

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE GOIÁS – Uni-ANHANGUERA**  
**CURSO DE AGRONOMIA**

**EFICIÊNCIA NA ASSIMILAÇÃO DE NITROGÊNIO NA FORMA  
NÍTRICA (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) EM GENÓTIPOS DE ARROZ DE TERRAS ALTAS**

GABRIEL SARAIVA RIOS

Goiânia  
Abril/2019

**GABRIEL SARAIVA RIOS**

**EFICIÊNCIA NA ASSIMILAÇÃO DE NITROGÊNIO NA FORMA  
NÍTRICA (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) EM GENÓTIPOS DE ARROZ DE TERRAS ALTAS**

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Centro Universitário de Goiás –  
Uni-Anhanguera, sob orientação da Professora  
Dra. Anna Cristina Lanna e coorientação da  
Dra. Luciana Bittencourt como requisito parcial  
para obtenção do bacharelado em Agronomia

Goiânia  
Abril/2019

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

GRABRIEL SARAIVA RIOS

EFICIÊNCIA NA ASSIMILAÇÃO DE NITROGÊNIO NA FORMA NÍTRICA  
(N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) EM GENÓTIPOS DE ARROZ DE TERRAS ALTAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora como requisito parcial para obtenção do Bacharelado em Agronomia do Centro Universitário de Goiás Uni-ANHANGUERA, defendido e aprovado em \_\_\_\_ de \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ pela banca examinadora constituída por:

---

Prof (a). Dra. Anna Cristina Lanna

Orientadora

---

Prof (a) Dra. Luciana Bittencourt

Coorientadora

---

Prof (a) Dr. Renato Carrer Filho

A Deus, por estar presente em minha vida me iluminando em todos os momentos e meu refúgio nas horas de angústia. Ao meu pai Nicanor Rios, minha mãe Lucilene Noletto e a minha irmã Isabela Saraiva Rios, sem vocês eu não teria chegado até aqui.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a Deus por ter me dado saúde, força e benção para enfrentar e

superar todas as dificuldades encontradas nesses anos, uma prova de que sem Ele eu nada seria. Aos meus pais, Lucilene Noletto e Nicanor Rios, e a minha irmã Isabela Saraiva Rios, por sempre estarem presentes nas horas em que mais precisei dando apoio, amor, carinho e incentivo para continuar. A todos os meus familiares que, também, sempre estiveram juntos nessa luta me dando todo apoio diante todas as decisões. A minha namorada Giovanna Fernandes da Silva pela compreensão naqueles dias que o estresse e a ansiedade tomavam conta e por sempre estar ao meu lado nas tomadas de decisões.

Agradeço por todas as amizades que construí durante esses anos e espero leva-las ao longo da vida. Agradeço a minha orientadora, Anna Cristina Lanna e coorientadora Luciana Bittencourt, pela paciência, dedicação e ensinamentos transmitidos durante todos esses anos. Serei eternamente grato! E a todos que fizeram parte da minha formação, agradeço de coração. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT), pelo financiamento do projeto de pesquisa.

Muito obrigado!

## **RESUMO**

Baixo vigor inicial de plantas de arroz de terras altas é um dos principais entraves para o sucesso da cultura no campo. No ecossistema de terras altas, a forma predominante de N mineral é o nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e sua assimilação requer a conversão do  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{NO}_2^-$  (nitrito) pela nitrato redutase (NR). Assim, esse estudo objetivou identificar genótipos de arroz de terras altas que apresentam alta atividade da NR e maior vigor inicial. Para tanto, quatro ensaios foram conduzidos em blocos casualizados com três repetições, totalizando 26 genótipos. Aos 7 e 14 DAT (dias após

o transplântio) foi avaliada a altura da planta e, aos 14 DAT, biomassa seca de parte aérea e raiz, teor de Ntotal (método kjeldahl) e atividade da NR da parte aérea (método espectrofotométrico). De uma maneira geral, os genótipos Noventinha (ensaio 1), TOX 1785-19-18, CNA 449-BM15-3-B-4 (ensaio 2), Guarani e Rio Doce (ensaio 3) e CNA 444 BM38-1 B-1 e 4 Meses Branco (ensaio 4) apresentaram plântulas de arroz de terras altas com maior vigor inicial, devido aos elevados valores das variáveis de crescimento Alt 7DAT, Alt 14DAT, BMSPA e BSR, comparativamente, aos genótipos de seus respectivos ensaios. Para a atividade da NR, os maiores valores foram obtidos pelos genótipos Mato Grosso e Farroupilha (ensaio 1), TOX 1785-19-18 (ensaio 2), Guarani, Rio Doce, Guaporé, TOX 1871-29, Farox 299 e Primavera (ensaio 3) e Farroupilha (ensaio 4). A maioria dos genótipos apresentaram teores de Ntotal que variaram de 41,13 a 55,82 g kg<sup>-1</sup> MS. Não houve correlação significativa entre atividade da NR, Ntotal da parte aérea e as variáveis de crescimento, com exceção da BSR. Existe variabilidade entre os genótipos de arroz de terras altas para atividade de NR e vigor inicial, sendo os genótipos TOX 1785-19-18, Guarani e Rio Doce potenciais genitores para uso no melhoramento genético.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Oryza sativa* L., nitrogênio, absorção, assimilação, nitrato redutase, *screening*.

## SUMÁRIO

|            |  |          |
|------------|--|----------|
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO</b>                                    | <b>7</b> |
| <b>2</b>   | <b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>                           | <b>9</b> |
| <b>2.1</b> | <b>Características botânicas do arroz cultivado.</b> | <b>9</b> |

|   |    |
|---|----|
| <b>2.2 Arroz de terras altas</b>  | 10 |
| <b>2.3 Dinâmica da absorção e assimilação de nitrogênio</b>   | 12 |
| <b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b>   | 14 |
| <b>3.1 Condições Experimentais</b>  | 14 |
| <b>3.2 Avaliações</b>   | 16 |
| <b>3.2.1 Componentes fisiológicos para caracterização do vigor de plântulas de arroz de terras altas</b>  | 16 |
| <b>3.2.2 Componentes químico e bioquímico para identificação de genótipos de arroz de terras altas com maior capacidade de absorção e assimilação de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b> | 16 |
| <b>3.3 Análise estatística</b>  | 17 |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>   | 18 |
| <b>5 CONCLUSÃO</b>  | 24 |
| <b>REFERÊNCIAS</b>  | 25 |

## 1 INTRODUÇÃO

O arroz é um dos cereais mais produzidos e consumidos no mundo (CONAB, 2015), sendo considerado a principal fonte para erradicar a fome, podendo fornecer 20% de energia e 10% de proteína per capita (BORÉM; RANGEL, 2015).

O arroz brasileiro é cultivado em três ecossistemas: (a) irrigado, em que normalmente se cultiva o arroz com irrigação por inundação controlada; (b) terras baixas inundadas por chuva (várzeas), no qual as águas da chuva inundam o plantio em terrenos ligeiramente inclinados com profundidade e duração variáveis, e (c) terras altas, em que considera o cultivo em sequeiro, no qual é dependente de precipitações pluviais ou de irrigação suplementar por aspersão (WADE et al., 1999; FORNASIERI FILHO; FORNASIERI, 2006).

Os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (região Sul) são responsáveis por cerca de 81,6% da produção de arroz, com predomínio do cultivo irrigado. Tocantins, Rondônia e Pará (região Norte) e Mato Grosso (região Centro-Oeste), com predomínio do cultivo de terras altas, ocupam a segunda e terceira posições, respectivamente. Na região Nordeste, os estados do Maranhão, Piauí, Bahia e Sergipe se destacam na produção de arroz, apesar da participação no cenário nacional ser pequena (CONAB, 2018). No Estado de Goiás, foram cultivados 21,6 mil ha de arroz de terras altas, safra 2017/18, com uma produção de 104,8 mil toneladas e produtividade média de 4.852 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2019).

De acordo com Breseghello; Stone (1998), o arroz de terras altas foi bastante usado na abertura de novas áreas, principalmente na região do Cerrado, para posterior inserção de diferentes culturas de interesse como soja, milho, algodão, cana-de-açúcar, dentre outras. Dentro desse contexto, na década de 80, o arroz de terras altas detinha grande área de produção, mas os grandes desafios como o suprimento inadequado ou irregular de umidade no solo, competição com plantas daninhas, déficit hídrico, carência de cultivares tolerantes aos estresses bióticos e abióticos, desequilíbrio nutricional, práticas culturais inadequadas e controle ineficiente de pragas e doenças provocaram drástica redução da área de cultivo (GALINATO; MOODY; DIGGIN, 1999. NAMUCO; CAIRINS; JOHNSON, 2009).

Na contramão desses fatos, o arroz de terras altas apresenta vantagens em comparação com o arroz irrigado, possui uma menor necessidade do uso da água, reduz a necessidade de mão-de-obra, mitiga as emissões de gases de efeito estufa e são mais adaptados aos riscos climáticos (KUMAR; LADHA, 2011). No Brasil, apesar da redução em área e produção, o arroz de terras altas faz parte, de forma expressiva, da produção total de grãos, com o aumento da sua produtividade e qualidade, por meio de um extenso e intenso programa de melhoramento (WANDER, 2006).

