



**ANNA RAKHEL TERRA REIS**

**AÇÃO PROTETORA DE MOLÉCULAS SINALIZADORAS  
EM SEMENTES DE ARROZ SUBMETIDAS A ESTRESSE  
HÍDRICO**

**LAVRAS-MG**

**2021**

**ANNA RAKHEL TERRA REIS**

**AÇÃO PROTETORA DE MOLÉCULAS SINALIZADORAS EM SEMENTES DE  
ARROZ SUBMETIDAS A ESTRESSE HÍDRICO**

Monografia de conclusão de curso apresentada ao Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

Profª. Dra. Heloisa Oliveira dos Santos  
Orientadora

**LAVRAS-MG  
2021**

**ANNA RAKHEL TERRA REIS**

**AÇÃO PROTETORA DE MOLÉCULAS SINALIZADORAS EM SEMENTES DE  
ARROZ SUBMETIDAS A ESTRESSE HÍDRICO**

**PROTECTIVE ACTION OF SIGNALING MOLECULES IN RICE SEEDS  
SUBMITTED TO WATER STRESS**

Monografia de conclusão de curso  
apresentada ao Departamento de Agricultura da  
Universidade Federal de Lavras como parte das  
exigências do curso de Agronomia, para a  
obtenção do título de Bacharel.

Aprovada em: 18 de novembro de 2021

Profa. Dra. Heloisa Oliveira dos Santos  
Msc. Jéssica Batista Ribeiro  
Msc. Marília Mendes dos Santos Guaraldo

UFLA  
UFLA  
UFLA

Profa. Dra. Heloisa Oliveira dos Santos  
Orientadora

**LAVRAS-MG  
2021**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por todas as bênçãos concedidas para que eu pudesse chegar até aqui.

Aos meus pais, Carlos e Odda, obrigado pelo apoio incondicional, por tanto amor, por tanta paciência, por todos os ensinamentos. Obrigada por não me deixarem desistir. Eu nada seria sem vocês. Vocês são meus exemplos. Essa conquista é nossa. Eu amo vocês, além da vida.

Aos meus familiares, em especial as minhas sobrinhas, Flávia e Maria, que são meus grandes amores. Por vocês e para vocês, sempre.

Agradeço também aos professores da Universidade Federal de Lavras por todos os ensinamentos compartilhados, todo carinho e atenção.

Obrigada a todos os colegas de classe e amigos, por fazerem com que o percurso dessa caminhada fosse mais fácil. À Amanda, Marília, Camila e Nicholas, por todo companheirismo, amizade, conselhos, e por estarem sempre dispostos a me ajudar durante esses anos. Levarei vocês para sempre no meu coração.

A todos os meus amigos de vida, obrigada por entenderem minha ausência e por sempre me apoiarem em todas as minhas decisões. Mesmo distante, estiveram presentes. Em especial, Rafael, Lauren, Carol, Kenya e Guilherme. Eu amo vocês.

Aos colegas do GHPD, obrigada por todos os ensinamentos e momentos vividos. Lugar onde fiz grandes amigos para a vida toda. Vocês fazem parte da minha história.

Agradeço a minha orientadora Heloísa, nossa mãe da UFLA, pela amizade, por todo carinho, amor, dedicação, paciência. Obrigada por cuidar tão bem de nós. Aos colegas e amigos do Laboratório de Análise de Sementes, em especial a Jéssica, por toda ajuda e força em todos os momentos.

E por fim agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização de mais um sonho. Muito obrigada.

## RESUMO

O estresse por seca pode acarretar sérios danos para o arroz de terras altas, resultando na redução da produtividade. Estando o mercado cada vez mais competitivo reforça a importância do uso de sementes de alta qualidade fisiológica com germinação rápida e que resulte em um estande uniforme e vigoroso. Estudos sobre a influência de tratamentos pré-semeadura, como o condicionamento fisiológico, são importantes para o cultivo de arroz e o estabelecimento de estande uniforme em campo. Diante do exposto, objetivou-se neste trabalho, determinar a eficiência do condicionamento fisiológico de sementes de *Oryza sativa* cv. BRSSoberana na presença de moléculas sinalizadoras para a indução de tolerância a estresse hídrico. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições, em esquema fatorial (5x2)+1, sendo cinco soluções condicionantes, duas condições de germinação e um controle (sem condicionamento e sob condição normal de germinação). As sementes foram submetidas ao condicionamento fisiológico, o qual foi realizado em BOD regulada a 25°C, sem luz e adaptada com um compressor de ar, responsável por manter as soluções aeradas, por um período de 20 horas. Como soluções condicionantes utilizou-se ácido indolacético (100µM), quitosana (0,75mM), melatonina (1mM) e solução doadora de ON, nitroprussiato de sódio (100µM). As sementes condicionadas e não condicionadas (controle), foram submetidas a condição de restrição hídrica induzida por polietileno glicol 6000 – PEG, - 0,9Mpa. A qualidade fisiológica foi determinada por meio dos testes de primeira contagem e germinação. Conclui-se que o condicionamento fisiológico se apresenta como uma boa técnica para melhorar o vigor de sementes de arroz, sob estresse a seca. O condicionamento fisiológico em solução de nitroprussiato de sódio aumenta o vigor de sementes de arroz, submetidas a déficit hídrico.

**Palavras-chave:** *Oryza sativa*, condicionamento fisiológico, tolerância a seca.

## ABSTRACT

Drought stress can severely damage upland rice, resulting in reduced yields. As the market is increasingly competitive, it reinforces the importance of using seeds of high physiological quality with rapid germination and resulting in a uniform and vigorous stand. Studies on the influence of pre-sowing treatments, such as physiological conditioning, are important for rice cultivation and the establishment of a uniform stand in the field. Given the above, the objective of this work was to determine the efficiency of the physiological conditioning of seeds of *Oryza sativa* cv. BRS Soberana in the presence of signaling molecules for the induction of tolerance to water stress. The design used was completely randomized, with four replications, in a factorial scheme (5x2)+1, with five conditioning solutions, two germination conditions and a control (without conditioning and under normal germination conditions). The seeds were submitted to physiological conditioning, which was carried out in BOD regulated at 25°C, without light and adapted with an air compressor, responsible for keeping the solutions aerated, for a period of 20 hours. As conditioning solutions, indoleacetic acid (100µM), chitosan (0.75mM), melatonin (1mM) and NO donor solution, sodium nitroprusside (100µM) were used. Conditioned and unconditioned seeds (control) were subjected to a water restriction condition induced by polyethylene glycol 6000 – PEG, - 0.9Mpa. Physiological quality was determined through first count and germination tests. It is concluded that physiological conditioning is a good technique to improve rice seed vigor under drought stress. Physiological conditioning in a sodium nitroprusside solution increases the vigor of rice seeds submitted to water deficit.

