

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA

GABRIELLA BORGES DOS ANJOS

**SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE SEMENTES DE ARROZ DE TERRAS ALTAS
SUBMETIDOS AO ESTRESSE HÍDRICO**

SÃO LUÍS

2019

GABRIELLA BORGES DOS ANJOS

**SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE SEMENTES DE ARROZ DE TERRAS ALTAS
SUBMETIDOS AO ESTRESSE HÍDRICO**

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Agrônômica.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Alexandre Fernandes Rodrigues de Melo.

SÃO LUÍS

2019

GABRIELLA BORGES DOS ANJOS

SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE SEMENTES DE ARROZ DE TERRAS ALTAS
SUBMETIDOS AO ESTRESSE HÍDRICO

Monografia apresentada como pré-requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônoma da Universidade Estadual do Maranhão, submetida à aprovação da banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Aprovada em: 02/07/2019

BANCA EXAMINADORA

Paulo Alexandre F. R. de Melo

Prof. Dr. Paulo Alexandre Fernandes Rodrigues de Melo (Orientador)

Doutor em Agronomia (Produção Vegetal)

Universidade Estadual do Maranhão

Josilda Junqueira Ayres Gomes

Prof. Dr.ª. Josilda Junqueira Ayres Gomes (1º Examinador)

Doutora em Agronomia (Agricultura Tropical)

Universidade Estadual do Maranhão

João Batista Zonta

Dr. João Batista Zonta (2º Examinador)

Doutor em Agronomia (Fitotecnia)

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA Cocais.

Dedico a minha filha Maria
Júlia, meu pai Raimundo
Nonato, meu esposo Carlos
Cesar e minha avó Júlia
Pereira (*in memoriam*)

AGRADECIMENTOS

A DEUS que tudo conhece, minhas limitações e capacidade, pela vida, pela saúde e pelas oportunidades que ele sempre me proporcionou estando sempre à frente de minhas ações e abençoando minha vida. Obrigado por tudo Senhor!

A minha avó Júlia Pereira (in memoriam), pelo amor, dedicação, lições de vida e conselhos. Aos meus pais Raimundo Nonato Pereira dos Anjos e Leonilde Borges pelo amor, conselhos, dedicação e ajuda. Em especial, a minha filha Maria Júlia Borges Chagas que de sua maneira especial me apóia, compreende e torce pelas minhas conquistas. Ao meu esposo Carlos Cesar Chagas pelo amor, apoio, incentivo e ajuda financeira;

Aos meus irmãos, em especial Jonas David B. dos Anjos pelo amor, apoio, ajuda financeira e conselhos. Cristiane C. dos Anjos pelo amor e pelas palavras de incentivos; as minhas tias Ana Benedita M. Pereira e Cecília Pereira dos Anjos pelo carinho, conselhos e apoio. A minha prima Joana Viviane dos Anjos por toda a ajuda e carinho. A minha amiga Girlane Diniz Barros, pelo carinho, conselhos e incentivos nas horas de aflições, de estresse e dúvidas e ajuda neste trabalho;

Aos meus amigos da turma 2015.2, em especial a Vanessa Cristine, Mayara Patrícia e Luckian Alves pela colaboração na confecção deste trabalho, pela companhia e convívio, por compartilhar conhecimento e pelos momentos de descontração;

Ao meu orientador Prof. Dr. Paulo Alexandre Fernandes Rodrigues de Melo, que me ensinou nos momentos de dúvidas, pela orientação, apoio e confiança, obrigado;

Agradeço a toda equipe do Laboratório de análise de semente – LAS, composta pelos alunos Adriano Aranha, André Rodrigues, Leanny Nayra Andrade, Marlisson Vieira, Thailson Silva, que não mediram esforços para ajudar tanto na montagem quanto nas análises dos experimentos. E aos demais que o nome não estão aqui;

A todos que estiveram presentes em minha trajetória acadêmica. A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração e demais funcionários. E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação.

Muito obrigado!

“Bom mesmo é ir à luta com determinação, abraçar a vida e viver compaixão, perder com classe e vencer com ousadia, pois o triunfo pertence a quem mais se atreve... e a vida é muito para ser insignificante”.

Charles Chaplin

“A única forma de chegar ao impossível é acreditar que é possível”

Lewis Carrol

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1 Aspectos gerais da espécie Arroz de terras altas.....	12
2.2 Estresses hídrico.....	14
2.3 Vigor de semente	16
3. MATERIAIS E MÉTODOS	18
3.1 Obtenção das sementes	18
3.2 Teor de água.....	19
3.3 Obtenção dos potenciais osmóticos	19
3.4 Teste de germinação.....	19
3.5. Primeira contagem de germinação.....	19
3.6 Índice de velocidade de germinação (IVG)	20
3.7 Desenvolvimento de plântulas	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
5. CONCLUSÕES	26
6. REFERÊNCIAS.....	27

SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE SEMENTES DE ARROZ DE TERRAS ALTAS SUBMETIDOS AO ESTRESSE HÍDRICO

RESUMO

O arroz (*Oryza Sativa* L.) é um dos cereais mais cultivados no mundo, sendo a China o maior produtor e o Brasil ocupando a nona posição entre os maiores produtores mundiais. Embora apresente alta suscetibilidade ao estresse hídrico, aproximadamente 59% do arroz brasileiro é cultivado no ecossistema de terras altas, sem irrigação. No Maranhão a realidade dos produtores é caracterizada pelo uso de variedades rústicas e ausência de tecnologia no sistema de produção. Por isso, a queda de 70% na produção do arroz de terras altas, em parte, foi devido a fatores inerentes à cultura, tanto do ponto de vista de solo e clima. Assim, para que o agricultor obtenha sucesso no cultivo do arroz, se faz necessário o uso de sementes de boa qualidade e adaptadas às variações climáticas para proporcionar melhores índices de produtividade. Objetivou-se neste estudo, avaliar o potencial fisiológico em função de classificar genótipos de sementes de arroz de terras altas tolerantes ao estresse hídrico e com alto vigor. O experimento foi conduzido no laboratório de análise de sementes da Universidade Estadual do Maranhão - UEMA. Dez genótipos de sementes de arroz de terras altas produzidas no Estado do Maranhão foram semeadas em substratos com potenciais osmóticos de 0,0; -0,2; -0,4 e -0,6 Mpa. Foram avaliados o teor de água, teste de germinação, primeira contagem e índice de velocidade de germinação e os comprimentos da parte aérea e raiz de plântulas. O potencial fisiológico das sementes e plântulas de arroz de terras altas, tornando-se sensíveis ao déficit hídrico induzido por PEG 6000 a partir do potencial osmótico -0.4 Mpa. Os testes de germinação, primeira contagem de germinação, índice de velocidade de germinação e os comprimentos de parte aérea e raiz de plântulas são eficientes na avaliação do potencial fisiológico de genótipos de arroz de terras altas; fornecendo informação suficiente para classificação dos genótipos quanto ao nível de vigor. Os genótipos de arroz respondem de maneira diferenciada ao estresse hídrico, sendo o genótipo 2 o mais tolerante a estresse hídrico.

Palavras chaves: arroz de terras altas, estresse hídrico, vigor de sementes.