Para o arroz de terras altas, a melhoria do potencial de produção (produtividade de 2.318 kg h<sup>-1</sup>, média do ano 2017) (EMBRAPA, 2019) e da estabilidade de produtividade associada ao desenvolvimento de sistemas de manejo sustentáveis como é o sistema plantio direto (SPD) são prioridades de pesquisa. Já se sabe que o monocultivo do arroz de terras altas, por anos sucessivos numa mesma área, não é a forma sustentável de manter essa cultura no campo (LANNA et al., 2003). Sob esse ponto de vista, há carência de informações sobre manejo e desempenho das plantas de arroz de terras em cultivo sob plantio direto (SPD) e semeadura com revolvimento mínimo do solo (NASCENTE et al., 2011).

Para o arroz de terras altas, cultivado no SPD, um dos fatores mais críticos para o estabelecimento da cultura recai no sucesso da competitividade entre a cultura principal e plantas daninhas; disso decorre que a rapidez de emergência e de crescimento inicial são características fisiológicas desejáveis, uma vez que aceleram a ocupação do espaço e a utilização dos recursos nutricionais disponíveis no meio de crescimento (COBUCCI; RABELO; SILVA, 2001).

Dentre os nutrientes essenciais, o nitrogênio (N) é um dos mais crítico no início do ciclo de vida das plantas de arroz de terras altas. Uma das principais hipóteses é a de que o baixo vigor inicial da cultura é devido a uma baixa eficiência na taxa de absorção e assimilação do nitrogênio (N). Para o sistema de produção de arroz de terras altas há prevalência do solo aeróbico e, sob tais condições, o NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (ânion nitrato) é a forma predominante de N mineral.

A eficiência na absorção e assimilação de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (N na forma nítrica) durante os estádios iniciais de desenvolvimento irá, em grande parte, determinar o vigor das plântulas de arroz de terras altas e a capacidade de competição com plantas daninhas; enquanto a utilização/remobilização do N assimilado durante os estádios reprodutivos irá, em grande parte, determinar a produtividade da cultura. A rota de absorção e assimilação de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, em plantas superiores, envolve a etapa de conversão do NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), catalizada pela enzima nitrato redutase (NR) (LANNA; CARVALHO, 2013). Assim, o objetivo desse estudo foi identificar genótipos pertencentes a Coleção Nuclear de Arroz de Terras Altas da Embrapa Arroz e Feijão que apresentam maior atividade da nitrato redutase e maior vigor inicial, enzima responsável pela maior eficiência de absorção e assimilação de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> em plantas.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. Características botânicas do arroz cultivado**

O arroz (*Oryza* spp.) é um dos alimentos mais importantes do mundo, visto que é a principal fonte alimentar para a metade da população mundial e responsável por 25 – 80 % das calorias na dieta diária do homem (WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008). O arroz está presente diariamente na vida dos brasileiros e é consumido pelas diferentes classes sociais (NOSSE et al., 2008). Apresenta 34,2% do total de calorias correspondente a um valor médio diário de consumo por pessoa (NAVES; BASSINELLO, 2006).

O gênero *Oryza* pertence à família *Gramineae* (*Poaceae*), ordem *Glumiflorae*, família *Poaceae*, subfamília *Ehrhartoideae*, e tribo *Oryzae*. O arroz é uma angiosperma, apresenta um cotilédone (monocotiledônea), autógama e diploide (BOTELHO, 1914; VAUGHAN et al., 2003). O gênero *Oryza* compreende 23 espécies conhecidas, em nível mundial. Dessas, somente duas são cultivadas: *Oryza sativa* L. e *Oryza glaberrima* Steud; enquanto as 21 espécies restantes são consideradas silvestres e estão distribuídas nos trópicos da África, Ásia, Américas e Austrália.

A espécie *O. glaberrima* é cultivada na África Ocidental, enquanto *O. sativa* apresenta ampla distribuição mundial, sendo cultivada em todos os continentes (SHIVRAIN et al., 2010). *Oryza sativa* é a espécie agronomicamente mais bem sucedida das duas e, como tal, a mais comercialmente cultivada (OUKO, 2003). Essa espécie é classificada em duas subespécies: *indica* e *japonica* que se diferenciam devido sua adaptação a diferentes fatores ambientais, como comprimento do dia e condições de umidade e temperatura (CHENG et al., 1992; ALVAREZ et al., 2005).

No Brasil, a cultura do arroz é encontrada nos ecossistemas (a) irrigado, em que predominam as cultivares pertencentes à subespécie *indica* e (b) terras altas, em que predominam as cultivares pertencentes à subespécie *japonica* (HEINEMANN et al., 2009). Os genótipos *indica* são cultivados em terras baixas, onde o cátion amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) é a forma abundante de nitrogênio disponível no solo (D'ANDREA et al., 2004). Além dessas adaptações ecológicas, os genótipos *indica* apresentam grãos longos e finos. Os genótipos *japonica* são cultivados sob condição de sequeiro ou sob irrigação por aspersão de forma suplementar e a forma de N mais encontrada no solo é o ânion nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) (D'ANDREA et al., 2004). Os grãos dos genótipos *japonica* são originalmente, compactos e curto; entretanto cultivares de arroz de terras altas mais modernas já apresentam grãos longos e finos (PROCHNOW, 2001).

Entre os anos 2006 e 2017, o arroz irrigado brasileiro aumentou sua área em 9,0% (1.319.274 para 1.431.936 hectares), produção em 29,0% (8.597.497 para 11.083.101 toneladas) e rendimento em 19,0 % (6.517 para 7.740 kg ha<sup>-1</sup>). Enquanto o arroz de terras altas reduziu sua área em 63,0% (1.613.894 para 597.336 hectares), produção em 51,0% (2.835.877

para 1.384.416 toneladas), porém a produtividade aumentou em 32,0% (1.757 para 2.318 kg ha<sup>-1</sup>) (EMBRAPA, 2019).

## 2.2. Sistema de cultivo de arroz de terras altas

O arroz de terras altas representa apenas 4% da produção de arroz em um total de 150 milhões de hectares, em nível mundial. A distribuição dessa produção se dá em cerca de 9% da área agricultável do continente asiático, 46% da América Latina, incluindo os países do Caribe e 47% da África (West Africa) (KIKUTA et al., 2016). No Brasil, o arroz de terras altas é cultivado em, aproximadamente, 564 mil hectares, o que representa cerca de 29% da área total plantada com arroz (EMBRAPA, 2019).

O principal bioma para seu cultivo é o Cerrado e, entre a década de 70 e 80, o cultivo do arroz de terras altas foi voltado para abertura de novas áreas em regiões nunca plantadas, por sua baixa demanda de fertilidade e tolerância a solos ácidos, marcando um avanço histórico agrícola.

Segundo Guimarães; Stone (2004), essas novas áreas seriam para inserção de pastagens, áreas em que o solo não era corrigido. Atualmente, o arroz de terras altas pode ser utilizado com duas finalidades: (a) renda com sua produção e (b) recuperação do solo visando a inserção *a posteriori* de outras culturas de interesse (SANTOS; TREICHEL; BELING, 2016).

O preparo do solo é um dos principais fatores que podem afetar o rendimento da cultura do arroz de terras altas. O preparo convencional do solo, caracterizado por uma aração e duas gradagens, promove o revolvimento do solo, incorporando os restos vegetais e auxiliando no controle de plantas daninhas (GUIMARÃES; MOREIRA; SILVA, 2013). Já o SPD preconiza o revolvimento do solo apenas na linha de semeadura, fazendo com que os restos vegetais fiquem sobre a superfície do solo, sendo paulatinamente decompostos. Esse sistema é recomendado para solos com fertilidade superficial homogênea e descompactados (GUIMARÃES; MOREIRA; SILVA, 2013).

O sistema de plantio convencional (SPC) é o mais usado para o cultivo do arroz de terras altas; no entanto, há grande interesse de sua inserção no sistema plantio direto (SPD), uma vez que o mesmo é um sistema de produção mais sustentável, em que há revolvimento mínimo do solo, manutenção de cobertura do solo por meio da matéria seca da cultura anterior e aumento da quantidade de matéria orgânica dentre outros benefícios (KLUTHCOUSK et al., 2000, NASCENTE et al., 2011).

Diferentemente de outras culturas como milho, feijão e soja, o arroz de terras altas não foi foco de pesquisas para adaptação ao SPD, iniciado nos anos 80 (FARINELLI et al., 2004). O plantio direto do arroz de terras altas tem sido considerado como não competitivo com o sistema convencional (aração e gradagem), visto que, na maioria dos casos, a planta de arroz apresenta pequeno desenvolvimento radicular, reduzindo a tolerância à deficiência hídrica; menor número de perfilhos por área com conseqüente redução do número de panículas, além de exibir uma produtividade de grãos aquém do desejado (SOARES et al, 2004). Além desses fatores, a produtividade do arroz de terras altas possui várias inconstantes devido, principalmente, aos veranicos (períodos de estiagem), altas temperaturas e falta de um manejo adequado durante o cultivo, impactando negativamente a fisiologia da planta (GUIMARÃES; STONE; MORAIS, 2007).

Sob o SPD, ervas daninhas emergem ao mesmo tempo que a cultura do arroz e, portanto, competem com o arroz para a aquisição de recursos (nutrientes, água, radiação, dentre outros). Portanto, o vigor da plântula ou a sua capacidade de emergir rapidamente do solo é uma característica importante a ser introduzida nas cultivares de arroz de terras altas (REDONÑA; MACKILL, 1996). De acordo com Cobucci; Noldin (2006), uma das principais hipóteses para a baixa competitividade do arroz de terras altas no ambiente de produção é o seu baixo vigor inicial, que por sua vez é devido a uma baixa eficiência no uso do nitrogênio (N).