**Keywords:** *Oryza sativa*, physiological conditioning, drought tolerance

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>11</b>
<b>2.1. A cultura do arroz e sua importância econômica.....</b>	<b>11</b>
<b>2.2. Estresse hídrico na cultura do arroz.....</b>	<b>12</b>
<b>2.3. Condicionamento fisiológico de sementes.....</b>	<b>14</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>17</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>19</b>
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>23</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>24</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa*) é considerado a espécie de maior potencial de aumento de produção no combate à fome mundial, por ser uma excelente fonte de energia, vitaminas e de proteínas necessárias ao homem, além de compor a dieta básica diária de mais de 50% da população mundial (SNEYD, 2016).

O Brasil é um dos principais produtores de arroz mundial, ficando atrás apenas de alguns países do continente Asiático. Na safra 2019/20 a produção ficou em torno de 11,7 milhões de toneladas. Espera-se uma exportação de aproximadamente 1,5 milhões de toneladas, com um cenário positivo para uma alta demanda internacional e preços nacionais competitivos no mercado externo. (CONAB, 2020). Por empregar altas tecnologias e pela sua dimensão territorial, o país pode ampliar sua produção e distribuição do grão.

No Brasil existem dois sistemas de produção, o arroz irrigado e o arroz de sequeiro, também conhecido como arroz de terras altas. A maior concentração de produção se dá na Região Sul, responsável por 82,7% da oferta nacional, este sendo o arroz irrigado (CONAB, 2019). O cultivo do arroz de sequeiro destaca-se na região centro-oeste do Brasil. Nessa região, a pluviometria anual está em torno dos 1200-1500 mm. Todavia, durante alguns meses, podem ocorrer períodos de estiagens com precipitação pluvial abaixo do normal, principal causa da baixa produtividade e instabilidade de produção do arroz de terras altas (LANNA et al., 2012). Quando o déficit hídrico ocorre no período de florescimento pode causar danos irreversíveis no desenvolvimento da planta.

As sementes são a principal fonte de transferência de qualidade e tecnologia para o campo, por isso caracterizam-se como um importante meio de melhora da adaptação a estresses bióticos ou abióticos, especialmente no início do desenvolvimento da cultura, ao qual sementes mais vigorosas apresentam melhor estabilidade e uniformidade de germinação no estande (LAWLOR; CORNIC, 2002). O déficit hídrico é um dos principais fatores que afetam a produção e a qualidade das sementes. Farias (2006) e Nogueira (2001) mostram que o estresse hídrico, é o principal agente da redução da qualidade em sementes.

Nesse contexto por reduzir o tempo de germinação e padronizar este processo, o condicionamento fisiológico de sementes propicia mais tolerância sob condições desfavoráveis no campo e diminui os efeitos das variações ambientais. Isso permite que a germinação ocorra em diferentes condições de temperatura, luz, solo e disponibilidade de água, e possibilita ainda, elevado desenvolvimento da parte aérea e aceleração no crescimento das plantas (ZHANG et al., 2016; BONOME et al., 2017; BATISTA et al., 2018; PEREIRA et al., 2018;). Como esses processos iniciais da germinação são ativados ainda em condições ótimas, a técnica fornece uma

vantagem às sementes, quando estas forem expostas às condições adversas de déficit hídrico ou outros tipos de estresse.

Associado ao condicionamento fisiológico estudos relacionados à adaptação de culturas ao clima, com a utilização de moléculas que aumentam a tolerância ao estresse, são cada vez mais necessários para combater os efeitos negativos de ambientes desfavoráveis, principalmente relacionados ao processo germinativo de sementes e estabelecimento de plântulas. Várias moléculas naturais e produtos químicos sintéticos têm sido trabalhados com o intuito de proteger plantas. Dentre estas moléculas podem ser citados a melatonina, ácido indolacético (AIA), óxido nítrico, peróxido de hidrogênio e quitosana. A ação destes produtos contra estresses abióticos parece estar associada aos mecanismos de defesa, ou seja, atuam como moléculas sinalizadoras da indução de rotas de proteção oxidativa. Além de sua proteção contra o efeito do estresse, algumas dessas moléculas, a exemplo da melatonina e do ácido indolacético, também podem estimular o crescimento e desenvolvimento das plântulas e plantas (KERCHEV et al, 2020). Embora estes produtos atuem na promoção da tolerância de diferentes espécies vegetais a estresses abióticos, não há estudos que relacionem a aplicação exógena desses, via condicionamento fisiológico, sob condições de seca durante o processo de germinação e desenvolvimento de plântulas.

Diante do exposto, é importante avaliar os benefícios do condicionamento fisiológico e a utilização de moléculas sinalizadoras em relação ao aumento da tolerância ao estresse hídrico durante os processos de germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de arroz.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. A cultura do arroz e sua importância econômica

O arroz é um dos principais grãos em termo de interesse econômico. É o terceiro cereal mais produzido no mundo e é considerado o principal alimento por mais da metade da população mundial, principalmente na Ásia e Oceania, onde vivem cerca de dois terços da população subnutrida mundial. Segundo a FAO, até 2050, haverá uma demanda para atender aproximadamente 5 bilhões de pessoas. No Brasil, o arroz é consumido especialmente na forma de grãos inteiros. Quase 95% da população brasileira consomem arroz pelo menos uma vez ao dia. O consumo maior, ainda é de arroz branco polido. Em segundo lugar aparece o arroz parboilizado e em terceiro o arroz integral. (ELIAS et al,2012). Segundo dados do USDA a produção mundial ficara em torno de 497,8 milhões de toneladas na safra 2019/2020, redução de aproximadamente 1,3 toneladas em relação a safra anterior. Os maiores produtores mundiais são China e Índia, com produção em torno de 148,9, 11,63 de toneladas, respectivamente (USDA, 2019). Sendo 10,6 toneladas de grãos produzidas no Brasil. (CONAB, 2019). No Brasil, estima-se colher aproximadamente 10,4 milhões de toneladas na safra 2019/2020, enquanto o consumo ficará em torno de 11 milhões de toneladas em 2019/2020 (CONAB, 2019).

