p.
- FOYER, C.H.; NOCTOR, G. Redox regulation in photosynthetic organisms: signaling, acclimation, and practical implications. **Antioxidants & Redox Signaling**, New York, v. 11, n. 4, p. 861-905, 2009. (doi: 10.1089/ars.2008.2177).
- GARRIS, A.J.; TAI, T.H.; COBURN, J.; KRESOVICH, S.; MCCOUCH, S. Genetic Structure and Diversity in *Oryza sativa* L. **Genetics**, Bethesda, v. 169, p. 1631–1638, March, 2005.
- GORDON, L.J.; PETERSON, G.D.; BENNETT, E.M. Agricultural modifications of hydrological flows create ecological surprises. **Trends in Ecology and Evolution**, West Sussex, v. 23, n. 4, p. 211-219, 2008.
- 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**, Victoria, v. 32, p. 481-494, 2005.

GUIMARÃES, E.P.; BORRERO, J.; OSPINA-REY, Y. Genetic diversity of upland rice germplasm distributed in Latin America. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 3, p. 187-194, 1996.

GUIMARÃES, C.M.; SANTOS, A.B. dos; MAGALHÃES JÚNIOR, A.M. de; STONE, L.F. Sistemas de cultivo. In.: SANTOS, A.B. dos; STONE, L.F.; VIEIRA, N.R. de A. **A Cultura do Arroz no Brasil**. 2. ed. rev. ampl., Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. p 257-288.

GUIMARÃES, C.M.; STONE, L.F.; NEVES, P.C.F. Eficiência produtiva de cultivares de arroz com divergência fenotípica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 12, n. 5, p. 465–470, 2008.

GUO, Z.; OU, W.; LU, S.; ZHONG, Q. Differential responses of antioxidative system to chilling and drought in four rice cultivars differing in sensitivity. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 44, n. 11, p. 828-836, 2006.

GOWDA, V.R.P.; HENRY, A.; YAMAUCHI, A.; SHASHIDHAR, H.E.; SERRAJ, R. Root biology and genetic improvement for drought avoidance in rice. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 122, p. 1–13, 2011.

HALLIWELL, B.; GUTTERIDGE, J.M.C. **Free radicals in biology and medicine**. New York: Oxford University Press, 1999. 936p.

HARGREAVES G.H. SAMANI, Z.A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, Saint Joseph, v. 1, n. 2, p. 96-99, 1985. (doi: 10.13031/2013.26773)

HARGREAVES, G.H. **World water for agriculture (climate, precipitation probabilities and adequacies for rainfed agriculture)**. Utah State University, Logan, Utah USA, 1977. 17p.

HEINEMANN, A.B.; DINGKUHN, M.; LUQUET, D.; COMBRES, J.C.; CHAPMAN, S. Characterization of drought stress environments for upland rice and maize in central Brazil. **Euphytica**, Wageningen, v. 162, p. 395-410, 2008.

HEINEMANN, A.B.; STONE, L.F. Efeito da deficiência hídrica no desenvolvimento e rendimento de quatro cultivares de arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 2, p. 134-139, abr./jun. 2009.

HETHERINGTON, A.M.; WOODWARD, F.I. The role of stomata in sensing and driving environmental change. **Nature**, London, v. 424, p. 901-908, 2003.

HSIAO, T.C. Plant responses to water stress. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 24, p. 519-570, 1973.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Rio de Janeiro, v.27, n.1, p.1-85, 2014.

ISHIKAWA, R.; YAMANAKA, S.; KANYAVONG, K.; FUKUTA, Y.; SATO, Y.-I.; TANG, L.; SATO T. Genetic resources of primitive upland rice in Laos. **Economic Botany**, New York, v.56, n.2, p. 192-197, 2002.

ISHIMARU, K.; SHIROTA, K.; HIGA, M.; KAWAMITSU, Y. Identification of quantitative trait loci for adaxial and abaxial stomatal frequencies in *Oryza sativa*. **Plant Physiology and Biochemistry**, Stuttgart, v. 39, n. 2, p. 173-177, 2001.

JACKSON, R.B.; SPERRY, J.S.; DAWSON, T.E. Root water uptake and transport: using physiological processes in global predictions. **Trends in Plant Science**, London, v. 5, n. 11, p. 482-488, Nov., 2000.