SELECTION OF GENOTYPES OF UPLAND RICE SEEDS SUBMITTED TO WATER STRESS

ABSTRACT

The rice (*Oryza Sativa* L.), it is the most cultivated cereal in the world, being China the bigger producer and the Brasil occupying the ninth position between the producers around the world. Although it shows high susceptibility to water stress, around 59% of the Brazilian rice is cultivated in the upland ecosystem, without irrigation. In Maranhão the producers' reality is characterized by the use of rustic varieties and absence of technologies in the production system. Therefore, the drop of 70% in upland rice production, in part, because of inherent crop factors, both of the point of view of the soil and climate. So that the farmer succeed in the rice cultivation, it is necessary the use of good quality seeds and adapted to climate variations to provide better productivity indexes. The purpose of this study, it is to evaluate the physiological potential in order to classify upland rice genotypes tolerant to water stress and with and high vigor. The experiment was conducted in the seeds analysis laboratory of the Universidade Estadual do Maranhão - UEMA. Ten upland rice seeds genotypes produced in the State of Maranhão were sown in substrate with osmotic potentials of 0.0; -0.2; -0.4 and -0.6 Mpa. Were evaluated the water content, germination test, first count and germination rate index and seedlings aerial and root length. The physiological potential of upland rice seeds and seedlings, becoming sensitive to water deficit induced by PEG 6000 from the osmotic potential -0.4 Mpa. Germination tests, first germination counts, germination speed index, and shoot and root lengths are efficient in assessing the physiological potential of upland rice seed lots, providing sufficient information for the classification of lots the level of vigor. Rice genotypes respond differently to water stress, with lot 2 being the most tolerant to water restriction.

Key words: upland rice, water stress, vigor of seeds.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Germinação (G%) de sementes de arroz de terras altas (<i>Oriza sativa</i>), submetidas a tratamentos com diferentes concentrações de PEG 6000. São Luís - MA, 2019.....	20
TABELA 2 - Primeira contagem de germinação de sementes de arroz de terras altas (<i>Oriza sativa</i>), submetidas a tratamentos com diferentes concentrações de PEG 6000. São Luís - MA, 2019.21	
TABELA 3 - Índice de velocidade de germinação de sementes de arroz de terras altas (<i>Oriza sativa</i>), submetidas a tratamentos com diferentes concentrações de PEG 6000. São Luís - MA, 2019.	22
TABELA 4 - Comprimento da parte aérea cm/plântula ⁻¹ de arroz de terras altas (<i>Oriza sativa</i>), submetidas a tratamentos com diferentes concentrações de PEG 6000. São Luís - MA, 2019.23	
TABELA 5 - Comprimento das raízes primárias cm/plântula ⁻¹ de arroz de terras altas (<i>Oriza sativa</i>), submetidas a tratamentos com diferentes concentrações de PEG 6000. São Luís - MA, 2019.	24

1. INTRODUÇÃO

O arroz é um cereal importante para alimentação humana (FERREIRA et al., 2005), tendo a China como maior produtor e o Brasil entre os dez maiores produtores mundiais. O cultivo do arroz ocorre em dois ambientes: várzea e terras altas (RANGEL, 1995). A rizicultura brasileira é uma das únicas do mundo onde o arroz de terras altas desempenha papel fundamental no abastecimento interno do cereal para a população. Principalmente, devido à concentração da produção na Região Sul, que é responsável por quase 69% da oferta nacional. Assim, o sistema de cultivo em terras altas atua como um regulador de preços, favorecendo uma melhor distribuição da produção do arroz no país, aproximando a produção das regiões consumidoras (CASTRO et al., 2018; CONAB, 2019).

A maior parte do cultivo do arroz de terras altas ocorre em áreas do bioma Cerrado, onde os solos são caracterizados pela baixa capacidade de retenção de água e elevada acidez do solo (CRUSCIOL et al., 2006). Por essa razão, na última década houve uma redução de 70% na produção do arroz de terras altas no Brasil, devido às alterações climáticas, como o aumento da temperatura e a irregularidade da distribuição das chuvas, restringindo as áreas de cultivo. Por isso, o desenvolvimento de cultivares tolerantes ao estresse hídrico pode ser uma solução (GUIMARÃES; STONE e SILVA, 2016).

No Nordeste brasileiro o programa de melhoramento genético do arroz coordenado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), consiste em estratégia utilizada à produção de genótipos adaptadas a região. Os genótipos precisam ser adaptados às diversas condições de suas fazes de cultivo. Por exemplo, nem sempre as sementes encontram condições ótimas para germinar. Portanto, à seleção de genótipos de sementes com capacidade de germinar sob diferentes condições hídricas, constituem-se vantagens ecológicas em relação a outros acessos que são sensíveis à seca (CARVALHO et al., 2013; CARVALHO e NAKAGAWA, 2012; SAITO et al., 2018).

A habilidade de uma semente germinar sob amplo limite de condições é definida como a manifestação do vigor, dependendo, dentre outros fatores, das condições ambientais encontradas no local quando semeada (SIMONI et al., 2011). A influência do vigor da semente é marcante sobre todos os aspectos germinativos, desde a própria possibilidade de ocorrência da germinação até outras características, como a velocidade, a uniformidade e o total da germinação e o comprimento de plântulas (CARVALHO e NAKAGAWA, 2012).

Situações de estresse hídrico podem comprometer a germinação das sementes de espécies agricultáveis e/ou estabelecimento de mudas e sua sobrevivência (MARTINS et al., 2014). A cultura de arroz sofre os efeitos da falta de água, especialmente na fase de desenvolvimento plântula (ZHANG et al., 2019). Desta forma, a germinação rápida e uniforme e o estabelecimento do estande constituído por plântulas vigorosas da cultivar escolhida representam condições essenciais para assegurar o desempenho adequado das plantas no campo. Este fator pode afetar a uniformidade do desenvolvimento, o rendimento final da cultura e a qualidade dos grãos produzidos (MARCOS FILHO, 2015a).

Uma das técnicas utilizadas em laboratório para simular condições de estresse hídrico tem sido o uso de soluções aquosas com diferentes potenciais osmóticos (HARDEGREE e EMMERICH, 1994), que podem provocar atraso na germinação e/ou no crescimento de plântulas. Diversos compostos químicos têm sido utilizados na simulação de estresse abióticos, dentre eles o Polietilenoglicol (PEG 6000), agente osmótico sem efeito adverso para as sementes e, que tem proporcionado restrição hídrica às sementes, dependendo da concentração, simulando a seca (VILLELA; DONI FILHO; SIQUEIRA, 1991; ZHANG et al., 2012).

Diante do exposto, para que o agricultor obtenha sucesso no cultivo do arroz, se faz necessário o uso de sementes de boa qualidade e adaptadas às variações climáticas para proporcionar melhores índices de produtividade. Assim, o objetivo deste estudo, foi avaliar o potencial fisiológico e classificar genótipos de sementes de arroz de terras altas em relação a tolerância ao estresse hídrico.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aspectos gerais da espécie Arroz de terras altas

O gênero *Oryza* apresenta 27 espécies de arroz, das quais apenas duas são cultivadas (IRRI, 2012), tendo como centro de origem provavelmente o sul da Índia (MAGALHÃES JUNIOR et al., 2004). Os principais produtores de arroz do mundo são a China e a Índia. Além destes, outros países se destacam entre os maiores produtores e exportadores: Tailândia, Vietnã, Estados Unidos e Paquistão. O Brasil é o maior produtor de arroz fora do continente Asiático, onde na América do Sul destaca-se com a participação em cerca de 42% da produção de arroz do continente (AZAMBUJA et al., 2004). No país o estado que se destaca como maior produtor de arroz é o Rio Grande do Sul, o qual responde por mais de 69% da produção nacional, Na Região Nordeste o arroz

é cultivado ao longo do Rio São Francisco, em Pernambuco, Alagoas e Sergipe; nas microrregiões do Baixo Jaguaribe e Iguatu no Ceará; ao longo do Rio Parnaíba no Piauí e Baixada Ocidental e Sul do Maranhão (CONAB,2017).