O arroz é uma gramínea autógama, de origem aquática, pertencente ao gênero *Oryza*, o qual possui cerca de vinte espécies sendo a mais cultivada a *Oryza sativa* L. Caracterizada como uma planta anual, de ciclo C<sub>3</sub> com grande adaptação a ambientes aquáticos e quentes. O centro de origem da cultura se encontra no sudeste asiático, onde se encontra os maiores produtores e consumidores do mundo.

No Brasil o cultivo é caracterizado em dois sistemas de produção denominados de várzeas e terras altas. O sistema de várzea utiliza a irrigação por inundação, que oferece melhores condições de desenvolvimento para a cultura. Já o sistema de terras altas é o sistema também conhecido como sequeiro, que possuem algumas limitações, como a desigual distribuição de água e nutrientes afetando todo o ciclo da cultura e produção, pode ser em sistema de sequeiro tradicional ou sistema de sequeiro sob irrigação suplementar (MORAIS et al.,2004).

O sistema de várzea é mais comum na região sul do Brasil, principalmente nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, sendo responsável por aproximadamente 90% da produção nacional. Já o sistema de terras altas tem como principais produtores os estados de Mato Grosso e Maranhão, tendo este uma área plantada três vezes menor que o de várzea. A

produtividade do arroz de terras altas é inferior que a do arroz inundado, enquanto que no sistema de várzea a produtividade as estimativas são, em média 7.503 t/ha, no de sequeiro a média é de 2.283 t/ha (IBGE, 2017). Apesar disso, o arroz de sequeiro tem grande potencial para aumentar sua produtividade.

No início do desenvolvimento da de terras altas no Brasil, pouco exigente em insumos agrícolas e tolerantes a solos ácidos, a cultura se destacou como uma das primeiras culturas no processo de ocupação agrícola do cerrado, iniciado nos anos 60. Atualmente ainda é utilizado para recuperação de áreas degradadas ou para preparar o solo para uma posterior cultivo de soja ou milho. Os estados de Tocantins e Mato Grosso são os principais produtores dessa variedade, nestes estados o seu uso está associado à abertura e recuperação de áreas antecedendo o cultivo de outras culturas (IBGE, 2021). Mas é importante que o arroz de terras altas volte a ter papel importante no abastecimento nacional, devido sua importância na dieta da população (GUIMARÃES et al.,2006).

Dentre as causas da menor produtividade do arroz de sequeiro estão relacionadas ao estresse hídrico e estresse salino. O desenvolvimento de cultivares tolerantes a estresses abióticos, é uma das estratégias promissoras para melhoras a produtividade do arroz de terras altas (KUMAR et al., 2008). Dessa forma, a descoberta de materiais mais tolerantes e produtivos e, com sementes de alto vigor e que proporcione germinação rápida e uniforme é de grande importância para que se consiga suprir a demanda populacional.

## **2.2. Estresse hídrico na cultura do arroz**

O arroz é uma cultura bastante vulnerável a estresses abióticos como seca, salinidade, temperaturas extremas, deficiência de nutrientes que, em conjunto, ou isoladamente exercem um grande impacto sobre o seu rendimento (STEINMETZ et al., 2006; MORISON et al., 2007; ROY et al., 2011). O cultivo do arroz de terras altas, sem irrigação, é totalmente dependente da ocorrência de precipitação, logo, fica muito vulnerável aos períodos de estiagens e veranicos. Durante estes períodos ocorrem ainda altos níveis de radiação solar, temperaturas elevadas, o que compromete o crescimento e desenvolvimento da planta, podendo causar perda total da lavoura (FILHO et al., 2010).

A água, dentre todos os recursos necessários ao crescimento e desenvolvimento, é o mais limitante para a produtividade agrícola por ser essencial a diversos processos metabólicos das plantas (SOUZA et al., 2001). Ela atua como solvente, para que minerais e outros solutos possam entrar e movimentar dentro da planta. Também é fundamental na fotossíntese e na

hidrólise do amido em açúcar, além de um papel fundamental no crescimento do vegetal (TAIZ; ZEIGER, 2013).

No Brasil, por se tratar de um país tropical, existe uma vasta variação climática, desse modo é comum existirem períodos longos sem precipitação ou irregularmente distribuídas, causando grandes perdas econômicas. Farias (2006) e Nogueira (2001) mostram que a falta de água, ou estresse hídrico, é o principal agente de redução da qualidade de sementes.

A severidade e a frequência com que o estresse é imposto afetam vários órgãos e tecidos das plantas, sendo que a planta pode apresentar diferentes níveis de resposta dependendo do estágio de seu desenvolvimento (Fritsche-Neto et al., 2011). Para a cultura do arroz de terras altas, sob condições de deficiência hídrica, observa-se uma redução na altura da planta, decréscimo do número de perfilhos (Terra et al., 2013), redução no número de panículas (Stone et al., 1984; Terra et al., 2013), redução no acúmulo de biomassa e na produção dos grãos (Stone et al., 1984), atraso no florescimento, esterilidade das espiguetas (Terra et al., 2013), diminuição da área foliar e na taxa fotossintética (Tezara & Lawlor, 1999) e aumento do número de grãos gessados (TOOLE, 1982; CAI et al. 2006), sendo que fatores como período em que a planta é submetida a estresse, duração do estresse e outras condições ambientais podem interferir no desempenho da planta quanto à produção.