Dos nutrientes essenciais para a planta, o nitrogênio (N) tem maior participação em todas as fases de seu desenvolvimento, desde a germinação, formação de folhas e produção de grãos (LOPES et al. 2004). A disponibilidade do N no solo e a eficiência de sua assimilação são fatores que limitam o crescimento da cultura, principalmente quando se adota o SPD (ARAÚJO 2005). Diante do exposto, a rapidez de emergência e a de crescimento inicial das plantas de arroz de terras altas são características fisiológicas desejáveis, uma vez que aceleram a ocupação do espaço e a utilização dos recursos biogeoquímicos disponíveis no meio de crescimento.

A manutenção da produção do arroz de terras altas é muito importante, já que há um desafio constante na produção de alimentos devido ao crescimento populacional e, ao mesmo tempo, uma necessidade de aumentar a sustentabilidade dos sistemas de produção de arroz. Portanto, o desenvolvimento de cultivares de arroz de terras altas que absorvam e metabolizem o N do solo mais eficientemente desde o início de seu desenvolvimento é prioridade de pesquisa. Esse fato viabilizaria a inserção do arroz de terras altas em sistemas agrícolas mais produtivos e eficientes no uso de insumos para que ocorra redução no custo de produção (agrotóxicos e fertilizantes) e mitigação da poluição por  $\text{NO}_3^-$  (ZHAO et al.; 2009). Assim, o

avanço no conhecimento em bases fisiológicas e genéticas da absorção/assimilação de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> em plantas de arroz de terras altas promoverá o desenvolvimento de tais cultivares.

### 2.3. Dinâmica da absorção/assimilação de nitrogênio

O nitrogênio (N) é um dos macronutrientes de maior importância para as plantas, uma vez que ele é integrante de biomoléculas fornecedoras de energia, proteínas, DNA, RNA, clorofila, enzimas, dentre outras (LAM et al., 2006; HAPER 1994). Portanto, é um nutriente essencial para o crescimento e produtividade das plantas (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997. BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000). O nitrogênio (N) do solo origina-se da atmosfera, fixação biológica, adubações química e orgânica, degradação da matéria orgânica. Além da absorção do N pelas plantas, esse nutriente no solo pode sofrer perdas por lixiviação e volatilização, as quais são influenciadas pelas condições climáticas e manejo do solo (CANTARELLA, 2007).

No solo, o N pode ser encontrado na forma de nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), aminoácidos, peptídeos solúveis e não solúveis. Contudo, as principais formas de absorção pelas raízes são as fontes inorgânicas, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ou NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (WILLIAMS; MILLER, 2001). A escolha e a quantidade de absorção de N, na forma nítrica ou amoniacal, pelas plantas vai variar com a disponibilidade de cada uma das formas no solo, bem como a idade e a quantidade de carboidratos da espécie vegetal em questão (DEANNE-DRUMMOND; GLASS, 1983). Entre as fontes inorgânicas, o N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> é a fonte mais comum de ser encontrada nos solos aeróbicos (STEWART; PATE; UNKOVICH, 1993. NARDOTO; BUSTAMANTE, 2003).

O caminho que o N- NO<sub>3</sub><sup>-</sup> percorre da sua absorção até sua utilização pela planta, em diferentes órgãos, inclui várias etapas. O ânion NO<sub>3</sub><sup>-</sup> pode ser armazenado nos vacúolos das células da raiz para depois ser utilizado, o que normalmente ocorre quando há uma grande disponibilidade de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e a planta absorve mais que o suficiente. Por outro lado, o NO<sub>3</sub><sup>-</sup> pode ser rapidamente processado (assimilado) nas próprias células da raiz e/ou transportado, diretamente, para a parte aérea. O processo de assimilação do NO<sub>3</sub><sup>-</sup> inicia-se pela redução do NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) (MILLER *et al.*, 2007). Esse primeiro passo é catalisado pela enzima nitrato redutase (NR) (TISCHNER, 2000). No citosol, a enzima NR necessita de NADH e/ou NADPH, como agentes redutores, para catalisar a redução do NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a NO<sub>2</sub><sup>-</sup>. Essas moléculas redutoras, normalmente, são geradas por dois processos metabólicos: ciclo das pentoses e/ou glicólise (OAKS; HIREL, 1985). A NR possui dois principais pontos de regulação em sua atividade que equilibram a taxa de assimilação do NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, a transcricional e a pós-traducional (TISCHNER, 2000; KAISER; HUBER, 2001; LILLO *et al.*, 2003).

Em seguida, o  $\text{NO}_2^-$  produzido sofrerá redução pela enzima nitrito redutase (NiR), localizada nos pró-plastídeos das raízes e/ou cloroplastos das folhas, com formação do cátion amônio ( $\text{N-NH}_4^+$ ) (SODEK, 2004). Após sua formação, o  $\text{N-NH}_4^+$  é incorporado na molécula de glutamato, por meio das reações catalisadas pelas enzimas glutamato sintase (GOGAT) e glutamina sintetase (GS) para produção de glutamina, molécula translocada para outras partes da planta como fonte de N (CRAWFORD, 1995). Em resumo, para que essa cascata de reações de assimilação ocorra em sua totalidade vários fatores como luz e nitrato disponível (condição edafoclimática), sacarose, carbono, glutamato e agentes redutores como fonte de energia (condição metabólica da planta) conduzem o equilíbrio das atividades transcricional (CRAWFORD; CAMPBELL, 1990) e pós-traducional, imprimindo o ritmo da redução de nitrato a nitrito (SIVASANKAR; OAKS, 1996; NETTO, 2005; SOUZA; FERNADES, 2006).

Apesar de existir um grande número de trabalhos sobre o desenvolvimento lento e pouco competitivo do arroz de terras altas, em condições de agricultura intensiva, devido a uma limitada capacidade de absorção e utilização do nitrogênio do solo, a correlação direta entre os mecanismos envolvidos na eficiência do uso de N e o desempenho do arroz de terras altas, principalmente, nos estádios iniciais de desenvolvimento, não está completamente entendida (LANNA; CARVALHO, 2013). Sabe-se que existe variabilidade entre genótipos de arroz quanto à atividade da nitrato redutase (NR) (YANG; SUNG, 1980; OUKO, 2003) e que o entendimento da fisiologia e bioquímica da planta é essencial para avanços no conhecimento e desenvolvimento de cultivares mais eficientes na utilização de N.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

Um total de 26 genótipos de arroz de terras altas, pertencentes à Coleção Nuclear de Arroz de Terras Altas da Embrapa Arroz e Feijão, localizada no município de Santo Antônio de Goiás (GO), foram utilizadas nesse estudo (Tabela 1). As sementes dos genótipos de arroz de terras altas foram fornecidas pelo Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Arroz e Feijão. Foram conduzidos quatro ensaios, constituídos por nove genótipos cada, sendo a cultivar Primavera utilizada como testemunha em todos eles. Primavera foi selecionada por ter representado para o arroz de terras altas um novo padrão de grão (grão de classe agulhinha), se destacar pela excelência em qualidade de grãos e pela disponibilidade de sementes em quantidade suficiente. Além disso, os genótipos CT11891-3-3-3-M; Mato Grosso, Branco Precoce, 4 Meses Branco, Farroupilha e BRS Esmeralda foram comuns aos ensaios 1 e 4 (Tabela 1).

Os genótipos foram selecionados, aleatoriamente, para cada ensaio, os experimentos conduzidos em casa de vegetação, e as condições ambientais monitoradas por Data Logger Hobo® U-12 (OnSet Computer Corp., Massachusetts, USA).

Tabela 1. Genótipos de arroz de terras altas para *screening* de maior eficiência de absorção/assimilação de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

| Ensaio    | Genótipos           | Ensaio    | Genótipos           |
|-----------|---------------------|-----------|---------------------|
| 1         | CT11891-3-3-3-M     | 3         | GUARANI             |
|           | MATO GROSSO         |           | RIO DOCE            |
|           | BRANCO PRECOCE      |           | GUAPORÉ             |
|           | 4 MESES BRANCO      |           | TOX 1011-4-2        |
|           | NOVENTINHA          |           | TOX 503-4-115-B-B   |
|           | FARROUPILHA         |           | TOX 1871-29         |
|           | BRS MG CARAVERA     |           | FAROX 299           |
|           | BRS ESMERALDA       |           | ITA 225             |
| PRIMAVERA |                     | PRIMAVERA |                     |
| 2         | TOX 1011-4-2        | 4         | GUAPÓ DE CAVALCANTE |
|           | TOX 1369-18-1       |           | CNA 444 BM38-1 B-1  |
|           | TOX 1785-19-18      |           | CT11891-3-3-3-M     |
|           | CNA 449-BM15-3-B-4  |           | MATO GROSSO         |
|           | CNA 511-3-B-5       |           | BRANCO PRECOCE      |
|           | CAX-782-28-2-1      |           | 4 MESES BRANCO      |
|           | CNAX 1754-23-B-1    |           | FARROUPILHA         |
|           | CNA 104-B-18-PY-1-2 |           | BRS ESMERALDA       |
| PRIMAVERA |                     | PRIMAVERA |                     |

Fonte: Embrapa Arroz e Feijão, 2019.

A unidade experimental foi constituída de um sistema de crescimento de plantas, composto por uma bandeja célula única (170 x 120 cm) conectada a um reservatório de solução nutritiva (100 L). Essa solução circulou nos ambientes (bandeja + reservatório) por meio da propulsão de um conjunto de bombas (Figura 1A). Bandejas plásticas (39 cm x 27 cm), em células [6 cm X 6 cm X 6,5 cm (profundidade)], foram colocadas no interior da bandeja célula única, preenchidas com areia, para servir como meio de crescimento para as plantas de arroz de terras altas (Figura 1B).