Os açorianos introduziram o arroz vermelho no Maranhão provavelmente entre 1619 a 1649, onde foi cultivado quase que exclusivamente até 1772, quando seu cultivo foi proibido para forçar a produção do arroz branco. Séculos mais tarde, mais precisamente na década de 70, o Estado chegou a ser o primeiro produtor de arroz de terras altas do Brasil. Além de ser o segundo produtor de arroz nacional, ocupando 20% das áreas de cultivo e participando com 18% da produção brasileira. Contudo, a partir da década de 80, as áreas tradicionais de cultivo, localizadas nos vales dos rios, passaram a ser ocupadas pela pecuária bovina, causando uma significativa redução em área plantada e produção (CONAB, 2017).

No Brasil, o arroz é consumido especialmente na forma de grãos inteiros, sendo conhecidos, em função da forma de processamento pós-colheita, como branco, integral e parboilizado (VIEIRA; RABELO, 2006). Já o cultivo é realizado em dois ecossistemas: várzeas e terras altas. Nestes ecossistemas a produção de arroz no Maranhão representar aproximadamente 2% da área plantada no país, a rizicultura no Estado diferentemente da dinâmica observada nas demais regiões brasileiras, apresenta importância social e econômica. Uma vez que dos 217 municípios maranhenses, 213 produzem arroz, tendo um relevante papel na dieta e na participação no Produto Interno Bruto - PIB estadual. Por isso, a cultura do arroz funciona como elemento agregador e fixador do homem à terra, diminuindo o êxodo rural e garantindo o sustento de inúmeras famílias nordestinas (ALVAREZ et al.,2006).

Nos últimos anos, a rizicultura tem sido de importante para o desenvolvimento nacional. Graças à abertura de novos mercados para o arroz de terras altas, a cultura tende a ser mais rentável e, ao mesmo tempo, mais exigente em seu manejo técnico. A qualidade do grão cultivado constitui um dos fatores de rentabilidade e de competitividade e, por consequência, da sustentabilidade socioeconômica da cultura (SOUZA, YAMASHITA e CARVALHO, 2007).

A produção de arroz de terras altas está dispersa no Brasil, sendo os principais estados produtores, Mato Grosso, Maranhão, Pará, Piauí e Rondônia. No Estado do Maranhão, o arroz é produzido por pequenos agricultores, cujas propriedades rurais, aproximadamente 85%, têm menos de 100 ha. Como nem todas as variedades de arroz produzidas no Estado têm boa produtividade, a introdução de variedades mais produtivas

vem ocorrendo, com base no melhoramento genético. Entre os dez municípios que mais se destacam no Maranhão, Grajaú, Mirador, Pastos Bons, Barreirinhas, Bom Jesus das Selvas, Paraibano, Santa Luzia, são responsáveis por parte da produção de arroz de terras altas (LORENÇONI, NETO e HEINEMANN, 2010; SAGRIMA, 2016; CONAB, 2017; CONAB, 2018).

O arroz de terras altas é caracterizado pelo plantio em áreas não alagadas, ficando à mercê de boas condições pluviométricas para o perfeito desempenho dos estádios fenológicos da cultura (GUIMARÃES et al., 2006). Períodos de estresse por falta de chuvas regulares, limita o crescimento e o desempenho de plantas de arroz cultivadas mais do que qualquer outro fator ambiental (SHAO et al., 2008), ocasionando maior perda de produtividade (HEINEMANN e STONE, 2009). Por isso, o cultivo de arroz de terras altas, apesar de ocupar 65% da área total cultivada com arroz, no Brasil, contribui com apenas 41% da produção nacional (ALVAREZ, CRUSCIOL e NASCENTE, 2014). De forma similar a respeito do rendimento médio de produção do Maranhão, apura-se que quase 10% dos municípios apresentam valores iguais ou abaixo de 1.000 kg/ha^{-1} , o que comprova a baixa tecnologia no manejo do arroz (CONAB, 2017).

Dentre as iniciativas para promover a valorização e inovação da cadeia produtiva do arroz no Maranhão, o uso de cultivares melhoradas constitui tecnologia de menor dispêndio e proporciona retornos econômicos em curto espaço de tempo. Este plano de ação foi utilizado pela Secretaria de Planejamento, Orçamento e Gestão de Sergipe, onde através do uso de sementes de alta qualidade, verificou-se um incremento na rizicultura do Estado. Na safra 2016/2017, a produção de arroz sergipana, atingiu a marca de 1º maior do Nordeste, e a 3ª do Brasil, em rendimento médio por hectare, com 7.500 kg/ha^{-1} (CONAB,2018).

2.2 Estresses hídrico

Devido ao aumento populacional é estimado que a produção de arroz tende a aumentar em aproximadamente 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).

O estresse hídrico é definido como a falta de água acessível à planta, resultando

em modificações químicas, fisiológicas e bioquímicas da planta e de suas sementes e ocorre quando a evapotranspiração real é menor do que a evapotranspiração máxima da cultura (BORRMANN, 2009; FARIAS, 2011). Causa ainda redução na abertura de estômatos, diminuição na absorção de CO₂, redução na taxa fotossintética, reflexos negativos sobre vigor e altura da planta, diminuição na fertilidade do grão de pólen e redução na produtividade (TERRA et al., 2013).

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, GUAN e SHI, 2011). Além disso, o estresse hídrico constitui-se em processos complexos, geralmente interligados, influenciando até mesmo o desempenho das sementes, diminuindo a velocidade e a porcentagem de germinação. Contudo, existe para cada espécie, um valor de potencial hídrico no solo, abaixo do qual a germinação não ocorre (LOPES e MACEDO, 2008).

Assim, a escolha de cultivares estáveis e adaptadas as condições edafoclimáticas proporcionam incrementos no rendimento da cultura do arroz. 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 importante conhecer a fisiologia e as respostas destes materiais ao ambiente (MACHADO, 1996).

No entanto, o genótipo, o estágio de desenvolvimento das plantas e a intensidade e duração do estresse hídrico podem causar complexas respostas fisiológicas, morfológicas e moleculares nas sementes. O conhecimento dessas respostas pode facilitar a identificação de mecanismos relacionados à tolerância ao estresse hídrico. Por isso, a avaliação do potencial fisiológico através do vigor de sementes é importante para o controle da qualidade, em um programa de produção de sementes de arroz (TERRA, 2008; MARCOS FILHO, 2015b).

O uso de testes de vigor associado ao de germinação vem sendo utilizado rotineiramente após a produção de sementes visando o controle de qualidade, a fim de estimar o potencial de desempenho em campo, tanto em condições favoráveis como adversas. A primeira fase da germinação de sementes é a embebição, uma vez que a presença de água dentro da semente reativa o metabolismo e desencadeia uma sequência de processos fisiológicos, estando envolvida direta e indiretamente em todas as demais

etapas da germinação. A baixa disponibilidade de água para a embebição atrasa ou impede a germinação (MARCOS FILHO et al., 2015b).

A água é um dos fatores abióticos que afetam o processo germinativo das sementes (STEFANELLO et al., 2006). Os estudos relacionados com a resposta germinativa de sementes à condição de estresses artificiais têm importância ecofisiológica e constituem-se em ferramentas que possibilitam a avaliação dos limites e tolerância de sobrevivência e adaptação destas espécies às condições de estresses naturais (GUEDES et al., 2013).

Uma das técnicas mais utilizadas para simular condições de baixa umidade no substrato tem sido o uso de soluções com diferentes potenciais osmóticos (TAYLOR; HARMAN, 1990). Potenciais hídricos mais negativos no meio reduzem o fluxo de água para a célula, até o ponto extremo no qual a difusão de água através do simplasto cessa e o processo de germinação é diretamente afetado (SOUZA; CARDOSO, 2000).