A tolerância à deficiência hídrica é definida como a adaptação da planta à condição menos favorável de disponibilidade hídrica. Apesar de não existir tolerância absoluta à deficiência hídrica, é notório que a planta possui diferentes mecanismos que minimizam o efeito desse estresse sobre a sua produtividade (Lanna et al., 2012). Tais mecanismos são caracterizados pelo escape, prevenção e tolerância. No escape, as plantas apresentam um rápido desenvolvimento fenológico, reduzindo o ciclo através da antecipação da floração e sendo capazes de evitar a deficiência hídrica severa a ponto de provocar danos morfológicos e fisiológicos. A prevenção caracteriza-se pela manutenção do potencial de água elevado nos tecidos, diminuindo a transpiração através de diversos mecanismos como, por exemplo, o fechamento estomático, redução área foliar e mantendo a absorção de água através de um sistema radicular eficiente. Já a tolerância se refere a um conjunto de características que permite a planta manter o metabolismo mesmo com redução de potencial hídrico nos tecidos, podendo estar associados ao acúmulo de solutos, proteínas osmorreguladoras e à capacidade antioxidante (Verslues et al., 2006). Os processos da resposta da planta ao estresse da seca são complexos e interligados, compreendendo a percepção do sinal de estresse, transdução/amplificação do sinal, seguido por respostas adaptativas em níveis morfológicos, fisiológicos e moleculares (Hu & Xiong, 2014).

Grandes esforços de pesquisa têm sido dedicados à compreensão dos mecanismos de resposta de plantas de arroz ao estresse de seca a fim de desenvolver novas cultivares mais tolerantes e com potencial para serem utilizadas pelos programas de melhoramento genético (Baldoni et al., 2016). Contudo, para a cultura do arroz, ainda pouco se sabe quanto à tolerância

a estresse hídrico, principalmente no de cultivo em sequeiro. Logo, uma melhor elucidação quanto os meios de tolerância a estresse a seca no início da formação de uma planta possuem uma relevante importância nas pesquisas.

### 2.3. Condicionamento fisiológico de sementes

A utilização de sementes com alta qualidade fisiológica que proporcione um estande uniforme e vigoroso é de fundamental importância para o êxito econômico das culturas. À medida em que os agricultores tomam conhecimento da importância de utilizar sementes de boa qualidade o mercado se torna cada vez mais exigente por sementes com germinação rápida e uniforme, com o intuito de reduzir o tempo de exposição das culturas no campo, reduzir a competição com plantas daninhas e otimizar a colheita.

Neste cenário, desde 1970 pesquisadores tentam melhorar a germinação das sementes com tratamentos pré-semeadura que envolvam o metabolismo de germinação. Dentre os tratamentos que visam melhorar a desempenho das sementes em germinação, os de pré-semeadura, que promovem o início do metabolismo de germinação, merecem maior destaque (HEYDECKER & COOLBEAR, 1977). Entre os procedimentos desenvolvidos pré-semeadura, destaca-se o condicionamento fisiológico ou *priming*, em virtude dos benefícios sobre o desempenho das sementes (MARCOS FILHO, 2015; BONOME et al., 2017; BATISTA et al., 2018).

O condicionamento fisiológico permite a hidratação controlada de sementes para reativar processos metabólicos normalmente ativados durante a fase inicial da germinação (fases I e II), mas sem que ocorra a protrusão radicular (PAPARELLA et al., 2015). Dessa forma, a digestão de reservas, sua translocação e assimilação são ativadas para que as sementes alcancem estado metabólico relativamente uniforme, momento em que o acesso a água é interrompido. As sementes que atingem, mais rapidamente, o potencial hídrico desejado, aguardam as menos vigorosas atingirem o mesmo estado metabólico (HEYDECKER; GIBBINS, 1997). Assim, a germinação é praticamente instantânea após o condicionamento fisiológico, ocasionando uma redução da diferenciada atividade metabólica das sementes mais e menos vigorosas, resultando em germinação uniforme.

Existem várias técnicas de condicionamento fisiológico utilizadas e a classificação depende dos agentes primários. Estes incluem, dentre outros, o hidrocondicionamento, no qual as sementes são embebidas com imersão direta em água sob condições ótimas de temperatura; matriz sólida, onde as sementes são misturadas em material sólido, orgânico e inorgânico, permitindo também o controle da entrada de água (PAPARELLA et al., 2015) e; osmocondicionamento, que

utiliza soluções de baixo potencial hídrico para limitar a entrada de água na semente. O composto utilizado deve ser quimicamente inerte, mas osmoticamente ativo, como o NaCl, KNO<sub>3</sub>, MgSO<sub>4</sub> e polietileno glicol (PEG), em temperaturas e períodos definidos (BHANUPRAKASH; YOGESHHA, 2016).

É importante ressaltar que, para que haja sucesso, alguns fatores devem ser manuseados cuidadosamente como temperatura, luz, concentração da solução, período de duração do tratamento, o tipo de soluto a ser utilizado, o método e tempo de secagem após o condicionamento. Tais fatores variam consideravelmente dependendo da espécie que será trabalhada, do lote, das condições edafoclimáticas, do tamanho e tratamento que as sementes irão receber, desde a época de sua produção e ao longo de sua vida (CARDOSO et al., 2015).

Além disso, o tipo de soluto utilizado pode influenciar no sucesso do tratamento, sendo que o melhor agente condicionante varia entre as espécies (OLIVEIRA, 2016). Vários agentes condicionantes podem ser utilizados no condicionamento fisiológico das sementes, dentre eles a melatonina, ácido indol acético (AIA), óxido nítrico, peróxido de hidrogênio e quitosana (PIRES et al, 2016).

O óxido nítrico é subministrado por meio de compostos doadores, os quais se destacam o Nitroprussiato de Sódio, Citrato de Sildenafil, S-Nitrosoglutathione e S-nitroso-N-acetilpenicilamina; por sua capacidade de conter os danos causado pelo estresse oxidativo em plantas (POPOVA; TUAN, 2010; FERREIRA et al., 2011; ZANOTTI et l., 2013). Se destaca como uma importante molécula de sinalização com diversas funções fisiológicas desempenhando um papel crucial em processos celulares, crescimento e desenvolvimento, no metabolismo respiratório, senescência e maturação, bem como em respostas das plantas aos estresses abióticos e bióticos como a salinidade (ZHAO et al., 2004; ZHANG et al., 2006), e a seca (GARCÍA-MATA; LAMMATINA 2002).

Em condições de estresse o óxido nítrico atua como protetor, e sua resposta é dada por vários mecanismos, como a indução da expressão de genes de defesa (DURNER et al.,1998), a biossíntese de clorofilas e o desenvolvimento de cloroplastos (GRAZIANO; LAMMATINA,2005), inibição da peroxidação lipídica (BOVERIS et al., 2000), estes mecanismos são alguns dos que ajudam na preservação da integridade das membranas e na redução do vazamento do conteúdo celular (SILVA et l., 2016).