As sementes foram pré-germinadas em papel germitest em câmara de germinação e, após cinco dias, ocorreu o transplântio para as bandejas células únicas contendo areia. A nutrição das plantas foi baseada na solução YOSHIDA et al. (1976), com a forma de nitrogênio modificada para fornecer 40 mg dm<sup>-3</sup> de NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> (Tabela 2). Foi conduzido um ensaio por vez, utilizando a mesma casa de vegetação e equipamentos usados.

O bombeamento da solução nutritiva contida no reservatório para a bandeja célula única (cerca de 20 L de solução nutritiva) ocorria de 2 em 2 horas e foi mantida em contato com as plantas por, aproximadamente, 20 minutos, recebendo arejamento constante. O volume de solução do reservatório foi completado diariamente com água deionizada, e a troca da solução ocorreu semanalmente; sendo o pH e a condutividade elétrica da solução nutritiva monitorados diariamente. O pH foi mantido a 5,5 ± 0,2 ao longo do período de crescimento pela adição de

NaOH ou HCl 1,0 mol L<sup>-1</sup>. A condutividade elétrica foi reduzida entre 10 e 20 % durante sete dias.

(A)



(B)



Figura 1: (A) Sistema de crescimento de plantas de arroz de terras altas, mesa com reservatório de solução nutritiva conectado a um conjunto de bombas e (B) Bandejas em células para o crescimento das plantas em areia e solução nutritiva. Fonte: Reginaldo Aparecido Bastos, Embrapa, 2015.

Tabela 2. Preparo da solução estoque e concentrações esperadas de elementos individuais na solução (OUKO, 2003).

| Elemento | Reagente   | Preparo<br>(g 10L <sup>-1</sup> de água<br>deionizada) | Concentração do<br>elemento na solução<br>nutritiva (ppm) |
|----------|--|--|---|
| N        | NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>  | 914  | 40  |
| P        | NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> 2H <sub>2</sub> O                               | 403  | 10  |
| K        | K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>   | 714  | 40  |
| Ca       | CaCl <sub>2</sub>  | 886  | 40  |
| Mg       | MgSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O  | 3240   | 40  |
| Mn       | MnCl <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O  | 15.0   | 0,5   |
| Mo       | (NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> MO <sub>7</sub> O <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O | 0.74   | 0,05  |
| B        | H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>   | 9.34   | 0,2   |
| Zn       | ZnSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O  | 0.35   | 0,01  |
| Cu       | CuSO <sub>4</sub> 5H <sub>2</sub> O  | 0.31   | 0,01  |

|    |                                     |     |       |
|----|-------------------------------------|-----|-------|
| Fe | FeCl <sub>3</sub> 6H <sub>2</sub> O | 77  | 0,0 2 |
|    | Ácido cítrico<br>monohidratado      | 119 |       |

Fonte: Ouko, 2003.

Plântulas de 07 e 14 dias após o transplântio (DAT) foram avaliadas quanto à altura (Alt), medida por meio de régua. No 14º DAT, um total de cinco plantas por repetição, foram separadas em caule + folhas e raízes, secas em estufa de circulação forçada de ar a 65-70 °C até massa constante, em um período de 24 horas, pesadas, obtendo-se as biomassas secas de parte aérea (BSPA) e de raiz (BSR). BSPA e BSR foram expressas em g.

Após a determinação da biomassa seca de parte aérea, o material vegetal seco foi moído e destinado à análise para determinação do Nitrogênio total (Ntotal) pelo método kjeldahl (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997), nos ensaios 1, 2 e 3. Ntotal foi expresso em g kg<sup>-1</sup> MS (matéria seca). A análise do Ntotal não foi realizada no ensaio 4 devido a problemas técnico-operacionais.

Aos 14 DAT também foi determinada a atividade da Nitrato Redutase, utilizando-se parte aérea de duas plântulas de arroz de terras altas. Para tanto, amostras foram preparadas para procedimento de ensaio *in vivo*. O tecido vegetal (folhas e colmos) foi cortado em segmentos de aproximadamente 0,5 cm<sup>2</sup> e misturados aleatoriamente. Os tecidos cortados foram pesados (50 mg), transferidos para microtubos e, em seguida, adicionados 750 µL de solução incubadora (tampão fosfato 0,1 mol.L<sup>-1</sup>, pH 7,5, 2-propanol (2 %, v/v) e nitrato de potássio 0,02 mol.L<sup>-1</sup>). Após 35 minutos de incubação, as amostras foram levadas para banho maria (100 °C por 5 min) e resfriadas. Em seguida, adicionou-se 500 µL de sulfanilamida (1%) e 500 µL de n-naftil-etileno-diamino (0,02%) e as amostras foram colocadas em repouso por 20 min. A intensidade da cor da solução (formação de um complexo de coloração rosa) foi medida a 540 nm, em espectrofotômetro UV/Vis. Para o branco, o procedimento foi o mesmo adotado para as amostras, exceto com relação à adição da solução incubadora, que foi feita no final dos 35 minutos de incubação e imediatamente depois da colocação dos tubos em banho maria. A curva de calibração foi obtida a partir da solução padrão estoque, 100 µmol L<sup>-1</sup> de Na NO<sub>2</sub>. O conteúdo de nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) nas folhas de plantas de arroz de terras altas foi calculado pela referência ao gráfico de calibração plotado a partir dos resultados obtidos com as soluções-padrão diluídas, contendo 0; 10; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90 e 100 µmol L<sup>-1</sup> de NO<sub>2</sub><sup>-</sup>. Todos os tratamentos foram feitos em triplicata, sendo a atividade da Nitrato Redutase expressa em µmol NO<sub>2</sub> h<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> MF (matéria fresca) (JAWORSKI, 1971).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com três repetições. Cada repetição foi composta por nove células contendo uma planta cada célula. Para normalizar e reduzir a assimetria dos dados, foi realizada a transformação para  $\sqrt{x + 1,0}$  (onde x representa as variáveis) utilizadas frequentemente para dados mensuráveis ou de contagem. Os dados transformados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) usando o software Sisvar 5.1 (Ferreira 2011). As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ) (Scott e Knott 1974). Correlações de Pearson foram estimadas para determinar a relação entre a atividade da NR e os parâmetros de crescimento Alt 7DAT, Alt 14DAT, BMSPA e BMSR.

Os ensaios ocorreram sequencialmente em intervalos de sete dias entre eles. Desse fato decorre a diferenciação entre eles no tempo e, por conseguinte, nas condições climáticas.

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resumos da análise de variância para cada uma das características avaliadas nas plantas de arroz de terras altas, nos ensaios individualizados, estão apresentados na Tabela 3. Diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os genótipos e os parâmetros de crescimento (vigor da planta de arroz de terras altas), atividade da NR e N-total da parte aérea foram detectadas pelo teste F. As exceções foram BSR e N-total (ensaio 3) e Alt 14 DAT (ensaio 4).

Tabela 3. Resumos das análises de variância individuais de cada ensaio para altura de plantas (cm) aos 7 (Alt 7DAT) e 14 dias após o transplântio (Alt 14DAT), biomassa da matéria seca de parte aérea (BMSPA, em g), biomassa da matéria seca de raiz (BMSR, em g), Ntotal (g kg<sup>-1</sup>) e atividade da nitrato redutase na parte aérea (NR,  $\mu\text{mol NO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ ) dos genótipos de arroz de terras altas, cultivados em sistema de crescimento de plantas utilizando solução Yoshida et al. (1976), com modificação na forma de nitrogênio: 40 mg dm<sup>-3</sup> de NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>.

| ENSAIO | FV        | GL | QM         |                        |            |                        |            |                        |
|--------|-----------|----|------------|------------------------|------------|------------------------|------------|------------------------|
|        |           |    | Alt 7DAT   | Alt 14DAT              | BMSPA      | BMSR                   | ANR        | Ntotal                 |
| 1      | Genótipos | 8  | 0,047837*  | 0,174923*              | 0,000069** | 0,000030**             | 0,052654** | 0,065844**             |
|        | Erro      | 18 | 0,015548   | 0,031096               | 0,000010   | 0,000006               | 0,001533   | 0,010759               |
|        | Média     |    | 16,8       | 33,05                  | 0,0504     | 0,0248                 | 0,379      | 42,72                  |
|        | CV (%)    |    | 2,96       | 3,03                   | 0,30       | 0,24                   | 3,36       | 1,57                   |
| 2      | Genótipos | 8  | 0,740184** | 0,673587*              | 0,000045** | 0,000142**             | 0,034459** | 0,314217**             |
|        | Erro      | 18 | 0,030315   | 0,183288               | 0,000004   | 0,000006               | 0,002498   | 0,032891               |
|        | Média     |    | 10,9       | 26,4                   | 0,0279     | 0,0229                 | 0,869      | 41,94                  |
|        | CV (%)    |    | 5,11       | 8,23                   | 0,20       | 0,25                   | 3,67       | 2,77                   |
| 3      | Genótipos | 8  | 0,294045** | 0,668851*              | 0,000068** | 0,000007 <sup>ns</sup> | 0,034417** | 0,097264 <sup>ns</sup> |
|        | Erro      | 18 | 0,041991   | 0,23837                | 0,000005   | 0,000004               | 0,002603   | 0,071844               |
|        | Média     |    | 9,64       | 18,16                  | 0,019      | 0,008                  | 1,1        | 53,1                   |
|        | CV (%)    |    | 6,32       | 11,13                  | 0,22       | 0,19                   | 3,57       | 3,65                   |
| 4      | Genótipos | 8  | 0,087142** | 0,083831 <sup>ns</sup> | 0,000155** | 0,000020**             | 0,732780** |                        |
|        | Erro      | 18 | 0,010129   | 0,071655               | 0,000008   | 0,000003               | 0,005884   |                        |
|        | Média     |    | 20,51      | 37,39                  | 0,071      | 0,0193                 | 2,2        |                        |
|        | CV (%)    |    | 2,17       | 4,32                   | 0,27       | 0,18                   | 4,46       |                        |

Significativo, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste de F; <sup>ns</sup>: não significativo.