O polietilenoglicol (PEG 6000) vem sendo utilizado com sucesso em estudos para simular os efeitos do déficit hídrico em espécies, uma vez que é quimicamente inerte e atóxico para as sementes. Além disso, o Peg não penetra no tegumento das sementes devido ao elevado tamanho de suas moléculas, proporcionando a embebição lenta e controlada das sementes (VILLELA; DONI FILHO; SIQUEIRA, 1991). No estudo do potencial fisiológico de sementes, o conhecimento sobre como o estresse influencia na avaliação dos limites de tolerância e a capacidade de adaptação das espécies, pois os fatores abióticos interferem na germinação de sementes (LARCHER, 2006).

A busca por cultivares mais adaptadas a diferentes condições ambientais por meio de melhoramento genético surge como estratégia promissora e eficiente, podendo aliviar a insegurança alimentar causada pelas variações climáticas nas regiões produtoras de arroz (HEINEMANN, STONE e FAGERIA, 2011). No entanto, 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., 2009).

2.3 Vigor de semente

Avaliar a qualidade de um genótipo de semente em termos de predizer com que sucesso ele estabelecerá uma população vigorosa de plântulas sob uma variável condição ambiental, a nível de campo, é importante para atingir eficiência na agricultura moderna (ARTHUR e TONKIN, 1991). Contudo, o vigor das sementes não pode ser caracterizado

como um único processo fisiológico definido como germinação. Sua definição é tão complexa que apenas pode ser razoavelmente compreendida no âmbito de um conceito (McDONALD, 1993). A primeira tentativa de enunciar uma definição foi a de considerar o vigor das sementes como uma soma total dos atributos, que possibilitam o estabelecimento de plântulas em condições desfavoráveis (ISELY, 1957).

Os conceitos iniciais de vigor focavam as vantagens sobre os testes de germinação no que diz respeito à identificação de genótipos de sementes capazes de atingir uma velocidade e uniformidade germinativa e estabelecimento de plântulas em condições ambientais desfavoráveis (SHARF, 1953). Esta foi a abordagem predominante nos primeiros conceitos propostos por diferentes membros da AOSA (MARCOS FILHO, 2015b). Com a evolução do conhecimento, havia outras conotações como as de Woodstock (1965), enfatizando que o vigor das sementes seria uma condição de boa saúde e robustez natural associada com a germinação rápida e completa em uma ampla faixa de condições ambientais. Esta foi a primeira vez que a expressão "ampla faixa" foi utilizada em vez de condições ambientais desfavoráveis ou favoráveis (MARCOS FILHO, 2015a).

Por outro lado, a ISTA conceituou o vigor das sementes como a soma daquelas propriedades que determinam o nível potencial de atividade e desempenho de uma semente ou de um genótipo de sementes durante a germinação da plântula numa ampla faixa de condições ambientais e, ainda um genótipo de sementes vigorosas é aquele que é potencialmente capaz de se desenvolver bem em condições ambientais que não são ideais para a espécie (ISTA, 2014).

Os testes de vigor são úteis nos programas de produção de sementes para a avaliação do potencial fisiológico de diferentes genótipos, permitindo diferenciá-los com base no potencial de germinação e emergência das plântulas e no grau de deterioração porque a redução no vigor precede a perda de viabilidade (MARCOS FILHO, 1999; 2015; MARTINS et al. 2014). Portanto, estes muitos testes de vigor são utilizados em conjunto com o teste de germinação e seus resultados constituem ferramenta fundamental para o melhoramento genético (CUSTÓDIO, 2005).

Os testes de vigor devem detectar diferenças no potencial fisiológico de genótipos de sementes com poder germinativo semelhante e compatível com as exigências mínimas para a comercialização. Podem ser classificados como físicos, fisiológicos, bioquímicos e de resistência ao estresse, cujos testes físicos avaliam características morfológicas ou físicas das sementes que possam estar associadas ao vigor, tais como tamanho, densidade

e coloração das sementes (MARCOS FILHO, 2015b).

Os testes bioquímicos avaliam alterações no metabolismo relacionadas com o vigor de sementes, entre estes estão os testes de tetrazólio e condutividade elétrica. Os testes de resistência ao estresse analisam o comportamento de sementes quando expostas as condições ambientais desfavoráveis, com destaque para os testes de frio, envelhecimento acelerado, deterioração controlada, germinação a baixa temperatura e submersão em água (KRZYZANOWSKI; VIEIRA; FRANÇA NETO, 1999; MARCOS FILHO, 2005). Os testes fisiológicos baseiam-se em atividades fisiológicas específicas que tenham sua manifestação dependente do vigor, como a primeira contagem e índice de velocidade de germinação, comprimento da plântula, peso da massa seca da plântula, sendo essas avaliações realizadas em condições laboratoriais (MARTINS et al. 2014).

Alguns testes de vigor podem ser realizados conjuntamente com o de germinação, a exemplo da primeira contagem de plântulas realizada para facilitar a condução do teste de germinação, uma vez a velocidade da germinação é uma das características a serem afetadas no processo de deterioração das sementes (MARCOS FILHO, 2015b).

Conduzido junto com o teste de germinação, o teste de primeira contagem de germinação se baseia no princípio de que as amostras com maiores porcentagens de plântulas normais na primeira contagem, estabelecidas pelas Regras para Análises de Sementes - RAS (BRASIL, 2009), para cada cultura serão as mais vigorosas. Este teste é interessante para avaliação do vigor de sementes, levando em consideração sua praticidade e tempo de execução (TUNES; TAVARES e BARROS, 2012).

As diferenças entre plântulas são, na maioria das vezes, bastante visíveis, todavia há necessidade de valores numéricos para separar aquelas mais vigorosas. Para isso, a determinação do comprimento médio das plântulas normais ou partes destas é realizada, tendo em vista que as amostras que apresentam os maiores valores médios são as mais vigorosas. (NAKAGAWA, 1999).

3. MATERIAIS E METODOS

3.1 Obtenção das sementes

No trabalho foram avaliados 10 genótipos de sementes de arroz de terras altas provenientes do programa de melhoramento genético da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA Cocais, colhidos na safra 17/18 e procedentes de Itapecuru Mirim -MA (03° 23' 33"S 44° 21' 31" W). O clima do município é classificado como clima tropical com estação seca de inverno, com temperatura média em qualquer mês do ano superior a 18 °C. O

inverno é seco, com precipitação média inferior a 60 mm em pelo menos em um dos meses desta estação. Com precipitação média anual de 1632 mm e temperatura média anual é de 27 °C (Fonte: Climate-data. Org).

As sementes foram encaminhadas ao Laboratório de Análise de Sementes - LAS, da Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, Campus São Luís, acondicionadas em sacos tipo Kraft multifoliado e conservadas em câmara fria a 10 ± 2 °C, durante o período de setembro a outubro de 2018, para a realização dos seguintes testes e determinações:

3.1 Teor de água - O teor de água foi determinado pelo método da estufa a 105 ± 3 °C, por 24 horas (BRASIL 2009), utilizando-se quatro repetições de 25 sementes/genótipo.

3.2 Obtenção dos potenciais osmóticos - O estresse hídrico foi simulado utilizando-se polietilenoglicol (PEG 6000) como soluto, nas seguintes concentrações: 0.0; 127.78; 188.16 e 234.63 g L⁻¹ de PEG 6000, diluídos em água destilada e deionizada. Os potenciais osmóticos foram confirmados por meio da condutividade elétrica das soluções: 0.0; -0.2; -0.4; -0.6 MPa, utilizando medidor digital de condutividade. Para o tratamento controle, água destilada e deionizada foi utilizada para umedecer o substrato (VILLELA; DON FILHO; SIQUEIRA,1991).