O ácido 3-indolacético (AIA) é a principal auxina das plantas, sendo o aminoácido triptofano aceito como precursor de sua síntese além de ser um dos principais grupos de hormônios envolvidos no desenvolvimento dos vegetais (TAIZ; ZEIGER, 2009). É identificado principalmente nos tecidos e órgãos em crescimento (SAMPAIO, 1998). São conhecidas por conferir maior quantidade de raízes, de melhor qualidade e em menor tempo (XAVIER, 2002).

O peróxido de hidrogênio pode ser produzido no metabolismo das plantas por via enzimática direta e, indireta por oxidases como NADPH oxidase que produz o anión superóxido,

dismutado a  $H_2O_2$  pela superóxido dismutase. Outros processos fisiológicos também ajudam paraa formação do  $H_2O_2$  celular, como por exemplo: a transferência de elétrons em cloroplastos emitocôndrias e na oxidação do glicolato nos peroxissomas (Niu e Liao, 2016; Khan et al., 2018).

Em condições normais, o  $H_2O_2$  produzido em diferentes partes da planta, interpõe-se em vários processos fisiológicos durante todas as fases de desenvolvimento das plantas, tais como: carbonilação de proteínas específicas e ativação de enzimas chave durante a germinação de sementes (Barba-Espin et al., 2011; Ishibashi et al., 2017), aceleração do crescimento de raízes primárias e laterais (Hernandez-Barrera et al., 2015) e fechamento estomático (Ge et al., 2015). No entanto, em condições de estresses abióticos, diferentes estudos mostram o papel central do  $H_2O_2$  nas vias de sinalização melhorando as respostas das plantas em condições de seca (Ishibashi et al., 2011), salinidade (Bagheri et al., 2019), metais pesados (Hasanuzzaman et al., 2017) e encharcamento (Andrade et al., 2018).

A melatonina é uma indolamina produzida endogenamente em todo o Reino Vegetal e Animal, cuja concentração nas plantas varia nos diferentes tecidos e de acordo com o estágio de desenvolvimento (REITER et al., 2015). É descrita como promotora de tolerância a estresses em plantas (ARNAO; HERNÁNDEZ-RUIZ, 2014), visto que sua síntese nas plantas, quando estas estão expostas a estresses bióticos e abióticos, limita os estresses oxidativos, pela indução da expressão de genes relacionados a estresses, pela redução da peroxidação lipídica e dos níveis de  $H_2O_2$ , e crescimento do sistema antioxidante enzimático, ou mesmo quelando metais pesados (ZHANG et al., 2014; REITER et al., 2015). Em plantas sob condição de estresse hídrico, a melatonina tem alta eficiência em anular as respostas adversas aos derivados tóxicos do oxigênio, devido à sua capacidade de neutralizá-los (ALLEGRA et al., 2003).

A quitosana mostra-se uma boa alternativa e vem mostrando bons resultados no condicionamento de sementes, podendo aumentar o crescimento e desenvolvimento das plantas. A sua utilização transforma positivamente várias características, como aumento na altura de plantas, número de ramificações da parte aérea, número de folhas, área foliar, atributos de biomassa (Mondal et al., 2013). Estudos recentes evidenciam o potencial da quitosana para induzir tolerância ao déficit hídrico em plantas (Lizárraga-Paulín et al., 2011).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório Central de Sementes do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras-MG. Foram utilizadas sementes da linhagem BRS Soberana (suscetível ao estresse hídrico), fornecidas pelo Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras-UFLA, multiplicadas no Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia (CDTT) da UFLA, pelo programa de Pesquisa e Melhoramento de Arroz- Melhor Arroz UFLA.

As sementes de arroz foram submetidas ao condicionamento fisiológico. Este foi realizado em BOD regulada a 25°C (PEREIRA et al, 2018), sem luz e adaptada com um compressor de ar, responsável por manter as soluções aeradas, por um período de 20 horas. Como soluções condicionantes utilizou-se ácido indolacético (100µM), quitosana (0,75mM), melatonina (1mM) e solução doadora de ON, nitroprussiato de sódio (100µM). Foram colocados 40 gramas de sementes em 400 ml de solução. As sementes utilizadas como controle não foram condicionadas.

Após o condicionamento, as sementes foram lavadas em água corrente e o excesso da água removido. Posteriormente, as sementes foram secadas em estufa com circulação forçada de ar a 25°C por 48 horas e as sementes sem condicionamento (controle) também foram colocadas na estufa a fim de uniformizar o teor de água entre as sementes de todos os tratamentos.

As sementes condicionadas e não condicionadas (controle), foram submetidas a diferentes condições de germinação: condição controle (água destilada) e condição de restrição hídrica induzida por polietileno glicol 6000 – PEG, - 0,9MPa (ABREU et al, 2014).

No teste de germinação, quatro repetições de 25 sementes foram semeadas sobre duas folhas de papel germitest e sobrepostas com mais uma folha, as quais foram umedecidas com volume de solução contendo as soluções citadas anteriormente, equivalente a 2,5 vezes o peso seco do papel. Os rolos foram colocados em germinador tipo Mangelsdorf regulado a temperatura de 25°C, exceto o estresse por temperatura o qual foi submetido a temperatura de 40°C, com luz constante, em BOD.

Os resultados de germinação foram expressos em porcentagem de plântulas normais com avaliação aos cinco dias após a semeadura para a obtenção da primeira contagem de germinação, e aos 14 dias após a semeadura, para germinação final (BRASIL, 2009).

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições e esquema fatorial de  $(5 \times 2) + 1$ , sendo cinco soluções condicionantes, duas condições de germinação e o controle (sementes sem condicionamento fisiológico e sem condição de estresse).