JENKS, M.A.; HASEGAWA, P M. Plant abiotic stress. In: AGARWAL, M.; ZHU, J. **Integration of abiotic stress signalling pathways**. Indiana: Blackwell Publishing, cap. 8, p. 2006. p.215-237.

JENSEN, M.E.; HAISE, H.R. Estimating evapotranspiration from solar radiation. **Journal of Irrigation Drainage Division**, ASCE, New York, v.89, n.1, p.15-41, 1963.

KELLOS, T.; TIMAR, I.; SZILAGYI, V.; SZALAI, G.; GALIBA, G.; KOCSY, G. Stress hormones and abiotic stresses have different effects on antioxidants in maize lines with Different sensitivity. **Plant Biology**, Collingwood, v. 10, n. 5, p. 563-572, 2008.

KHUSH, G.S. Origin, dispersal, cultivation and variation of rice. **Plant Molecular Biology**, Dordrecht, v. 35, p. 25–34, 1997.

KHUSH, G.S. What it will take to feed 5.0 billion rice consumers in 2030. **Plant Molecular Biology**, Dordrecht, v. 59, p.1–6, 2005.

KNIGHT, H.; KNIGHT, M.R. Abiotic stress signaling pathways: specificity and crosstalk. **Trends in Plant Science**, Killington, v. 6, n. 6, p. 262-267, 2001.

KLAR, A.E. **Irrigação: Frequência e quantidade de aplicação**. São Paulo: Editora Nobel, 1991. 156p.

LAFITTE, H.R.; LI, Z.K.; VIJAYAKUMAR, C.H.M.; GAO, Y.M.; SHI, Y.; XU, J.L.; FU, B.Y.; YU, S.B.; ALI, A.J.; DOMINGO, J.; MAGHIRANG, R.; TORRES, R.; MACKILL, D. Improvement of rice drought tolerance through backcross breeding: evaluation of donors and selection in drought nurseries. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.97, p.77-86, 2006.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2000. 531p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**, traduzido por: Prado, C.H.B.A.(Ed.). São Carlos, RiMa, 2006. 531p.

LAZA, MA. R.C.; KONDO, M.; IDETA, O.; BARLAAN, E.; IMBE, T. Quantitative trait loci for stomatal density and size in lowland rice. **Euphytica**, Wageningen, v. 172, n. 2, p. 149-158, 2010.

LEE, D.H.; KIM, Y.S.; LEE, C.B. The inductive responses of the antioxidant enzymes by salt stress in the rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 158, n. 6, p.737-745. 2001.

LI, X.; ZHANG, L.; LI, Y. Preconditioning alters antioxidative enzyme responses in rice seedlings to water stress. **Procedia Environmental Sciences**, Beijing, v.11, pt C, p. 1346 – 1351, 2011.

LILLEY, J.M.; FUKAI, S. Effect of timing and severity of water deficit on four diverse rice cultivars. II-Physiological responses to soil water deficit. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 37, p. 215-223, 1994.

LORENÇONI, R. **Caracterização fisiológica de diferentes genótipos de arroz de terras altas**. 2013. 131p. Tese (Doutorado Ciências: Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2013.

LU, J.; SUN, G.; MCNULTY, S.G.; AMATYA, D.M. A comparison of six potential evapotranspiration methods for regional use in the south eastern united states. **Journal of the American Water Resources Association**, Washington, v. 41, i. 3, p. 621-633, 2005.

MACHADO, E.C. Trocas gasosas e relações hídricas em dois cultivares de arroz sequeiro, submetidos à deficiência hídrica, em diferentes fases do crescimento vegetativo. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 139-147, 1996.

MANDHANIA, S.; MADAN, S.; SAWHNEY, V. Antioxidant defense mechanism under salt stress in wheat seedlings. **Biologia Plantarum**, Praga, v. 50, n. 2, p. 227-231, 2006.

MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. **Irrigação: princípios e métodos**. Viçosa: UFV, 2006. 318p.