3.3 Teste de germinação - Utilizaram-se quatro repetições de 50 sementes, distribuídas em duas falhas de papel Germitest®, cobertas com uma terceira folha e organizadas em forma de rolo. O substrato foi umedecido com água destilada e deionizada ou soluções de PEG 6000, usando quantidade equivalente a 2.5 vezes a massa do papel antes da hidratação. Os rolos foram colocados em sacos plásticos transparentes de 0.04 mm de espessura para reduzir as perdas de água por evaporação.

Os tratamentos foram avaliados pela germinação das sementes, conduzida em câmaras reguladas a 30 ± 3 °C em fotoperíodo de 12horas/luz e 12 horas/escuro. As avaliações foram realizadas por contagem diária do 5° ao 14° dia após a instalação dos testes, considerando-se como germinadas as plântulas normais (BRASIL 2009), com resultados expressos em porcentagens.

3.5. Primeira contagem de germinação – Foi efetuada conjuntamente com o teste de germinação, computando-se as plântulas normais no 5°dia após instalação do teste

(BRASIL, 2009). Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais.

36 Índice de velocidade de germinação (IVG) - O teste foi realizado conjuntamente com o teste de germinação, onde foram efetuadas contagens diárias das sementes germinadas do 5° ao 14° dia após a sementeira, computando-se o número de plântulas germinadas por dia e aplicando-se a fórmula proposta por Maguire (1962).

37 Desenvolvimento de plântulas - Avaliadas ao final do teste de germinação por meio da mensuração do comprimento da parte aérea e da raiz primária das plântulas, com auxílio de régua graduada em centímetros, com os resultados expressos em cm/plântula⁻¹ (NAKAGAWA, 1999).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente ao acaso, com os tratamentos distribuídos em esquema fatorial 10 x 4 (genótipos de sementes e níveis de potencial osmótico), com quatro repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, com as médias comparadas pelo teste de Scott Knott ao nível de 5% de probabilidade.

4. RESULTADOS EDISCURSÃO

O teor de água das sementes variou entre 7 e 8% (valores não apresentados nas tabelas), sendo considerado uniforme porque a variação máxima foi de 1%. A similaridade de valores de teores de água é primordial para que os testes de avaliação do potencial fisiológico não sejam afetados por diferenças na atividade metabólica devido às diferenças nos teores de água das sementes (ARAÚJO et al., 2011; COIMBRA et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2014; TUNES, TAVARES e BARROS, 2012).

Para a maioria dos genótipos de sementes avaliados, observou-se que houve decréscimo na germinação à medida que o potencial osmótico diminuiu, principalmente a partir de -0.4 Mpa. Neste ponto, houve acentuada queda na germinação até -0.6 Mpa. Maiores porcentagens de germinação (G%) de 98 e 95% e 90 e 91% (genótipos 1 e 2) foram obtidas em sementes germinadas em soluções de -0.2 e -0.4 Mpa, respectivamente (Tabela 1). Adicionalmente, o teste de germinação, possibilitou a separação dos genótipos em duas classes, quanto à viabilidade das sementes germinadas em água de ionizada: genótipos de alta qualidade (1,2,3,4,5e6) e baixa qualidade fisiológica (7,8,9 e 10).

A germinação das sementes de todos os genótipos utilizados na pesquisa estava

superior ou igual a 80% e poderiam ser comercializados como sementes, uma vez que atendem aos padrões oficiais de sementes de arroz (BRASIL, 2013). Estes parâmetros são importantes, pois diferenças no comportamento de genótipo com germinação semelhante estão associadas ao fato de que os primeiros sinais da deterioração ocorrem antes da perda da viabilidade (MARCOS FILHO, 2015a).

Tabela 1. Germinação (%) de sementes de arroz de terras altas (*Oriza sativa*), submetidas a tratamentos com diferentes concentrações de PEG 6000. São Luís - MA, 2019.

Genótipos	Tratamentos			
	T0	T1	T2	T3
1	90 a	98 a	90 a	61 a
2	90 a	95 a	85 b	56 a
3	88 a	90 b	91 a	25 e
4	88 a	89 b	83 b	58 a
5	85 a	89 b	82 b	23 e
6	87 a	87 b	75 c	44 b
7	81 b	91 b	72 c	36 c
8	80 b	87 b	80 b	57 a
9	80 b	70 c	61 d	27 d
10	80 b	91 b	81 b	43 b

CV (%) = 5.59

*Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste de Skott-Knott. T0 = tratamento controle, água destilada e deionizada; T1 = - 0.2 Mpa; T2 = - 0.4 Mpa; T3 = -0.6 Mpa.

De modo similar, a primeira contagem de germinação (PC) manteve a ordem decrescente de classificação dos genótipos quanto ao potencial fisiológico, do genótipo 1 ao 10, para as plântulas germinadas no quinto dia após a semeadura das sementes, quando submetidas ao tratamento controle de 0.0 Mpa (Tabela 2). Porém, foi mais rigorosa do que o teste de germinação, porque separou os genótipos de sementes em três classes de vigor: alto (genótipo 1, 2, 3 e 4), médio (genótipos 5, 6 e 7) e baixo (genótipo 8, 9 e 10). O potencial osmótico necessário para inibição máxima do número de plântulas germinadas das sementes de arroz de terras altas foi de -0.6 Mpa (Tabela2).

No entanto, verificou-se para o genótipo 2, que este sobressaiu-se em relação aos

demais genótipos avaliados, pois a uniformidade de germinação foi reduzida em valores entre 68 e 75% em soluções de -0.2 e -0.4 Mpa, respectivamente. Esta é uma indicação adicional da moderada tolerância ao estresse hídrico para este genótipo, sugerindo que a germinação das sementes pode ocorrer em condições restritas de umidade do solo (Tabela 2).

Para cada espécie existe um valor de potencial hídrico externo abaixo do qual a germinação não ocorre. A habilidade de uma semente germinar sob amplo limite de condições pode ser a manifestação de seu vigor (FANTI; PEREZ, 1998). Por isso, os testes de vigor devem ser usados para detectar diferenças no potencial fisiológico de genótipos de sementes com poder germinativo semelhante e compatível com as exigências mínimas pela legislação imposta pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA (MARCOS FILHO, 2015a).

Tabela 2. Primeira contagem de germinação (PC) de sementes de arroz de terras altas (*Oriza sativa*), submetidas a diferentes concentrações de PEG 6000. São Luís - MA, 2019.

Genótipos	Tratamentos			
	T0	T1	T2	T3
1	90 a	71 a	61 c	-
2	87 a	68 a	75 a	3 d
3	87 a	55 c	69 b	14 c
4	86 a	37 e	16 f	33 a
5	84 b	28 f	16 f	-
6	82 b	62 b	65 c	23 b
7	82 b	47 d	34 d	29 a
8	80 c	18 g	38 d	-
9	80 c	15 g	36 d	-
10	80 c	10 h	29 e	2 d

CV (%) = 7.86

*Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste de Skott-Knott. T0 = tratamento controle, água destilada e deionizada; T1 = - 0.2 Mpa; T2 = - 0.4 Mpa; T3 = - 0.6 Mpa.

Semelhante aos resultados da primeira contagem de germinação o índice de velocidade de germinação (IVG) dos genótipos de sementes de arroz de terras altas foi afetado pelo aumento do estresse hídrico das soluções de PEG 6000, evidenciando seu

efeito no atraso da germinação (Tabela 3). Por outro lado, o IVG foi menos sensível para expressar a qualidade das sementes germinadas a 0.0 Mpa, porque separou os genótipos em apenas duas classes de vigor: genótipos de alto (1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7) e baixo vigor (8, 9 e 10). No entanto, o potencial fisiológico dos genótipos 1 e 2 foi notável, mantendo-se os valores do IVG acima de 8.06 até o potencial osmótico de -0.4 Mpa. Em seguida, houve reduções significativas para valores do IVG, quando as sementes foram submetidas ao aumento dos potenciais osmóticos, para todos os genótipos avaliados (Tabela3).