A análise estatística dos resultados foi realizada pelo *software* R<sup>®</sup>, as médias foram submetidas à análise de variância e, quando significativas, aplicou-se testes de médias a 5% de

probabilidade. Para a comparação do controle com os tratamentos resultantes do fatorial, quando significativo, foi realizado o teste de Dunnett.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

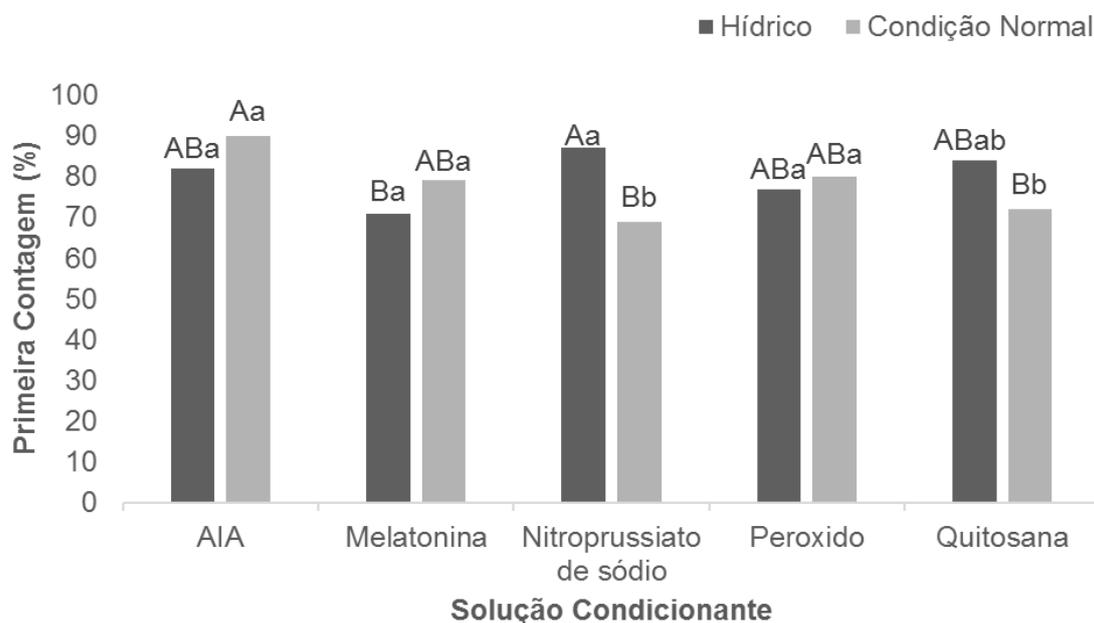
Com base na análise de variância foi possível observar diferenças significativas entre os condicionantes e condições de germinação, assim como para a interação dos fatores avaliados ( $p < 0,05$ ).

Analisando os dados referentes à primeira contagem do teste de germinação, aos cinco dias após a semeadura, foi possível observar que, quando se compara as duas condições de germinação para cada solução condicionante, houve diferenças no comportamento de cada solução em cada condição, sendo o Nitroprussiato de sódio mais eficiente para sementes submetidas a condição de estresse hídrico e, para os condicionantes ácido indolacético, melatonina, peróxido e quitosana não houve diferenças no comportamento em nenhuma condição de germinação (Figura 1). Ressalta-se que esse teste está associado à germinação, contudo, expressa o vigor das sementes. Ataíde et al. (2015), trabalhando com sementes de *Dalbergia Nigra* de baixo vigor, verificaram que a aplicação de nitroprussiato de sódio aumentou a germinação e o vigor, e esse estudo valida os resultados encontrados para primeira contagem de germinação.

O nitroprussiato de sódio tem como fórmula química  $\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  que serve como fonte de óxido nítrico (ON). A aplicação de doadores de ON faz com que as sementes germinem mais rápido e em maior quantidade (ATAÍDE et al., 2015; KAISER et al., 2016; PIRES et al., 2016) e, aumenta a atividade de enzimas do sistema antioxidante (SILVA et al., 2019). Além disso o óxido nítrico também é capaz de aumentar a germinação e o vigor das sementes de baixo vigor (ATAÍDE et al., 2016), bem como aumentar a tolerância da semente a diversos estresses abióticos, como estresse hídrico, salino e por metais pesados (SILVA et al., 2015; KAISER et al., 2016; PIRES et al., 2016).

Por outro lado, para a mesma condição de estresse hídrico a melatonina resultou em valores inferiores de germinação (Figura 1). Ao contrário do resultado obtido neste estudo, a melatonina é retratada como promotora de tolerância a estresses em plantas (ARNAO; HERNÁNDEZ-RUIZ, 2014), uma vez que sua síntese é induzida nas plantas quando estas estão expostas a estresses bióticos e abióticos, reduzindo os estresses oxidativos, pela indução da expressão de genes relacionados a estresses (ZHANG et al., 2014; REITER et al., 2015). Condições de estresse induzem a síntese de melatonina nas plantas, diminuindo os efeitos negativos dos estresses, particularmente o estresse oxidativo. Em plantas diante a seca, a melatonina tem grande eficiência em anular as respostas adversas aos derivados tóxicos do oxigênio, devido à sua capacidade de neutralizá-los (ALLEGRA et al., 2003).

Figura 1 – Primeira Contagem de sementes de *Oryza sativa* submetidas ao condicionamento nas soluções ácido indolacético (AIA), melatonina, nitroprussiato de sódio, peróxido de hidrogênio e quitosana.



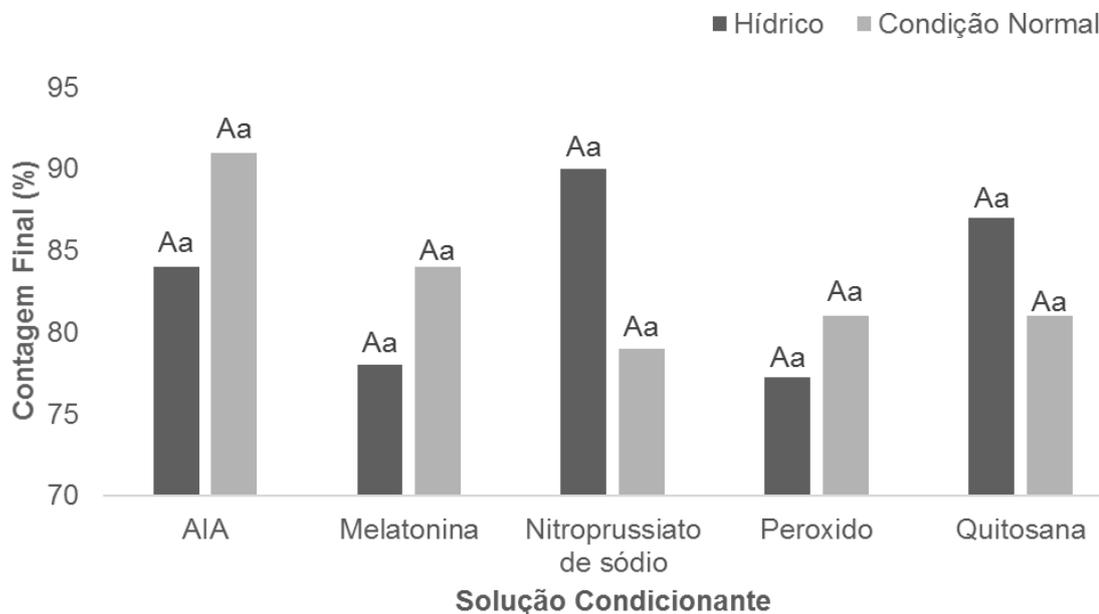
Legenda: Médias seguidas por uma mesma letra, minúscula entre estresses e maiúscula entre condicionantes, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \* Diferem do controle pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021