MANZONI, S.; VICO, G.; PORPORATO, A.; KATUL, G. Biological constraints on water transport in the soil–plant–atmosphere system. **Advances in Water Resources**, Billerica, v. 51, p. 292–304, 2013. (DOI: 10.1016/j.advwatres.2012.03.016)

MEDEIROS, R.D.; SOARES, A.A.; GUIMARÃES, R.M. Efeitos da compactação do solo e do manejo da água sobre os componentes de produção e a produtividade de arroz. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n.5, p. 960-967, 2005.

MEHRI, N.; FOTOVAT, R.; SABA, J.; JABBARI, F. Variation of stomata dimensions and densities in tolerant and susceptible wheat cultivars under drought stress. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, Helsinki, v. 7, n.1, p.167-170, 2009.

MEINZER, F.C. Co-ordination of vapour and liquid phase water transport properties in plants. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 25, p. 265-274, 2002.

MELCHIORRE, M.; ROBERT, G.; TRIPPI, V.; RACCA, R.; LASCANO, H. R. Superoxide dismutase and glutathione reductase overexpression in wheat protoplast: photooxidative stress tolerance and changes in cellular redox state. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 57, n. 1, p. 57-68, 2009.

MENDONÇA, J.C.; SOUSA, E.F. de; BERNARDO, S.; DIAS, G.P.; GRIPPA, S. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) na região Norte Fluminense, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.2, p.275-279, 2003.

MENDONÇA, J.C.; SOUSA, ELIAS, F.; BERNARDO, S.; SUGAWARA, M.T.; PEÇANHA, A.L.; GOTTARDO, R.D. Determinação do coeficiente cultural (K_c) do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), em Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 5, p. 471-475, 2007.

MENEZES, B.R.S.; MOREIRA, L.B.; LOPES, H.M.; PEREIRA, M.B. Caracterização morfoagronômica em arroz vermelho e arroz de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 4, p. 490-499, out./dez. 2011.

MEHDY, M.C. ; SHARMA, Y.K. ; SATHASIVAN, K. ; BAYS, N.W. The role of activated oxygens pecies in plant diseases resistance. **Physiology Plantarum**, Copenhagen, v. 98, p. 365-374, 1996.

MIRANDA, J.H.; GONÇALVES, A.C.A.; CARVALHO, D.F. Água e solo. In: MIRANDA, J.H.; PIRES, R.C.M. **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, v.1, p.1-62, 2001.

MORADI, F.; ISMAIL, A.M. Responses of photosynthesis, chlorophyll fluorescence and ROS-scavenging systems to salt stress during seedling and reproductive stages in rice. **Annals of Botany**, London, v. 99, n. 6, p.1161–1173, 2007. doi:10.1093/aob/mcm052

NASCIMENTO, W.F.; SILVA, E.F.; VEASEY, E.A. Agro-morphological characterization of upland rice accessions. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 68, n. 6, p. 652-660, 2011.

NGUYEN, H.T.; BABU, R.C.; BLUM, A. Breeding for drought resistance in rice: physiology and molecular genetics considerations. **Crop Science**, Madison, v. 37, p. 1426-1437, 1997.

NOGUEIRA, R.J.M.C., SANTOS, R.C. dos; BEZERRA C.N.; SANTOS, V.F. dos. Comportamento fisiológico de duas cultivares de amendoim submetidas a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n.12, p.1963-1969, 1998.

OHSUMI, A.; KANEMURA, T.; HOMMA, K.; HORIE, T.; SHIRAIWA, T. Genotypic variation of stomatal conductance in relation to stomatal density and length in rice (*Oryza sativa* L.) **Plant Production Science**, Tokyo, v. 10, n. 3, p. 322-328, 2007.

PANDEY, H.C.; BAIG, M.J.; CHANDRA, A.R. BHATT, R.K. Drought stress induced changes in lipid peroxidation and antioxidant system in genus Avena. **Journal of Environmental Biology**, Lucknow, v.31, n.4, p. 435-440, 2010.

PANDHAIR, V.; SEKHON, B.S. Reactive oxygen species and antioxidants in plants: an overview. **Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology**, New Delhi, v. 15, n. 2, p. 71-78, 2006.

PARRY, M.A.J.; ANDRALOJC, J.; KHAN, S.; LEA, P.J.; KEYS, A. Rubisco activity: effects of drought stress. **Annals of Botany**, Oxford, v. 89, p. 833-839, 2002.

PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceedings Royal Society of London**. London, v. 193, n. 1032, p. 120-145, 1948.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo (transpi) razão**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

PIMENTA, J.A. Relações hídricas. In: KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 2004. 439p.

PINHEIRO, B. da S. Características morfofisiológicas da planta relacionadas à produtividade. In.: SANTOS, A.B. dos; STONE, L.F.; VIEIRA, N.R. de A. **A Cultura do Arroz no Brasil**. 2.ed. rev. ampl. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. p 257-288.

PINHEIRO, B. da S.; GUIMARÃES, E. P. Índice de área foliar e produtividade do arroz de sequeiro 1. Níveis limitantes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 6, p. 863-872, 1990.

PITZSCHKE, A.; FORNAZI, C.; HIRT H. Reactive oxygen species signaling in plants. **Antioxidants and Redox Signaling**, New York, v. 8, n. 9, p. 1757-1764, 2006.

PRABHU, A.S.; FILIPPI, M.C.C. **Brusone em arroz**: controle genético, progresso e perspectivas. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 388p.

PRAVEEN, P.; DEVARANAVADGI, V.S.; DESAI, G.A.; PRAVEEN, G.S.; BAI, K.P. M. Estimation of evapotranspiration rate by different methods for paddy crop in South Kodagu, Central Western Ghats. **International Journal of Agricultural Engineering**, China, v. 5, i. 1, p. 69-72, April, 2012.

PRICE, A.H.; STEELE, K.A.; MOORE, B.J.; JONES, R.G.W. Upland rice grown in soil-filled chambers and exposed to contrasting water-deficit regimes. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 76, p. 25-43, 2002.

PRIESTLEY, C.H.B.; TAYLOR, R.J. On the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation Using Large-Scale Parameters. **Monthly Weather Review**, Boston, v.100, n. 2, p. 81-92, 1972.

POLLE, A. Dissecting the superoxide dismutase–ascorbate–glutathione pathway in chloroplasts by metabolic modeling. Computer simulations as a first step towards flux analysis. **Plant Physiology**, Rockville, v. 126, n. 1, p. 445–462, 2001.

RABELLO, A.R.; GUIMARÃES, C.M.; RANGEL, P.H.N.; SILVA, F.R. da, SEIXAS, D.; SOUZA, E. de; BRASILEIRO, A.C.M.; SPEHAR, C.R.; FERREIRA, M.E.; MEHTA, A. Identification of drought-responsive genes in roots of upland rice (*Oryza sativa* L). **BMC Genomics**, London, v. 9, p. 1-13, 2008. (doi: 10.1186/1471-2164-9-485)

RANGEL, P.N. **Utilização da espécie silvestre *Oryza glumaepatula* como doadora de alelos para aumento da produção e da tolerância à seca do arroz (*Oryza sativa*) via análise de AB-QTLs**. 2008. 123p. Tese (Doutorado em Biologia Celular e Molecular) – Universidade Federal de Goiás/Instituto de Ciências Biológicas – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2008.

REICHARDT, K. Relações solo-água-plantas para algumas culturas. In: _____. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. p.157-171.

REICHARDT, K.; TIMM L. C.; **Solo, Planta e Atmosfera: Conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2012. p.323-340.

RODRIGUES, R.A.F.; SORATO, R.P.; ARF, O. Manejo de água em arroz de terras altas no sistema de plantio direto usando o tanque de Classe A. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.3, p.546-556, set/dez 2004.

ROMERO-PUERTAS, M.C.; PALMA, J.M.; GÓMES, M.; DEL RIO, L.A.; SANDALIO, L.M. Cadmium causes the oxidative modification of proteins in pea plants. **Plant, Cell & Environment**, Oxford, v. 25, n. 5, p. 677-686, 2002.

ROWLAND-BAMFORD, A. J.; NORDENBROCK, C.; BAKER, J.T.; BOWES, G. & ALLEN, L.H. Changes in stomatal density in rice grown under various CO₂ regimes with natural solar irradiance. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v.2, p.175-180, 1990.

SANTOS, A.B. dos; RABELO, R.R. **Informações Técnicas para a Cultura do Arroz Irrigado no Estado do Tocantins**. Santo Antonio de Goiás:Embrapa Arroz e Feijão, 2008. 136p. (Documentos, 218).