Para avaliar a magnitude das diferenças significativas entre os genótipos foi utilizado o teste de comparação de média Scott-Knott, método de comparação múltipla baseado em análise de agrupamento univariada (Tabela 4). De uma maneira geral, os genótipos Noventinha (ensaio 1), TOX 1785-19-18, CNA 449-BM15-3-B-4 (ensaio 2), Guarani e Rio Doce (ensaio 3) e CNA 444 BM38-1 B-1 e 4 Meses Branco (ensaio 4) apresentaram plântulas de arroz de terras altas com maior vigor inicial, uma vez que foram observados elevados valores das variáveis de crescimento Alt 7DAT, Alt 14DAT e BMSPA em comparação com os genótipos de seus respectivos ensaios. Em relação à BMSR, os destaques foram 4 Meses Branco, Noventinha, Farroupilha e Branco Precoce (ensaio 1), CNA 511-3-B-5, CNAX 1754-23-B-1, CNA 104-B-18-PY-1-2 e Primavera (ensaio 2), não foram formados grupos distintos no ensaio 3 e CNA 444 BM38-1 B-1, Guapó de Cavalcante, Mato Grosso, Branco Precoce, 4 Meses Branco e BRS Esmeralda (ensaio 4).

No presente estudo, apesar de as cultivares pertencerem a diferentes grupos (tradicional, intermediário e moderno), não foi observado uma relação entre os grupos de genótipos e a quantidade de massa seca produzida. Assim, cada cultivar possui uma eficiência na aquisição e

uso do nitrogênio, que é afetada por vários fatores como atividade das enzimas de assimilação, acúmulo e redistribuição de nitrato nos órgãos de reserva, cinética de absorção de N, baixo teor de nitrato redutase nas plantas durante o período vegetativo, ocorrendo o acúmulo de nitrato nos tecidos vegetais e posterior movimentação do nitrato para a síntese de proteínas de reserva no grão.

Toda essa complexidade de eventos bioquímicos e fisiológicos podem influenciar na produção e acúmulo de fotoassimilados que, conseqüentemente, afetará o acúmulo de massa na planta (FORNASIERI FILHO; FORNASIERI, 2006; BORÉM; RANGEL, 2015). Maud: Crusciol; Grassi Filho (2011), observaram maior quantidade de massa seca no cultivar Maravilha (grupo moderno) em relação à cultivar Caiapó (grupo tradicional). Peres (2017), também verificou maior valor dessa característica para o cultivar IAC 202 (grupo moderno) quando comparado ao BRS Esmeralda (grupo intermediário). De acordo com Breseghello; Castro; Moraes (1998), as cultivares do grupo moderno apresentam maior perfilhamento em relação ao grupo tradicional, afetando a massa de matéria seca. No presente estudo, as diferenças na quantidade de matéria seca das plantas de arroz de terras altas, sob condições específicas de cultivo, podem ser atribuídas ao genótipo.

Para a atividade da enzima NR, os maiores valores foram apresentados pelos genótipos Mato Grosso e Farroupilha (ensaio 1), TOX 1785-19-18 (ensaio 2), Guarani, Rio Doce, Guaporé, TOX 1871-29, Farox 299 e Primavera (ensaio 3) e Farroupilha (ensaio 4). A média da atividade da NR nos genótipos Mato Grosso e Farroupilha (ensaio 1) foi aproximadamente três vezes superior à média da atividade da NR dos outros genótipos de seus respectivos ensaios; enquanto a média da atividade da NR nos genótipos TOX 1011-4-2 e TOX 1785-19-18 (ensaio 2), Guarani, Rio Doce, Guaporé, TOX 1871-29, FAROX 299 e Primavera (ensaio 3) e Farroupilha (ensaio 4) foi aproximadamente duas vezes superior à média da atividade da NR dos demais genótipos pertencentes aos seus respectivos ensaios.

Tabela 4 - Média da altura ao 7º e ao 14º DAT (dias após transplantio) (Alt 7DAT e Alt 14DAT), biomassa seca de parte aérea e raiz (BSPA e BSR), atividade da Nitrato Redutase da parte aérea (ANR) e nitrogênio total da parte aérea (Ntotal) de genótipos de arroz de terras altas pertencentes à Coleção Nuclear do Germoplasma da Embrapa Arroz e Feijão.

| ENSAIO    | GENÓTIPOS               | Alt 7 DAT<br>(cm) | Alt 14<br>DAT<br>(cm) | BSPA(g)  | BSR(g)   | ANR<br>( $\mu\text{mol NO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1}$<br>MF*) | Ntotal<br>g $\text{kg}^{-1}$<br>MS* |
|-----------|-------------------------|-------------------|-----------------------|----------|----------|---|-------------------------------------|
| 1         | CT11891-3-3-3-M         | 14,80 c           | 29,57 b               | 0,0431 b | 0,0208 b | 0,604 b   | 44,40 a                             |
|           | MATO GROSSO             | 16,53 b           | 30,93 b               | 0,0436 b | 0,0206 b | 0,855 a   | 45,33 a                             |
|           | BRANCO PRECOCE          | 16,80 b           | 33,80 a               | 0,0629 a | 0,0297 a | 0,136 e   | 42,77 a                             |
|           | 4 MESES BRANCO          | 17,03 b           | 35,77 a               | 0,0648 a | 0,0339 a | 0,123 e   | 43,53 a                             |
|           | NOVENTINHA              | 18,30 a           | 36,53 a               | 0,0627 a | 0,0323 a | 0,429 c   | 41,93 b                             |
|           | FARROUPILHA             | 17,87 a           | 37,20 a               | 0,0442 b | 0,0271 a | 0,800 a   | 40,60 b                             |
|           | BRS MG<br>CARAVERA      | 15,70 c           | 31,27 b               | 0,0432 b | 0,0150 b | 0,037 e   | 41,37 b                             |
|           | BRS ESMERALDA           | 16,63 b           | 31,00 b               | 0,0446 b | 0,0247 b | 0,069 e   | 44,80 a                             |
|           | PRIMAVERA               | 17,17 b           | 31,37 b               | 0,0446 b | 0,0190 b | 0,356 d   | 39,73 b                             |
| 2         | TOX 1011-4-2            | 7,10 c            | 23,00 a               | 0,0220 b | 0,0093 c | 1,480 a   | 41,13 a                             |
|           | TOX 1369-18-1           | 4,60 d            | 16,77 b               | 0,0159 b | 0,0066 c | 0,815 b   | 46,23 a                             |
|           | TOX 1785-19-18          | 12,93 a           | 28,70 a               | 0,0333 a | 0,0094 c | 1,219 a   | 44,67 a                             |
|           | CNA 449-BM15-3-B-<br>4  | 14,07 a           | 31,23 a               | 0,0350 a | 0,0110 c | 0,466 c   | 43,73 a                             |
|           | CNA 511-3-B-5           | 12,13 b           | 28,53 a               | 0,0338 a | 0,0419 a | 0,757 b   | 41,07 a                             |
|           | CAX-782-28-2-1          | 11,47 b           | 28,37 a               | 0,0323 a | 0,0242 b | 0,848 b   | 42,93 a                             |
|           | CNAX 1754-23-B-1        | 10,60 b           | 26,63 a               | 0,0313 a | 0,0338 a | 0,702 b   | 46,83 a                             |
|           | CNA 104-B-18-PY-1-<br>2 | 13,67 a           | 30,23 a               | 0,0316 a | 0,0348 a | 0,790 b   | 35,40 b                             |
| PRIMAVERA | 11,27 b                 | 24,13 a           | 0,0156 b              | 0,0353 a | 0,741 b  | 35, 50 b  |                                     |
| 3         | GUARANI                 | 12,13 a           | 21,73 a               | 0,0316 a | 0,0081 a | 1,300 a   | 51,18 a                             |
|           | RIO DOCE                | 11,63 a           | 21,60 a               | 0,0308 a | 0,0069 a | 1,436 a   | 47,74 a                             |
|           | GUAPORÉ                 | 11,10 a           | 18,53 a               | 0,0223 b | 0,0106 a | 1,178 a   | 55,82 a                             |
|           | TOX 1011-4-2            | 6,67 c            | 14,00 b               | 0,0078 c | 0,0390 a | 0,758 b   | 55,79 a                             |
|           | TOX 503-4-115-B-B       | 8,83 b            | 19,23 a               | 0,0167 c | 0,0115 a | 0,699 b   | 55,11 a                             |
|           | TOX 1871-29             | 7,27 c            | 16,00 a               | 0,0184 b | 0,0073 a | 1,087 a   | 53,05 a                             |
|           | FAROX 299               | 8,40 b            | 11,37 b               | 0,0018 c | 0,0020 a | 1,305 a   | 54,00 a                             |
|           | ITA 225                 | 9,40 b            | 19,50 a               | 0,0212 b | 0,0100 a | 0,587 b   | 53,47 a                             |
|           | PRIMAVERA               | 11,33 a           | 21,43 a               | 0,0178 b | 0,0078 a | 1,154 a   | 51,65 a                             |
| 4         | GUAPÓ DE<br>CAVALCANTE  | 22,23 a           | 38,97 a               | 0,0748 b | 0,0254 a | 0,435 e   | -                                   |
|           | CNA 444 BM38-1 B-<br>1  | 21,93 a           | 37,87 a               | 0,0890 a | 0,0255 a | 1,032 d   | -                                   |
|           | CT11891-3-3-3-M         | 17,40 c           | 36,23 a               | 0,0636 c | 0,0148 b | 0,641 e   | -                                   |
|           | MATO GROSSO             | 19,87 b           | 35,53 a               | 0,0632 c | 0,0193 a | 1,913 b   | -                                   |
|           | BRANCO PRECOCE          | 21,23 a           | 38,97 a               | 0,0829 b | 0,0196 a | 1,453 c   | -                                   |
|           | 4 MESES BRANCO          | 21,97 a           | 39,53 a               | 0,0941 a | 0,0212 a | 0,807 d   | -                                   |
|           | FARROUPILHA             | 20,67 a           | 39,50 a               | 0,0601 c | 0,0156 b | 2,688 a   | -                                   |
|           | BRS ESMERALDA           | 20,07 b           | 33,67 a               | 0,0667 b | 0,0221 a | 1,771 b   | -                                   |
| PRIMAVERA | 19,27 b                 | 36,27 a           | 0,0485 d              | 0,0097 b | 1,815 b  | -   |                                     |