Estes resultados reforçam a hipótese que os genótipos de sementes 1 e 2 são os mais tolerantes ao estresse hídrico induzido pelo PEG 6000. Principalmente, porque a velocidade de germinação é considerada a primeira variável de vigor afetada pela redução da disponibilidade de água (ZHANG et al., 2010). Sementes com tolerância à restrição hídrica pode ter implicações ecofisiológicas (FAROOQ et al. 2017), pois são capazes de responder efetivamente as mudanças ambientais e alterar sua fisiologia de germinação e assim terão maior probabilidade de sobreviver e se estabelecer (IBRAHIM et al., 2016; JHA et al., 2019).

Tabela 3. Índice de velocidade de germinação de sementes de arroz de terras altas (*Oriza sativa*), submetidas a tratamentos com diferentes concentrações de PEG 6000. São Luís - MA, 2019.

Genótipos	Tratamentos			
	T0	T1	T2	T3
1	8,80 a	8.75 a	8.06 a	4.53 a
2	8,87 a	8.84 a	8.14 a	3.46 b
3	8.63 a	7.45 b	7.95 a	1.82 c
4	8.20 a	6.62 c	6,23 c	3.74 b
5	8.56 a	7.15 c	6.05 c	1.02 d
6	8.59 a	7.75 b	6.94 b	0.81 d
7	8.06 a	7.76 b	4.63 e	2.24 c
8	7.80 b	6.44 c	5.87 c	2.49 c
9	7.43 b	5.14 d	4.76 d	1.54 c
10	7.65 b	6.62 c	6.07 c	2.37 c
CV (%) = 9.31				

*Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste de Skott-Knott. T0 = tratamento controle, água destilada e deionizada; T1 = -0.2 Mpa; T2 = -0.4 Mpa; T3 = -0.6 Mpa.

A resistência à seca é um fenômeno complexo que compreende vários processos físico- bioquímicos nos níveis celulares em diferentes estágios de desenvolvimento da planta. Inclui a fuga da seca através de um ciclo de vida curto ou plasticidade de desenvolvimento, prevenção de seca através da captação de água aumentada e perda de água reduzida, tolerância à seca via ajuste osmótico, capacidade antioxidante e tolerância à dessecação (YUE et al., 2006; GUIMARÃES et al., 2013).

Para o comprimento da parte aérea das plântulas, informações similares a G%, PC e IVG sobre o potencial fisiológico foram obtidas (Tabela 4). As diferenças foram significativas no comprimento da parte aérea das plântulas para todos os genótipos de sementes, quando o potencial osmótico foi diminuído para -0,6MPa. Contudo, a redução nos valores de comprimento da parte aérea da plântula foi mais acentuada do que o efeito sobre a germinação das sementes. Tais eventos podem ser explicados pela diminuição no metabolismo das sementes, em função da menor disponibilidade de água para digestão das reservas e translocação dos produtos metabolizados (BEWLEY e BLACK, 1994).

No entanto, verificou-se que o genótipo 1 apresentou maior comprimento da parte aérea com valor de 7.79 cm/plântula⁻¹ para o tratamento controle, mantendo-se o desempenho superior em todos os potenciais osmóticos, pois foi o menos afetado pelo estresse hídrico. Embora não tenha diferido estaticamente das plântulas do genótipo 2 avaliadas sob o potencial osmótico de -0.2MPa, seguido pelo genótipo 7 e 10, que apresentaram os melhores resultados (Tabela 4).

Tabela 4. Comprimento de parte aérea cm/plântula⁻¹ de arroz de terras altas (*Oriza sativa*), submetidas a tratamentos com diferentes concentrações de PEG 6000. São Luís - MA, 2019.

Genótipos	Tratamentos			
	T0	T1	T2	T3
1	7.79 a	4.48 a	7.61 a	3.95 a
2	6.93 b	4.23 a	6.77 b	3.08 b
3	6.25 c	3.58 b	6.55 b	2.08 c
4	6.34 c	3.36 c	6.11 b	2.99 b
5	6.13 c	2.71 d	5.26 d	1.91 c
6	4.96 d	3.45 c	6.26 b	3.18 b
7	5.32 d	4.09 a	6.31 b	2.73 b
8	5.98 c	2.73 d	5.82 c	3.20 b

9	5.06 d	3.41 c	5.74 c	2.76 b
10	6.43 c	4.14 a	5.44 d	3.00 b
CV (%) = 9.74				

*Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste de Skott-Knott. T0 = tratamento controle, água destilada e deionizada; T1 = - 0.2 Mpa; T2 = - 0.4 Mpa; T3 = - 0.6 Mpa.

Além do estresse hídrico afetar a embebição, a velocidade e a porcentagem de germinação, o primeiro efeito mensurável da baixa disponibilidade de água é uma redução no crescimento, ocasionada pela diminuição da expansão celular. O processo de alongamento celular e a síntese de parede celular são sensíveis ao estresse hídrico, por isso, a redução do crescimento seria causada por decréscimo da turgescência dessas células, exercendo efeito negativo principalmente na fase inicial da expansão celular (GUIMARÃES et al., 2016).

O estresse hídrico é a maior restrição à produção de arroz, afetando 19 milhões de hectares de arroz de terras altas. Espera-se que as mudanças climáticas aumentem a ameaça de escassez de água, agravando ainda mais a crise da água na agricultura. Como resultado, a identificação e seleção de genótipos de arroz combinando eficiência melhorada de uso da água e resistência à seca, se tornaram alvos prioritários para o melhoramento genético (CENTRITTO et al., 2009).

Quanto ao comprimento da raiz (Tabela 5), as plântulas dos genótipos 1 e 2 apresentaram comportamento semelhante, quanto aos parâmetros de potencial fisiológico, avaliados neste estudo. Além disso, os resultados obtidos na avaliação do comprimento das raízes foi o mais rigoroso padrão de qualidade em potencial de 0.0Mpa, pois possibilitaram a separação dos genótipos em quatro classes de vigor: alto vigor (1, 2 e 10), médio-alto (3 e 7), médio-baixo (4, 5 e 9) e baixo vigor (8). Adicionalmente, verificou-se que à medida que aumentava o estresse hídrico mesmo no potencial osmótico de -0.6Mpa ocorreram incrementos das taxas de alongamento radicular, para todos os genótipos de sementes avaliados (Tabela5). Ao final do processo germinativo ocorre com a emissão da radícula, que é a primeira parte da semente a emergir durante a germinação. Os resultados obtidos neste estudo sugerem que o mecanismo de aumento do sistema radicular, para todos os genótipos de sementes avaliados, foi acionado pelo efeito da deficiência hídrica, certamente pelo ajuste osmótico na zona de crescimento das raízes. Este induz aumento do potencial de pressão, que favorece o alongamento e a divisão celular e, por conseguinte, o crescimento radicular. Mecanismo de adaptação à restrição hídrica é desejável, pois, pode adequar às

plântulas as condições hídricas impostas pelos veranicos severos e imprevisíveis, comuns nas regiões produtoras de arroz de terras altas (YUE et al.,2006).

Tabela 5. Comprimento de radícula cm/plântula⁻¹ de arroz de terras altas (*Oriza sativa*), submetidas a tratamentos com diferentes concentrações de PEG 6000. São Luís - MA, 2019.