SCANDALIOS, J.G. Oxidative stress: molecular perception and transduction of signals triggering antioxidant gene defenses. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, Ribeirão Preto, v. 38, n. 7, p. 995-1014, 2005.

SCHNEIDER, C.L.; ATTINGER, S.; DELFS, J.O.; HILDEBRANDT, A. Implementing small scale processes at the soil-plant interface – the role of root architectures for calculating root water uptake profiles. **Hydrology and Earth System Sciences**, Katlenburg-Lindau, v. 14, p. 279-289, 2010.

SENTELHAS, P.C. Agrometeorologia aplicada à irrigação. In: MIRANDA, J.H., PIRES, R.C.M. **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, v.1, 2001. p. 63-120

SENTELHAS, P.C. Class A pan coefficients (Kp) to estimate daily reference evapotranspiration (ET_o). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.7, n.1, p.111-115, 2003.

SEDIYAMA, G.C. **Evapotranspiração**: necessidade de água para as plantas cultivadas. Brasília, DF: ABEAS, 1998, 181 p. (Curso de especialização por tutoria à distância).

SETTE, D.M. Os climas do cerrado do centro-oeste. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v.1, n. 1, p. 29-42, 2005.

SHAH, K.; KUMAR, R.G.; VERMA, S.; DUBEY, R.S. Effect of cadmium on lipid peroxidation, superoxide anion generation and activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. **Plant Science**, Amsterdam, v. 161, n.6, p. 1135-1144, 2001.

SHAO, H-B.; CHU, L-Y.; JALEEL, C. A.; ZHAO, C-H. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, Paris, v. 331, p. 215–225, 2008.

SHARMA, P.; DUBEY, R.S. Modulation of nitrate reductase activity in rice seedlings under aluminum toxicity and water stress: role of osmolytes as enzyme protectant. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 162, p. 854–864, 2005.

SHINOZAKI, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. Molecular responses to drought and cold stress. **Plant Biotechnology**, Oxford, v. 7, p. 161-167, 1996.

SILVA, E.F. da; SILVA, V.A.C.; GUIMARÃES, J.F.R.; MOURA, R.R. de. Divergência fenotípica entre genótipos de arroz de terras altas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.6, n.2, p.280-286, 2011.

SIMUNEKA, J.; HOPMANS, J.W. Modeling compensated root water and nutrient uptake. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v.220, p. 505–521, 2009.

SOARES, A.M. dos S.; MACHADO, O.L.T. Defesa de plantas: Sinalização química e espécies reativas de oxigênio. **Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v. 1, n. 1, p. 9-19, 2007.

STEINMETZ, S. Estudos agrometeorológicos na cultura do arroz. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Relatório Projeto de Pesquisa. Santo Antonio de Goiás**: Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão, 1986. 1v. Mimeografado.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M.; MOREIRA, J.A.A. Irrigação. In: SANTOS, A.B.; STONE, L.F.; VIEIRA, N.R.A. **A cultura do arroz no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. p. 683-730.

STONE, L.F.; PEREIRA, A.L.; Sucessão arroz-feijão irrigados por aspersão: efeitos de espaçamento entre linhas, adubação e cultivar no crescimento, desenvolvimento radicular e consumo d'água do arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 10, p. 1577-1592, out, 1994.

SWEENEY, M.; MCCOUCH, S. The complex history of the domestication of rice. **Annals of Botany**, Oxford, v. 100, p. 951–957, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Tradução de: Elaine R. Santarém, [et al.], 3.ed. Porto Alegre: Artimed, 2004. 719p.

TERRA, T.G.R. **Avaliação de características morfofisiológicas de tolerância à seca em uma coleção nuclear de arroz de terras altas (*Oryza sativa* L.)**. 2008. 70p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Tocantins, 2008.

TEZARA, W.; MITCHELL, V.J.; DRISCOLL, S.D.; LAWLOR, D.W. Water stress inhibits plant photosynthesis by decreasing coupling factor and ATP. **Nature**, London, v. 401, p. 914-918, 1999.

THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, New York, v.38, n. 1, p.55-94, 1948.

TOGNETTI, R.; GIOVANNELLI, A.; LAVINI, A.; MORELLI, G.; FRAGNITO, F.; D'ANDRIA, R. Assessing environmental controls over conductances through the soil–plant–atmosphere continuum in an experimental olive tree plantation of southern Italy. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 149, p. 1229–1243, 2009.