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, para cada ensaio, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Skott Knot. Dados transformados em raiz quadrada de  $Y + 1.0 - \text{SQRT}(Y + 1.0)$  para análise estatística.

\*matéria fresca

\*\*matéria seca

A escolha da idade da plântula de arroz de terras altas para determinação da atividade da NR foi baseada no estudo de Ouko (2003), o qual mostra que a atividade da NR foi detectada

no 7º, 14º e 21º DAG (dia após germinação), mas o pico de atividade ocorreu no 14º DAG. Para Marwaha e Juliano (1976), o pico de atividade da NR na parte aérea de plantas de arroz foi no 10 DAG (dias após germinação) e entre 7 a 10 dias na raiz. Barlaan; Sato; Ichii, (1998) estudaram 14 cultivares de arroz irrigado, em que a atividade da NR foi determinada aos 15, 30, 45 e 60 dias após o transplântio (DAT). O pico máximo de atividade foi alcançado aos 15 DAT em todas as cultivares, diminuindo gradualmente até a maturidade, e sua atividade variou entre 300 e 600  $\text{nmol NO}_2^- \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$ .

A NR é afetada por fatores como a fosforilação (forma inativa da NR) e a desfosforilação (forma ativa da NR) de vários resíduos de serina em sua estrutura, sendo que tais eventos bioquímicos são influenciados pela luminosidade disponível, níveis de carboidratos, dentre outros fatores ambientais (TAIZ et al., 2017). Assim, médias mais baixas detectadas no ensaio 1 podem ser explicadas, em parte, pela ocorrência de nuvens no dia da avaliação, fato não observado para os demais grupos. Moro et al. (2014) também observaram diferença na quantidade da NR em 10 cultivares de arroz de terras altas, determinada aos 14 DAE (dias após emergência), sendo Carajás, IAC 202, BRA Bonança e BRS Curinga as cultivares destaques, comparativamente, às demais. CAO et al. (2008), avaliando duas cultivares de arroz (Nanguang e Yunjing) e o nitrogênio fornecido nas formas de sulfato de amônio e nitrato de amônio, verificaram que a aplicação de nitrato de amônio proporcionou maior a atividade da NR (2x), comparativamente, à aplicação do sulfato de amônio.

Para N-total, a maioria dos genótipos apresentaram altos teores, os quais variaram entre 41,13 a 55,82  $\text{g kg}^{-1}$  de MS. Os genótipos com os menores teores foram Noventinha, Farroupilha, BRSMG Caravera e Primavera (ensaio 1) e CNA 104-B-18-PY-1-2 e Primavera (ensaio 2). Na cultura do arroz, a aplicação de nitrogênio afeta diretamente a produtividade da cultura, por causar incrementos nos componentes de produção como número de panículas  $\text{m}^{-2}$ , número de espiguetas por panículas e até mesmo na massa dos grãos, uma vez que o nutriente promove aumento de área foliar, ocasionando em aumento da fotossíntese (BORÉM; RANGEL, 2015). De acordo com Makino (2011), há uma forte correlação entre o teor de N foliar e a capacidade fotossintética da planta, por isso busca-se o desenvolvimento de cultivares com maior teor de N foliar. Mauad; Crusciol; Grassi (2011) observaram diferença no teor de N foliar para duas cultivares de arroz, no qual o cultivar Caiapó (tipo tradicional) apresentou maior teor de N foliar em relação ao Maravilha (tipo moderno). Mingotte; Hanashiro; Fornasieri Filho (2013), avaliando 13 cultivares de arroz, verificaram que há diferença no teor de N foliar de acordo com cada cultivar estudada, sendo que o maior teor foi obtido na cultivar IAC 500.

Para verificar o efeito da variação da atividade de NR sobre o teor de Ntotal e as variáveis de crescimento: Alt 7DAT, Alt 14DAT, BSPA e BSR das plantas de arroz de terras altas, foi obtida a correlação de Pearson, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Coeficiente de correlação de Pearson entre atividade da nitrato redutase (NR, em  $\mu\text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ ), teor de Ntotal na parte aérea (Ntotal, unidade  $\text{g kg}^{-1} \text{ MS}$ ), altura de plantas ao 7º dia após o transplântio (Alt 7DAT e Alt 14DAT, cm), biomassa da matéria seca de parte aérea (BMSPA, g) e biomassa da matéria seca da raiz (BMSR, g).

|           | ANR | Ntotal | Alt 7DAT | Alt 14DAT | BMSPA  | BMSR   |
|-----------|-----|--------|----------|-----------|--------|--------|
| ANR       |     | 0,09   | 0,11     | -0,03     | 0,08   | -0,24* |
| Ntotal    |     |        | -0,46*   | -0,61*    | -0,42* | -0,57* |
| Alt 7 DAT |     |        |          | 0,88*     | 0,89*  | 0,40*  |
| Alt 14DAT |     |        |          |           | 0,86*  | 0,52*  |
| BMSPA     |     |        |          |           |        | 0,41*  |

\*Valores de correlação ao nível de 5% de significância.

Análise de correlação realizada usando dados transformados em raiz quadrada de  $Y + 1.0 - \text{SQRT}(Y + 1.0)$

Não houve correlação significativa entre atividade da NR e o N-total da parte aérea. Isto sugere que devido ao fornecimento de N, 50% na forma nítrica ( $\text{N-NO}_3^-$ ) e 50% na forma amoniacal ( $\text{N-NH}_4^+$ ), as plantas aos 14 DAT utilizaram, preferencialmente, o N na forma de  $\text{N-NH}_4^+$ . Esse fato foi também observado no estudo de Shen (1969), o qual relatou que a assimilação de  $\text{NO}_3^-$  por plântulas de arroz *indica* (IR8) é completamente suprimida por  $\text{NH}_4^+$  se o meio contiver tanto o íon  $\text{NH}_4^+$  quanto o íon  $\text{NO}_3^-$ . A captação de  $\text{NO}_3^-$  é retomada somente após o  $\text{NH}_4^+$  ter sido completamente esgotado do meio.

Outra hipótese para explicar a baixa correlação entre a atividade da NR e N-total, ambos na parte aérea, é o fato de o metabolismo (absorção/assimilação) do  $\text{NO}_3^-$  ter ocorrido nas células radiculares (isto é, alta atividade da NR na raiz). Apesar do estudo de Andrews (1986) ter mostrado que, na maioria das espécies herbáceas, a redução do  $\text{NO}_3^-$  ocorre, predominantemente, nas folhas. Enquanto, estudos conduzidos por Thomas; Hilker (2000), *in vivo* e *in vitro*, mostraram que espécies lenhosas reduziram a maioria do  $\text{NO}_3^-$  nas células radiculares. Além disso, Araújo (2011) observou que variedades de arroz que apresentaram maior teor de  $\text{NO}_3^-$  na parte aérea mostraram baixa atividade da NR, sugerindo que parte do  $\text{NO}_3^-$  absorvido não é metabolizado imediatamente e, sim, acumulado na parte aérea.

Em relação as variáveis de crescimento, a atividade da NR apresentou correlação significativa, porém negativa, somente com a BSR. A NR é uma enzima de síntese induzida pelo substrato ( $\text{NO}_3^-$ ) (ALI; SILVKAMI; RAGHURAM., 2007); no entanto maior quantidade de raiz e disponibilidade de N, tanto na forma amoniacal ( $\text{N-NH}_4^+$ ) quanto nítrica ( $\text{N-NO}_3^-$ ) no meio de crescimento, promoveu menor indução de síntese e/ou atividade de NR. Malavolta (1980) relatou que o arroz, tanto de sequeiro quanto irrigado, nas duas ou três semanas após a emergência, quando cultivado em meio contendo  $\text{NO}_3^-$  como forma exclusiva de N,

desenvolveram-se muito pouco, apresentando sintomas atípicos de deficiência de N, o que não acontece quando o N é fornecido como  $\text{NH}_4^+$ . Assim, a baixa correlação entre atividade de NR e as variáveis de crescimento, na fase inicial do desenvolvimento das plantas de arroz de terras altas, pode ser atribuída à composição química de N contido na solução nutritiva. De acordo com Ouko (2003), plantas de arroz, cultivadas em solução nutritiva, apresentaram atividade de NR significativamente maior na presença de  $\text{NO}_3^-$  comparativamente a uma solução nutritiva contendo somente  $\text{NH}_4^+$ . Contudo, concentrações elevadas de  $\text{NO}_3^-$  (p. ex.:  $40 \text{ mg L}^{-1}$ ) não promoveram aumento na atividade da enzima, significando que a NR é mais eficiente sob baixas concentrações de  $\text{NO}_3^-$ .