Ao analisar o fator soluções condicionantes, observa-se que para a condição normal de germinação, a primeira contagem com o ácido indolacético (AIA) foi superior aos demais (Figura 1). Para o nitroprussiato de sódio e a quitosana observa-se valores inferiores de primeira contagem, mas não diferirem entre si.

As auxinas (AIA), atuam no crescimento de caules, folhas, raízes e frutos, no desenvolvimento de flores, na abscisão foliar e promovem a dominância apical (SAMPAIO, 1998). Os fitorreguladores vegetais são utilizados na propagação vegetativa com intuito de potencializar o enraizamento, aumentar a quantidade e melhorar a qualidade do sistema radicular (FERRIANI, 2006). ARAGÃO et al. (2001) evidenciaram que os fitorreguladores são essenciais para a germinação, por interferirem na regulação da expressão gênica durante a reativação do metabolismo das sementes. O que pode explicar os resultados obtidos neste estudo.

Figura 2 – Germinação de sementes de *Oryza sativa* submetidas ao condicionamento nas soluções ácido indolacético (AIA), melatonina, nitroprussiato de sódio, peróxido de hidrogênio e quitosana.



Legenda: Médias seguidas por uma mesma letra, minúscula entre estresses e maiúscula entre condicionantes, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \* Diferem do controle pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021

Observando-se os dados referentes ao teste de germinação para o fator estresse bem como o fator condicionantes (Figura 2), foi possível verificar que não houve diferenças significativas entre as soluções condicionantes bem como entre os estresses.

O condicionamento fisiológico de sementes tem sido designado na literatura com um envigoramento de sementes (SILVA et al., 2016). Contudo, essa impressão de “envigoramento” ocorre porque a germinação é praticamente imediata após o uso do tratamento. Na realidade, o vigor das sementes é o componente da qualidade fisiológica mais influenciado pelo condicionamento fisiológico (MARCOS FILHO, 2015). Assim o principal efeito é a redução da diferença da atividade metabólica das sementes com diferentes graus de vigor, resultando na uniformidade de germinação.

## 5. CONCLUSÃO

O condicionamento fisiológico se apresenta como uma boa técnica para melhorar o vigor de sementes de arroz, sob estresse a seca.

O condicionamento fisiológico em solução de nitroprussiato de sódio aumenta o vigor de sementes de arroz, submetidas a déficit hídrico.

O condicionamento fisiológico, independente do agente condicionante, não é eficaz para elevar a germinação em sementes de arroz.

## REFERÊNCIAS

- ALLEGRA, M.; REITER, R. J.; TAN, D. X.; GENTILE, C.; TESORIERE, L.; LIVREA, M. A. **The chemistry of melatonin's interaction with reactive species. Journal of pineal research**, v. 34, n. 1, p. 1-10, 2003.
- ARAGÃO, C.A.; LIMA, M.W.P.; MORAIS, O.M.; NEVES, M.B.; ONO, E.O.; RODRIGUES, J.D.; BOARO, C.F.S.; NAKAGAWA, J.; CAVARIANI, C. Fitorreguladores na germinação de sementes e no vigor de plântulas de milho doce. **Revista Brasileira de Sementes, Brasília**, v.23, n.1, p.62-67, 2001.
- ARNAO, M. B.; HERNÁNDEZ-RUIZ, J. Melatonin: plant growth regulator and/or biostimulator during stress?. **Trends in plant science**, v. 19, n. 12, p. 789-797, 2014.
- ATAÍDE, G.M. Óxido nítrico na germinação de sementes de baixo vigor de *Dalbergia nigra*. **Revista de Ciências Agrárias, Recife**, v. 38, n. 3, p. 438-444, 2015.
- BHANUPRAKASH, K.; YOGEESSHA, H. S. Seed priming for abiotic stress tolerance: an overview. **Abiotic Stress Physiology of Horticultural Crops**, v.27, p.103-117, 2016. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-81-322-2725-0\\_6](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-81-322-2725-0_6).
- BATISTA, R.A.B, *et al.* Lactose em alimentos industrializados: avaliação da disponibilidade da informação de quantidade. **Ciência Saúde Coletiva** v. 23, p. 4119-4128, 2018
- BHANUPRAKASH, K.; YOGEESSHA, H. S. Preparação de sementes para tolerância ao estresse abiótico: uma visão geral. **Abiotic Stress Physiology of Horticultural Crops**. 2016.
- BONOME, L. T. S.; GUIMARÃES, R. M.; OLIVEIRA, J. A., DOUSSEAU, S. Osmoconditioning of *Urochloa brizantha* seeds to reduce pelleting negative effects. **Brazilian Journal of Agriculture**. v.92, p.87-100, 2017
- BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 395 p.
- CARDOSO, E. D.; SÁ, M. E.; HAGA, K. I.; BINOTTI, F. F. S.; COSTA, E. Qualidade fisiológica e composição química de sementes de *Brachiariabrizantha* em função do condicionamento osmótico. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 2, p. 42-48, 2015.
- CASTRO, A. P. de, et al. Avaliação de cultivares de arroz (*Oryza sativa*) de terras altas quanto à deficiência hídrica. In: (Anais) - **7º Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas**. 2013.1922p.