TÜRKAN, I.; BOR, M.; ÖZDEMİR, F.; KOCA, H. Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolius* Gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. **Plant Science**, Amsterdam, v. 168, n. 1, p. 223-231, 2005.

TYAGI, N.K.; SHARMA, D.K.; LUTHRA, S.K. Determination of evapotranspiration and crop coefficients of rice and sun flower with lysimeter. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 45, p. 41-54, 2000.

VAIDYANATHAN, H.; SIVAKUMAR, P.; CHAKRABARTY, R.; THOMAS, G.; Scavenging of reactive oxygen species in NaCl-stressed rice (*Oryza sativa* L.) - differential response in salt-tolerant and sensitive varieties, **Plant Science**, Amsterdam, v. 165, n. 6, p. 1411-1418, 2003. (doi.org/10.1016/j.plantsci.2003.08.005)

WADE, L.J.; FUKAI, S.; SAMSON, B.K.; ALI, A.; MAZID, M.A. Rainfed lowland rice: physical environment and cultivar requirement. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.64, n.1/2, p.3-12, 1999.

WALTER, M.; MARCHEZAN, E.; AVILA, L. A. de. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 1184-1192, jul., 2008.

WANG, X.; ZHU, J.; MANSUETO, L.; BRUSKIEWICH, R. Identification of candidate genes for drought stress tolerance in rice by the integration of a genetic (QTL) map

with the rice genome physical map. **Journal of Zhejiang University Science**, Hangzhou, v. 6B, n. 5, p. 382-388, 2005.

WILLIAMS, M.; RASTETTER, E.B.; FERNANDES, D.N.; GOULDEN, M.L.; WOFSY, S.C.; SHAVER, G.R.; MELILLO, J.M.; MUNGER, J.W.; FAN, S.M.; NADELHOFFER, K.J. Modelling the soil-plant-atmosphere continuum in a *Quercus Acer* stand at Harvard Forest: the regulation of stomatal conductance by light, nitrogen and soil/plant hydraulic properties. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 19, p. 911-927, 1996.

WU, N.; GUAN, Y.; SHI, Y. Effect of water stress on physiological traits and yield in rice backcross lines after anthesis. **Energy Procedia**, cidade, v. 5, p. 255–260, 2011.

YAN, W.; AGRAMA, H.; JIA, M.; FJELLSTROM, R.; MCCLUNG, A. Geographic description of genetic diversity and relationships in the USDA rice world collection. **Crop Science**, Madison, v. 50, p. 2406-2417, 2010.

XIONG, L.; SCHUMAKER, K. S.; ZHU, J. Cell Signaling during Cold, Drought, and Salt Stress. **The Plant Cell**, Rockville, p. 165-183, 2002.

YANG, Z.; WU, Y.; LI, Y.; LING, H.Q.; CHU, C. OsMT1a, a type 1 metallothionein, plays the pivotal role in zinc homeostasis and drought tolerance in rice. **Plant Molecular Biology**, Dordrecht, v. 70, n. 1/2, p. 219–229, 2009.

YING, J.; PENG, S.; HE, Q.; YANG, H.; YANG, C.; VISPERAS, R. M.; CASSMAN, K. G. Comparison of high-yield rice in tropical and subtropical environments I. determinants of grain and dry matter yields. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 57, p. 71–84, 1998.

YOSHIDA, S. Factors that limit the growth and yield of upland rice. **Major Research in Plant Rice**. Los Baños:Philippines. International Rice Research Institute, 1975. p. 46-71.

ZENG, Y.; ZHANG, H.; LI, Z.; SHEN, S.; SUN, J.; WANG, M.; LIAO, D.; LIU, X.; WANG, X.; XIAO, F.; WEN, G. Evaluations of genetic diversity of rice landraces (*Oryza sativa* L.) in Yunnan, China. **Breeding Science**, Tokyo, v. 57, p. 91-99, 2007.

ZOLIN, M.B.; ANDREOSSO-O'CALLAGHAN, B. Rice price volatility: Sustainable policies in Asia. **Asian Business & Management**, Singapore, v. 11, n. 3, p. 251-271, 2012.