Genótipos	Tratamentos			
	T0	T1	T2	T3
1	9.89 a	12.53 a	12.05 a	10.23 a
2	10.13 a	11.37 a	11.49 a	7.93 b
3	8.78 b	9.82 b	11.55 a	7.27 b
4	7.15 c	9.84 b	11.45 a	9.54 a
5	6.26 c	11.86 a	10.50 b	9.45 a
6	5.00 d	11.24 a	11.29 b	6.11 c
7	8.18 b	10.29 b	10.33 b	7.81 b
8	5.52 d	11.04 a	12.61 a	10.59 a
9	6.93 c	10.56 b	10.67 b	8.76 a
10	9.60 a	12.02 a	11.80 a	9.32 a
CV (%) = 10.18				

*Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste de Skott-Knott. T0 = tratamento controle, água destilada e deionizada; T1 = - 0.2 Mpa; T2 = - 0.4 Mpa; T3 = -0.6 Mpa.

Há um conceito que está se tornando cada vez mais claro: o arroz de terras altas deve se adaptar a um estresse abiótico semelhante a outras culturas, como soja e milho, caso contrário, não será viável em sistemas de rotação. Para reduzir o risco para a cultura, além das práticas agronômicas mais adequadas que possibilitem melhor aproveitamento da água, recomendam-se novas cultivares com maior capacidade de adaptação à distribuição irregular da chuva (DEMIRAL e TURKAN, 2005). Alguns mecanismos morfofisiológicos podem estar relacionados com a tolerância à deficiência hídrica, como o uso moderado de água pela plântula, habilidade das raízes explorarem camadas mais profundas do substrato, maior relação entre raiz e parte aérea (CASTRO et al., 2011), como provavelmente ocorreu para alguns genótipos, neste estudo (Tabelas 4 e5).

5. CONCLUSÕES

Os testes de germinação, primeira contagem de germinação, índice de velocidade

de germinação e os comprimentos de parte aérea e raiz de plântulas são eficientes na avaliação do potencial fisiológico de genótipos de sementes de arroz de terras altas, fornecendo informações suficientes para a classificação dos genótipos quanto ao nível de vigor;

Os genótipos de arroz respondem de maneira diferenciada ao estresse hídrico, sendo o genótipo 2 o genótipo mais tolerante a restrição hídrica.

6.0 REFERÊNCIAS

ALVAREZ, R. C. F.; et al. Marcha de absorção de nitrogênio de cultivares de arroz de terras altas com diferentes tipos de plantas. **Científica**, v. 34, n. 2, p. 162-169, 2006.

ALVAREZ, R.C. F.; CRUSCIOL, C. A. C.; NASCENTE, A. S. Produtividade de arroz de terras altas em função de reguladores de crescimento. **Revista Ceres**, v. 61, n. 1, p. 42-49, 2014.

ARAÚJO, R. F.; et al. Teste de condutividade elétrica para sementes de pinhão-mansô (*Jatropha curcas* L.). **Idesia**, v. 29, n. 2, p. 79-86, 2011.

ARTHUR, T. J.; TONKIN, J. H. B. Testando o vigor da semente. **Informativo ABRATES**, v. 1, n. 3, p. 38-41, 1991.

AZAMBUJA, I. H. V. et al. Aspectos socioeconômicos da produção do arroz. In: GOMES, A. S.; MAGALHÃES Jr, A. M. Arroz irrigado no Sul do Brasil. Brasília: **Embrapa**, p. 23-44, 2004.

BERNIER, J.; et al. The large-effect drought-resistance QTL qtl12.1 increases water uptake in upland rice. **Field Crops Research**, v. 110, p. 139-146, 2009.

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. Seeds: physiology of development and germination. 2th ed. New York: **Plenum Press**, p. 445, 1994.

BORRMANN, D. **Efeito do déficit hídrico em características químicas e bioquímicas da soja e na degradação da clorofila, com ênfase na formação de metabolitos incolores**. 2009. 107f. Tese

(Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

BRASIL. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009, 395p.

BRASIL. **Padrões para produção e comercialização de sementes de arroz**. Brasília: MAPA, Instrução Normativa Nº 45, n. 183, 2013, 6p.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012. 590p

CARVALHO, I. R.; et al. Demanda hídrica das culturas de interesse agrônomo. **Enciclopédia biosfera, Centro Científico Conhecer**, v. 9, n. 17; p. 969-985, 2013.

CASTRO, A. P.; et al. Tolerância de linhagens elite de arroz de terras altas ao estresse hídrico. **In: Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 6., 2011, Búzios. Panorama atual e perspectivas do melhoramento de Plantas no Brasil. [Búzios]: SBMP, 2011. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/40922/1/3618.Pdf>> Acesso em: 05 mar. 2019.

CASTRO, A. P. et al. BRS A501 CL: Cultivar de Arroz de Terras Altas Resistente a Herbicida. **Comunicado técnico 242 in: Comitê Local de Publicações da Embrapa Arroz e Feijão**. Santo Antônio de Goiás, GO, 1.ed, 2018.

CENTRITTO, M.; et al. Leaf gas exchange, carbon isotope discrimination, and grain yield in contrasting rice genotypes subjected to water deficits during the reproductive stage. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, n. 8, p. 2325-2339, 2009.

COIMBRA, R. A.; et al. Testes de vigor utilizados na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de milho-doce. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 39, n. 9, p. 2402-2408, 2009.

CONAB.COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra brasileira de Grãos**: - Safra 2016/17 v. 4, n. 9 - nono levantamento: Brasília, junho, 2017. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 05 abr. 2019.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**: - Safra 2017/18, v. 5, n. 12 - Décimo segundo levantamento: Brasília, Setembro, 2018. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 05 abr. 2019.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra brasileira de grãos**: Quinto levantamento, fevereiro de 2019 - Safra 2018/19 v.6, n. 5: Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2019. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

CRUSCIOL, C. A. C.; et al. Yield of upland rice genotypes in rainfed and sprinkler-irrigated systems in the Cerrado region of Brazil. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 46, n. 3, p. 1515-1520, 2006.

CUSTÓDIO, C. C. Testes rápidos para avaliação do vigor de sementes: uma revisão. **Colloquium Agrariae**, v. 1, n. 1, p. 29-41, 2005.

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

FANTI, S. C.; PEREZ, S. C. J. G. A. Efeitos do estresse hídrico e térmico no processo

germinativo de sementes de *Andenantha pavonina* L. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 20, n. 1, p. 167-177, 1998.

FARIAS, J. R. B. Limitações climáticas à obtenção de rendimentos máximos de soja. In.: CONGRESO DE LA SOJA DEL MERCOSUR, 5.,2011, Rosario, Argentina. Anais...Rosário: Asociación de la Cadena de la Soja Argentina, 2011. p. 4.

FERREIRA, C. M.; et al. **Qualidade do arroz no Brasil**: Evolução e padronização. Santo Antônio de Goiás, GO: **Embrapa Arroz e Feijão**, 2005.

GUEDES, R. S.; et al. Germinação e vigor de sementes de *Apeiba tibourbou* submetidas ao estresse hídrico e diferentes temperaturas. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 1, p. 4553, 2013.

GUIMARÃES, C. M.; et al. 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, p. 257-288, 2006.

GUIMARÃES, C. M.; et al. Tolerância dos genótipos de arroz de terras altas ao déficit hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 8, p. 805-810, 2013.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; SILVA, A. C. L. Evapotranspiração e rendimento de grãos de arroz de terras altas afetados pelo déficit hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 5, p. 441-446, 2016.

HARDEGREE, S. P.; EMMERICH, W. E. Seed germination in response to polyethylene glycol solution. **Seed Science and Technology**, v. 22, n. 1, p. 1-7, 1994.