## **5. CONCLUSÃO**

- Houve variabilidade entre os genótipos de arroz de terras altas para a atividade de NR e vigor inicial.

- Não há correlação entre a atividade da nitrato redutase com o vigor inicial e N-total. Porém, o N-total da parte aérea foi negativamente correlacionado com o vigor inicial;
- Os genótipos TOX 1785-19-18 (ensaio 2), Guarani e Rio Doce (ensaio 3) se destacaram em todos os parâmetros avaliados; portanto, são potenciais genitores para uso no melhoramento genético do arroz de terras altas.

## **6. REFERÊNCIAS**

ALI, A.; SILVKAMI, S.; RAGHURAM, N. Effect of nitrate, nitrite, glutamate, glutamine and 2-oxoglutarate on NRA, levels and enzyme activities of nitrate reductase and nitrite reductase in rice. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, v. 13, n. 1, p; 17 -25, 2007

ALVAREZ, R. C. F. et al. **Marcha de absorção de nitrogênio de cultivares de arroz de terras altas com diferentes tipos de plantas**. Científica, Jaboticabal, v.34, n.2, 2005.p.162-169.

ANDREWS, S. M. The partitioning of nitrate assimilation between root and shoot of higher plants. *Plant, Cell and Environment*, Oxford, v. 9, n. 7, p. 511-519, Sept. 1986.

ARAÚJO, J. L. **Atividade da redutase do nitrato sobre o crescimento e produção de grãos de arroz**. 2005. 76 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)– Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005

ARAÚJO A. M. S. Absorção e metabolism de nitrogênio por arroz em diferentes agroecossistemas sob disponibilidade sazonal de  $\text{NO}_3^-$ . Tese (pos-graduação em ciências dos solos) universidade federal rural do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ. p. 54-56, 2011.

BARLAAN, E. A.; SATO, H.; ICHII, M. Nitrate reductase activities in rice genotypes in irrigated lowlands. *Crop Science*, Madison, v. 38, n. 3, p. 728-734, May/June 1998.

BORÉM, A.; RANGEL, P. H. N. **Arroz do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015. 242 p.

BOTELHO, C. **O arroz**. São Paulo: Typografia Levi, 1914.

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. **Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas**. *Ciência Rural*, Santa Maria, 2000. v. 30, p. 365-372.

BRESEGHELLO, F.; CASTRO, E. M.; MORAIS, O. P. Cultivares de arroz. In: BRESEGHELLO, F.; STONE, L. F. (Ed.) **Tecnologia para o arroz de terras altas**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1998. cap. 7, p. 41-53.

CAO, Y.; FAN, X.; SUN, S.; XU, G.; HU, J.; SHEN, Q. Effect of nitrate on activities and transcript levels of nitrate reductase and glutamine synthetase in rice. *Pedosphere*, Nanjing, v. 18, n. 5, p. 664–673, 2008.

CANTARELLA, H. Nitrogênio In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, M. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do Solo. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. 2007, p. 1017.

CHENG, C.L. et al. Sucrose mimics the light induction of Arabidopsis nitrate reductase gene transcription. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 1992. v. 89, p.1861–1864.

COBUCCI, T.; RABELO, R. R.; SILVA, W. **Manejo de plantas daninhas na cultura do arroz de terras altas na região dos Cerrados** (2001) Circular Técnica 42, Santo Antônio de Goiás. Disponível em <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/59105/1/Circ-42.pdf>. Acesso em Dez, 2017.

COBUCCI, T.; NOLDIN, J. A. Plantas daninhas e seu manejo. In: Santos, A. B.; Stone, L. F.; Vieira, N. R. A. editores. *A cultura do arroz no Brasil*. 2ª ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa, 2006. P. 633-81.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **A cultura do arroz** / organizador Aroldo Antônio de Oliveira Neto. – Brasília: Conab, 2015. 180 p. Disponível também em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 20 de out, 2018.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Observatório agrícola: acompanhamento da safra brasileira – grãos. V. 6 - SAFRA 2018/19- N. 4 - Quarto levantamento|Janeiro 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 07 de jun, 2019.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira grãos, Safra 2017/18**: quarto levantamento. Brasília: Brasília. 2018. v. 5, p. 1-132.

CRAWFORD, N.M.; CAMPBELL, W.H. Fertile fields. **The Plant Cell** **2**, 1990. p.829-835.

CRAWFORD, N. M. Nitrate: nutrient and signal for plant growth. **The Plant Cell**, 1995. v.7, p.859- 868.

D'ANDREA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; GUILHERME, L. R. **G.Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo**. Pesquisa Agropecuária Brasileira v.39, p. 179-186, 2004.

DEANNE-DRUMMOND, C.E.; GLASS, A.D.M. Short-term studies of nitrate uptake into barley plants using íon-specific electrodes and  $^{36}\text{Cl}3$ . II. Regulation of  $\text{NO}_3^-$  efflux by  $\text{NH}_4^+$ . **Plant Physiol.**, Dordrecht, 1983. v.73, p.105-110.

EMBRAPA (2017) **Dados de conjuntura da produção de arroz (Oryza sativa L.) no Brasil** (1986-2016). Disponível em <http://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm>. Acesso em 04 de abril 2019.

FARINELLI, R. et al. Características agronômicas de arroz de terras altas sob plantio direto e adubação nitrogenada e potássica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.28, n.3, p.447-454, 2004.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciênc. Agrotecnol.*, 35(6):1039–1042, 2011.

FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J. L. **Manual da cultura do arroz**. Funep, Jaboticabal, 2006. p. 589.

GALINATO, M.I., K. MOODY and C.M. PIGGIN. 1999. Upland rice weeds of South and Southeast Asia. **IRRI**. Makati City, Philippines. 156 p.

GUIMARÃES, C.M.; STONE, L.F. Arroz de terras altas em rotação com soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 2004. v. 34. n.3. p. 127-132.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; MORAIS, O. P. Resposta de Cultivares e Linhagens Elites de Arroz de Terras Altas ao Défice Hídrico. EMBRAPA Arroz e Feijão, **Comunicado Técnico 151**, 2007.

- GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A.; SILVA, J. G. da. Sistema de plantio direto. In: SANTIAGO, C. M.; BRESEGHELLO, H. C. P.; FERREIRA, C. M. (Ed.) **Arroz: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Embrapa, 2013. p. 99-108.
- HAPER, J. E. Nitrogen metabolismo. In: Physiology and determination of crop yield. BOOTE, K. J.; BENNETT, J. M.; SINCLIR, T. R.; PAULSEN, G. M. editores. Madison, Wisconsin: ASA, CSSA and SSSA. 1994. Pp. 285-302.
- HEINEMANN, A.B.; STONE, L.F; FAGERIA, N.K.; CASTRO, L.M. Evaluation of physiological traits in upland rice for adaptation to no-tillage system. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 21: 113-122, 2009.
- JAWORSKI, E.G. **Nitrate reductase assay in intact plant tissues**. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, vol. 43, p. 1274-1279, 1971.
- KAISER, W.M.; HUBER, S.C. (2001) Post-translational, regulation of nitrate reductase: mechanism, physiological relevance and environmental triggers. **Journal of Experimental Botany** 52: 1981-1989.
- KIKUTA, M. et al. How growth and yield of upland rice vary with topographic conditions: a case of slash-and-burn rice farming in South Konawe Regency, Southeast Sulawesi Province, Indonesia. *Trop. Agro. Develop.* 60(3): 162 – 171, 2016.
- KLUTHCOUSKI, J. et al. **Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto**. *Sci*, 2000. *Agric* 57:97-104.
- KUMAR V, LADHA JK. Direct seeding of rice: recent developments and future research needs. **Advances in Agronomy**, 2011.p. 297–413.
- LAM, H.M. et al. Putative nitrogen sensing systems in higher plants. **Journal of Integrative Plant Biology**, 2006. v. 48, p. 873-888.
- LANNA, A. C. et al. (2003) **Análise da Situação da Cultura do Arroz de Terras Altas no Meio Norte do Mato Grosso**. Documentos 151, Santo Antônio de Goiás. Disponível em <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/212492/1/doc151.pdf>. Acesso em Dez, 2017.
- LANNA, A. C.; CARVALHO, M. A. F. (2013) **Nitrato redutase e sua importância no estabelecimento de plantas de arroz de terras altas**. Documentos 280, Santo Antônio de Goiás. Disponível em <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/81617/1/seriedocumentos-280.pdf>. Acesso em Dez, 2017.
- LILLO, C.; LEA U.S.; LEYDECKER M.T.; MEYER, C. Mutation of the regulatory phosphorylation site of tobacco nitrate reductase results in constitutive activation of the enzyme in vivo and nitrite accumulation. **Plant Journal** 35, 2003. p. 566-573
- LOPES, A. S. et al. **Sistema plantio direto: bases para o manejo da fertilidade do solo**. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos, 2004.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. p.319.

MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. pp. 51.

MAKINO, A. Photosynthesis, grain yield, and nitrogen utilization in rice and wheat. **Plant Physiology**, Rockville, v. 155, n. 1, p. 125–129, 2011.