CASTRO, E.M. et al. Qualidade de grãos de arroz. **Circular Técnica, 34**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 30p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos V. 6 - SAFRA 2018/19- N. 11 - Décimo primeiro levantamento**, Agosto 2019

CONAB- Acomp. safra bras. grãos, v. 5 Safra 2017/18 - **Quinto levantamento**, Brasília, p. 1-140 ISSN 2318-6852, 2018.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v. 4- Safra 2015/16 - **Quarto levantamento**, Brasília, p. 1-154, 2016.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira: grãos, v. 6, safra 2018/19, n. 12, décimo segundo levantamento, setembro. 2019. Disponível em: Disponível também em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 15 set. 2019.

FRITSCHÉ-NETO R, DOVALE JC, CAVATTE PC. Melhoramento para tolerância a estresses ou para eficiência no uso de recursos? In: FRITSCHÉ-NETO, R.; BORÉM, A. **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. 1. ed. Visconde do Rio Branco: Suprema, p. 39-79, 2011.

GUIMARÃES, C. M. et al. Sistemas de cultivo. In: SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. A. **A cultura de arroz no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 96p.

HEYDECKER, W.; COOLBEAR, P.. Seed treatments for improved performance survey and attempted prognosis. **Seed Science and Technology**, v. 5, p. 353-425. 197

HEYDECKER, W.; GIBBINS, B. M. The 'priming' of seeds. In Symposium on Seed Problems in Horticulture, Sutton Bonington, v. 83, p. 213-224, 1977.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 15 de junho de 2017.

IBGE. Indicadores IBGE – **Estatística da produção agrícola 2021**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/>>. Acesso em: 20/07/2021.

ISHIBASHI, Y., YAMAGUCHI, H., YUASA, T., IWAYA-INOUE, M., ARIMA, S., Zheng, SH, 2011. Hy-a pulverização de peróxido de hidrogênio alivia o estresse hídrico em plantas de soja. **Diário de Fisiologia Vegetal** 168 (13), 1562-1567.

KUMAR, A. et al. Breeding for drought tolerance: direct selection for yield, response to selection and use of drought-tolerant donors in upland and lowland-adapted populations. **Field Crops Res.** v. 107, n. 3, p. 221–31, 2008.

LANNA, A. C. et al. Panorama Ambiental e Físio-Molecular do Arroz de Terras Altas. **Documentos 274.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. 2012. 32 p.

LAWLOR, D. W.; CORNIC, G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, England; v. 44, n. 2, p. 275–294, 2002.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas.** 2. ed., Londrina: ABRATES, p. 660, 2015

MORAIS, O.P; CASTRO, E.M.; SOUZA, N.R.G.; PRABHU, A.S.; BASSINELLI, P.Z.; FONSECA, J.R. Cultivares de arroz de terras altas para o Mato Grosso. Santo Antônio de Goiás: **Embrapa Arroz e Feijão**, 2004. (Circular Técnica 68).

MORAIS, O.P; et al. Cultivares de arroz de terras altas para o Mato Grosso. **Circular Técnica 68.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2004.

OLIVEIRA, A. S. Condicionamento fisiológico de sementes de tabaco. 2016. 60 p. **Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia)** - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016

OLIVEIRA, H.; DO NASCIMENTO, R.; LEÃO, A. B.; CARDOSO, J. A. F.; GUIMARÃES, R. F. B. Germinação de sementes e estabelecimento de plântulas de algodão submetidas a diferentes concentrações de NaCl e PEG 6000. **Espacios(CARACAS)**, v. 38, p. 13-28, 2017.

PAPARELLA, S.; ARAÚJO, S.S.; ROSSI, G.; WIJAYASINGHE, M.; CARBONERA, D.; BALESTRAZZI, A. Seed priming: state of the art and new perspectives. **Plant Cell Reports, Berlin**, v. 34, n. 8, p.1281-1293, 2015.

PEREIRA, F. J., **Características anatômicas e fisiológicas de aguapé e índice de fitorremediação de alface d'água cultivados na presença de arsênio, cádmio e chumbo**, 2010

PIRES, R. M. O.; SOUZA, G. A.; CARDOS, A. A.; DIAS, D. C. F. S.; BORGES, E. E. L. Action of nitric oxide in sesame seeds (*Sesamum indicum* L.) submitted to stress by cadmium. **Journal of Seed Science**, v.38, p. 22-29, 2016.

SILVA, KS.; URBAN, L.J.K.; BALBINOT, A.; GNOCATO, F.S.; KRUSE, N.D; MARCHESAN, E.; MACHADO, S.L.O. Electrolyte leakage and the protective effect of Nitric Oxide on leaves of flooded rice exposed to herbicides. **Planta Daninha**. V.34, n.4, p.777-785, 2016.

SNEYD, L. Wild Food Consumption and Urban Food Security. In: URBANISATION, R. Urban Food Deserts and Food Security in Africa. **Springer International Publishing**, p. 143-155, 2016.

STEINMETZ, S.; SILVA, S.C.; SANTANA, N. M. P.Clima. In: In: SANTOS, A. B.dos; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. de A. (Ed.). **A cultura do arroz no Brasil**. 2. ed. rev. ampl. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, p. 117-160, 2006.

STONE, L.F.; MOREIRA, J. A. A.; SILVA, S. C. **Tensão da água do solo e produtividade do arroz**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP. Comunicado técnico 19.p. 6, 1986.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artmed. 2013. 954p.

ZANOTTI, R.F. Métodos multivariados aplicados ao melhoramento genético do feijoeiro visando ao aumento da tolerância ao estresse osmótico e biofortificação de grãos. 2015. 114f. **Tese (Doutorado em Produção Vegetal)** – Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo. Alegre, 2015.

ZHANG, N.; SUN, Q.; ZHANG, H.; CAO, Y.; WEEDA, S.; REN, S.; GUO, Y. D. Roles of melatonin in abiotic stress resistance in plants. **Journal of Experimental Botany**, p. eru336, 2014.

ZHAO, L; ZHANG, F.; GUO, J.; YANG, Y.; LI, B.; ZHANG, L. Nitric oxide functions as a signal in salt resistance in the callus from two ecotypes of reed. **Plant Physiology**. V. 134, P.849-857, 2004.