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

HEINEMANN, A. B.; STONE, L. F.; FAGERIA, N. K. Resposta da taxa de transpiração ao déficit hídrico nas fases vegetativa e reprodutiva de cultivares de arroz de terras altas. **Scientia agrícola**, v. 68, n. 1, p. 24-30, 2011.

IBRAHIM, E. A. et al. Seed priming to alleviate salinity stress in germinating seeds. **Journal of Plant Physiology**, v. 192, n. 2, p. 38-46, 2016.

INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE - IRRI. **Annual Report 2012**.

Disponível em:<http://irri.org/index.php?option=com_k2&view=item&id=3Aachance-in-the-wild&lang=en>. Acesso em: 02 Abr. 2019.

ISTA. INTERNACIONAL SEED TESTING ASSOCIATION. Seed vigour testing. **International Rules for Seed Testing**. Zurich: ISTA, 2014.

ISELY, D. Vigor tests. **Proceedings of association of official seed analysts**. v. 47, n. 1, p. 176- 182, 1957.

- JHA, U. C. et al. Salinity stress response and 'omics' approaches for improving salinity stress tolerance in major grain legumes. **Plant Cell Reports**, v. 38, n. 3, p. 255-277, 2019.
- KHUSH, G. S. What it will take to feed 5.0 billion rice consumers in 2030. **Plant Molecular Biology**, v. 59, n. 2, p. 1-6, 2005.
- KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: Abrantes, p. 1-21, 1999.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal, traduzido por: Prado, C. H. B. A.** (Ed.). São Carlos, Rima, p. 531, 2006.
- LOPES, J. C.; MACEDO, C. M. P. Germinação de sementes de couve chinesa sob influência do teor de água, substrato e estresse salino. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 3, p. 79-85, 2008.
- LORENÇONI, R.; NETO, D. D.; HEINEMANN, A. B. Calibração e avaliação do modelo ORYZA- APSIM para o arroz de terras altas no Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 4, p. 605-613, 2010.
- MACHADO, E. C. Trocas gasosas e relações hídricas em dois cultivares de arroz sequeiro, submetidos a deficiência hídrica, em diferentes fases do crescimento vegetativo. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 8, n. 2, p. 139-147, 1996.
- MAGALHÃES JUNIOR, A. M.; et al. Aspectos Genéticos, Morfológicos e de Desenvolvimento de Plantas de Arroz Irrigado. In: Arroz Irrigado no Sul do Brasil. **Embrapa Informação Tecnológica**, Brasília, DF, ed.21, p. 143-159, 2004.
- MAGUIRE, J. D. Speed of germination: aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. **Crop Science**, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962.
- MARCOS FILHO, J. Teste de vigor: importância e utilização. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. Vigor de sementes: conceito e testes. Londrina: ABRATES, p.1-21, 1999.
- MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2005, 495p.
- MARCOS FILHO, J. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 4, p. 363-374, 2015b.
- MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Londrina: ABRATES, 2015, 659pa.
- MARTINS, A. B. N.; et al. Analysis of seed quality: a nonstop evolving activity. **African Journal of Agricultural Research**, v. 9, n. 49, p. 3549-3554, 2014.
- MARTINS, C. C.; PEREIRA, M. R. R.; LOPES, M.T.G. Germination of eucalyptus seeds under water and salt stress. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 3, p. 318-329, 2014.

- McDONALD, M. B. The history of seed vigour testing. **Journal of Seed Technology**, v. 17, n. 2, p. 93-100, 1993.
- NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: Abrates, Cap. 2, p. 1-24, 1999.
- OLIVEIRA, A. K. M.; et al. Germinação de sementes de paineira-do-campo (*Eriotheca gracilipes* (K. Schum.) A. Robyns) em diferentes temperaturas. **Científica**, v. 42, n. 4, p. 316-324, 2014.
- RANGEL, P. H. N. **Desenvolvimento de cultivares de arroz irrigado para o Estado do Tocantins**. **Lavoura Arrozeira**, v. 48, p. 11- 13, 1995.
- SAGRIMA. **1º Boletim do perfil da agricultura maranhense**. Maranhão, p. 18, 2016.
- SAITO, K.; et al. Progress in varietal improvement for increasing upland rice productivity in the tropics. **Plant Production Science**, v. 21, n. 3, p. 145-158, 2018.
- SHAO, H. B.; et al. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, v. 331, n. 4, p. 215-225, 2008.
- SHARF, A. F. Correlation of germination data of corn and soybean seed lots under laboratory, greenhouse, and filed conditions. **Proceedings of the Association of Seed Analysts**, v. 43, n. 4, p. 127-130, 1953.
- SIMONI, F.; et al. Sementes de *Sorghum bicolor* L. - Gramineae, submetidas ao estresse hídrico simulado com PEG (6000). **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, v. 11, n. 1, p. 188-192, 2011.
- SOUZA, G. M.; CARDOSO, V. J. M. Efeccts of different environmental stress on seed germination. **Seed Science and Technology**, v. 28, n. 3, p. 621-630,2000.
- SOUZA, L. C. D. DE.; YAMASHITA, O. M.; CARVALHO, M. A. C. Qualidade de sementes de arroz utilizadas no norte de Mato Grosso. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 2, p. 223-228, 2007.
- STEFANELLO, R. et al. Efeito da luz, temperatura e estresse hídrico no potencial fisiológico de sementes de funcho. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 2, p. 135-141, 2006.
- TAYLOR, A. G.; HARMAN, G. E. Concepts and technologies of selected seed treatments. **Annual Review Phytopathology**, v. 28, n. 3, p. 321-339, 1990.
- TERRA, T. G. R. **Avaliação de Características Morfofisiológicas de Tolerância a Seca em uma Coleção Nuclear de Acessos de Arroz de Terras Altas (*Oryza sativa* L.)**. 2008. Dissertação (Programa de pós-graduação Produção Vegetal) Universidade Federal do Tocantins, Gurupi 2008.
- TERRA, T. G. R.; et al. Tolerância de linhagens de arroz de terras altas à seca. **Pesquisa**

Agropecuária Tropical, v. 43, n. 2, p. 201-208, 2013.

TUNES, L. M.; TAVARES, L. C.; BARROS, A. C. S. A. Envelhecimento acelerado como teste de vigor para sementes de arroz. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 35 n. 1, p. 120-127, 2012.

VIEIRA, N. R. A.; RABELO, R. R. Qualidade tecnológica. In: SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. A. **A cultura do arroz no Brasil**. 2. ed. Santo Antônio da Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, cap. 23. p. 869-900, 2006.

VILLELA, F. A.; DON FILHO, L.; SIQUEIRA, E. L. Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietileno glicol 6000 e da temperatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 11/12, p. 1957-1968, 1991.

WANG, X.; et al. 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**, v. 6, n. 5, p. 382-388, 2005.

WOODSTOCK, L. W. Seed vigor. **Seed World**, v. 97, n. 3, p. 6, 1965.

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

YUE, B.; et al. Genetic basis of drought resistance at reproductive stage in rice: separation of drought tolerance from drought avoidance. **Genetics**, v. 172, n. 4, p. 1213-1228, 2006.

ZHANG, H. et al. The effects of salinity and osmotic stress on barley germination rate: sodium as an osmotic regulator. **Annals of Botany**, v. 106, n. 6, p. 1027-1035, 2010.

ZHANG, H. et al. Influence of salinity and temperature on seed germination rate and the hydrotime model parameters for the halophyte, *Chloris virgata*, and the glycophyte, *Digitariasanguinalis*. **South African Journal of Botany**, v. 78, n. 4, p. 203-210, 2012.

ZHANG, W. et al. Ecosystem structural changes controlled by altered rainfall climatology in tropical savannas. **Nature Communications**, v. 10, n. 671, p.1-7, 2019.