MARWAHA, R. S.; JULIANO B. O. Aspects of nitrogen metabolism in the rice seedlings. *Plant physiol*, 57, 923-927, 1976.

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

MINGOTTE, F. L. C.; HANASHIRO, R. K.; FORNASIERI FILHO, D. Response of rice cultivars to nitrogen in upland conditions. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 1, p. 86-95, 2013.

MILLER, J. A.; Fan, X.; Orsel, M.; Smith, S. J.; Wells, D. M. Nitrate transport and signalling. *J. Exp. Bot.*, 58(9): 2297 – 306, 2007.

MORO, E.; CRUSCIOL, C. A. C.; NASCENTE, A. S.; CANTARELLA, H. Atividade da enzima nitrato redutase em cultivares de arroz de terras altas. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 7, n. 26, p. 602-607, 2014.

NAMUCO, O.S.; CAIRNS, J. E.; JOHNSON, D. E. Investigating early vigour in upland rice (*Oryza sativa* L.): Part I. Seedling growth and grain yield in competition with weeds. *Field Crops Research* 113, 197–206, 2009.

NASCENTE, A. S. et al. Produtividade do arroz de terras altas em função d manejo do solo e da época de aplicação de nitrogênio. *Pesq. Agropec. Trop.*, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 60-65, 2011

NARDOTO, G.B.; BUSTAMANTE, M.M.C. Effects of fire on soil nitrogen dynamics and microbial biomass in savannas of Central Brazil. *Pesq. Agrop. Bras.*, Brasília, 2003.v.38, p.955- 962.

NAVES, M. M. V.; BASSINELLO, P. Z. Importância na nutrição humana. In: SANTOS, A. B. dos; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. A. A cultura do arroz no Brasil. Santo Antônio de Goiás: **Embrapa Arroz e Feijão**, 2006. p. 17-30.

NETTO, J. F. A. **A atividade da enzima redutase do nitrato e glutamina sintase em cafeeiro Arábica**. 2005. Dissertação. (Mestrado) - ESALQ. Piracicaba, SP, 2005.

NOSSE, T. O. et al. Restos vegetais e adubação nitrogenada na micorrização e produtividade do arroz de terras altas em sistema plantio direto. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, 2008. v. 30, n. 4, p. 547-553.

OAKS, A., HIREL, B. Nitrogen metabolism in roots. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, 1985. v.36, p. 345-365.

OUKO, M. O. **Nitrate reductase activity in rice as a screening tool for weed competitiveness.** 2003. 73 p. Thesis (Masters of Agriculture) - University of Bonn.

PERES, A. **Variação hídrica e fontes de nitrogênio em cultivares de arroz de terras altas: produção e qualidade fisiológica de sementes.** 2017. 146 f. Tese (Doutorado em Sistemas de Produção)- Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho- UNESP, Ilha Solteira. 2017.

PROCHNOW, R. **Alternativas tecnológicas para produção integrada de arroz orgânico.** 2002. 193 p. Dissertação (Mestre em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina.

REDOÑA, E. D.; MACKILL, D. J. Mapping quantitative trait loci for seedling vigor in rice using RFLPs. *Theoretical and Applied Genetics*, v. 92, pp. 395-402, 1996.

SANTOS, C. E; TREICHEL, M.; BELING, R. R. **Anuário Brasileiro do Arroz 2016.** Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, p. 112, 2016.

SHIVRAIN, V. K. et al. **Genetic diversity of weedy red rice (*Oryza sativa*) in Arkansas.** *Weed Research, USA*, v. 50, n. 4, p. 289-302, ago. 2010.

SHEN, T. C. The induction of nitrate reductase and the preferential assimilation of ammonium in germinating rice seedlings. *Plant Physiology, Minneapolis*, v. 44, n. 11, p. 1650-1655, Nov. 1969.

SIVASANKAR, S.; OAKS, A. **Nitrate assimilation in higher plants: the effects of metabolites and light.** *Plant Physiology*. v. 34, p. 609-620, 1996.

SOARES, P.C. et al. Cultivares de arroz de terras altas e de várzeas recomendadas para Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, v.25, p.25-34, 2004.

SODEK, L. **Metabolismo do nitrogênio.** In: KERBAUY, G. B. *Fisiologia Vegetal*. São Paulo: Guanabara Koogan, 2004. p. 252.

SOUZA, S.R.; FERNANDES, M.S. **Nitrogen acquisition by plants in a sustainable environment.** In: SINGH, R.P.; JAIWAL, P.K. (Ed.). *Biotechnological Approaches to Improve Nitrogen Use Efficiency in Plants*. Houston, Texas: Studium Press, 2006. p.41-62.

STEWART G.R., PATE J.S.; UNKOVICH M. Characteristics of inorganic nitrogen assimilation of plants in fire-prone Mediterranean type vegetation. **Plant, Cell and Environment**, 1993. v.16, p.351-363.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I.A.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal.** Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

TISCHNER, R. Nitrate uptake and reduction in higher and lower plants. *Plant, Cell and Environment*. 2000. v. 23, p.1005-1024.

THOMAS, F. M.; HILKER, C. Nitrate reduction in leaves and roots of young pedunculate oaks (*Quercus robur*) growing on different nitrate concentrations. *Environmental and Experimental Botany, Elmsford*, v. 43, n. 1, p. 19-32, Feb. 2000.

VAUGHAN, D. A., MORISHIMA, H., KADOWAKI, K. **Diversity in the Oryza genus.** Current Opinion in Plant Biology, Amsterdam, v. 6, n. 2, p 139-146, 2003.

WADE, L. J. et al. **Rainfed lowland rice:** physical environment and cultivar requirement. Field Crops Research, 1999. v. 64, n. 1-2. p. 3- 12.

WALTER, M.; MARCHEZAN, E.; AVILA, L. A. **Arroz:** composição e características nutricionais (revisão bibliográfica). *Ciência Rural*, 2008. v. 38, n. 4, p. 1184-1192,

WANDER, A. E. A competitividade do agronegócio brasileiro de arroz. **Custos e Agronegócio on line**, v. 2, n. 1, 2006.

WILLIAMS, L.E.; MILLER, A.J. Transporters responsible for the uptake and partitioning of nitrogenous solutes. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 2001. v.52, p.659-688.

YANG, C. M.; SUNG, J .M. **Relations between nitrate reductase activity and growth of young seedlings.** Journal of the Agricultural Association of China, Taipei, v. 111, p. 15-23, 1980.

YOSHIDA S. et al. **Laboratory manual for physiological studies of rice.** International Rice Research Institute, Los Banos, Phillipines, 1976. p. 61-66.

ZHAO, X. et al. Nitrogen fate and environmental consequence in paddy soil under rice-wheat rotation in the Taihu Lake region, China. *Plant Soil.*, 319 (2009), pp. 225-234.

**RIOS, Gabriel Saraiva<sup>1</sup>; LANNA, Anna Cristina<sup>2</sup>; BITTENCOURT, Luciana<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Aluno do curso de Agronomia do Centro Educacional de Goiás Uni-ANHANGUERA.<sup>2</sup>

Professora orientadora Dra. Anna Cristina Lanna do curso de Agronomia do Centro Educacional de Goiás Uni-ANHANGUERA.. <sup>3</sup> Professora coorientadora Dra. Luciana Bittencourt do curso de Agronomia do Centro Educacional de Goiás Uni-ANHANGUERA

Baixo vigor inicial de plantas de arroz de terras altas é um dos principais entraves para o sucesso da cultura no campo. No ecossistema de terras altas, a forma predominante de N mineral é o nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e sua assimilação requer a conversão do  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{NO}_2^-$  (nitrito) pela nitrato redutase (NR). Assim, esse estudo objetivou identificar genótipos de arroz de terras altas que apresentam alta atividade da NR e maior vigor inicial. Para tanto, quatro ensaios foram conduzidos em blocos casualizados com três repetições, totalizando 26 genótipos. Aos 7 e 14 DAT (dias após o transplante) foi avaliada a altura da planta e, aos 14 DAT, biomassa seca de parte aérea e raiz, teor de Ntotal (método kjeldahl) e atividade da NR da parte aérea (método espectrofotométrico). De uma maneira geral, os genótipos Noventinha (ensaio 1), TOX 1785-19-18, CNA 449-BM15-3-B-4 (ensaio 2), Guarani e Rio Doce (ensaio 3) e CNA 444 BM38-1 B-1 e 4 Meses Branco (ensaio 4) apresentaram plântulas de arroz de terras altas com maior vigor inicial, devido aos elevados valores das variáveis de crescimento Alt 7DAT, Alt 14DAT, BMSPA e BSR, comparativamente, aos genótipos de seus respectivos ensaios. Para a atividade da NR, os maiores valores foram obtidos pelos genótipos Mato Grosso e Farroupilha (ensaio 1), TOX 1785-19-18 (ensaio 2), Guarani, Rio Doce, Guaporé, TOX 1871-29, Farox 299 e Primavera (ensaio 3) e Farroupilha (ensaio 4). A maioria dos genótipos apresentaram teores de Ntotal que variaram de 41,13 a 55,82 g kg<sup>-1</sup> MS. Não houve correlação significativa entre atividade da NR, Ntotal da parte aérea e as variáveis de crescimento, com exceção da BSR. Existe variabilidade entre os genótipos de arroz de terras altas para atividade de NR e vigor inicial, sendo os genótipos Guarani e Rio Doce potenciais genitores para uso no melhoramento genético.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Oryza sativa* L., nitrogênio, absorção, assimilação, nitrato redutase, *screening*.