



**MONIQUE CAROLINA NUNES FERNANDES**

**ENZIMA REDUTASE DO NITRATO EM  
LINHAGENS DE ARROZ DE TERRAS ALTAS  
SUBMETIDAS AO ESTRESSE HÍDRICO**

**LAVRAS - MG  
2016**

**MONIQUE CAROLINA NUNES FERNANDES**

**ENZIMA REDUTASE DO NITRATO EM LINHAGENS DE ARROZ DE  
TERRAS ALTAS SUBMETIDAS AO ESTRESSE HÍDRICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup> Flávia Barbosa Silva Botelho  
Orientadora

Dr<sup>ª</sup> Kamila Rezende Dázio de Souza  
Coorientadora

**LAVRAS - MG  
2016**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Fernandes, Monique Carolina Nunes.

Enzima redutase do nitrato em linhagens de arroz de terras altas submetidas ao estresse hídrico / Monique Carolina Nunes

Fernandes. – Lavras : UFLA, 2016.

88 p. : il.

Dissertação (mestrado acadêmico)–Universidade Federal de Lavras, 2016.

Orientador(a): Flávia Barbosa Silva Botelho.

Bibliografia.

1. Atividade enzimática. 2. Oryza sativa. 3. Nitrogênio. 4. Melhoramento genético. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

**MONIQUE CAROLINA NUNES FERNANDES**

**ENZIMA REDUTASE DO NITRATO EM LINHAGENS DE ARROZ DE  
TERRAS ALTAS SUBMETIDAS AO ESTRESSE HÍDRICO**

**ENZYME NITRATE REDUCTASE IN LAND RICE LINES HIGH  
UNDER WATER STRESS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 02 de setembro de 2016.

Dr<sup>a</sup> Claudinéia Ferreira Nunes          UFMG

Dr<sup>a</sup> Joyce Dória Rodrigues Soares      UFLA

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Flávia Barbosa Silva Botelho  
Orientadora

Dr<sup>a</sup> Kamila Rezende Dázio de Souza  
Coorientadora

**LAVRAS – MG  
2016**

*A Deus, pelo dom da vida, e por estar ao meu lado em todos os momentos, sem jamais desistir de mim.*

*Ofereço*

*Aos meus pais, Ana e José, pela educação que me deram, pela torcida, pelo amor e pelas orações.*

*Ao Evaldo, pelo imenso amor, dedicação, companheirismo e paciência.*

*Dedico*

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida, por me manter sempre em seu colo e por me acompanhar durante toda esta caminhada, renovando minhas forças a cada dia.

À Universidade Federal de Lavras, em especial ao Departamento de Agricultura, pela oportunidade.

À FAPEMIG, pela bolsa concedida.

À professora, orientadora e amiga, Flávia, pelas conversas, conselhos, paciência, ensinamentos, disponibilidade, e por aceitar todos os desafios que eu trouxe quando cheguei pela primeira vez em sua sala... muito obrigada!

À Kamila pela coorientação, amizade, ajuda, confiança e ensinamentos.

Ao Professor José Donizeti, por disponibilizar o laboratório para a realização das atividades.

Ao Janir e demais funcionários da EPAMIG que participaram da condução do experimento no campo, o meu muito obrigada... sem vocês não seria possível a realização deste experimento.

Às professoras Joyce e Claudinéia, por comporem a banca examinadora e oferecerem sugestões valiosas.

À Marli, secretária da pós, pela atenção, pelas conversas, e pela disponibilidade.

Ao grupo do arroz, pela convivência e pela ajuda na realização deste trabalho.

À Marcela pela imensa ajuda com a parte estatística... mil vezes obrigada!

Aos meus pais, Ana e José, pelo amor incondicional, torcida, apoio e orações. Ao meu marido, Evaldo, pelo imenso amor, apoio, incentivo, companheirismo, paciência e principalmente pelos finais de semana de ajuda no laboratório.

À minha família, pela torcida e orações.

À Cinthia, que mesmo estando distante fisicamente, sempre esteve presente em todos os momentos que precisei... obrigada pela sua amizade!

À Néia, pelo incentivo, apoio, dicas, amizade e por participar deste sonho desde o início.

Às minhas amigas, que mesmo distantes, sempre me apoiaram e torceram por mim.

A todos que de alguma forma participaram da realização deste trabalho, seja na torcida, com orações, ou ajudando de alguma forma.

**MEU MUITO OBRIGADA!**

## RESUMO

O nitrogênio (N) é o principal elemento exigido pela cultura do arroz de terras. Sua assimilação é um processo vital que controla o crescimento e o desenvolvimento da planta, garantindo bons níveis de produtividade. A capacidade da cultura do arroz em reduzir e incorporar nitrato é de fundamental importância para o sucesso dessa cultura em terras altas. Assim, objetivou-se com este trabalho, estudar a atividade da enzima redutase do nitrato em linhagens de arroz, durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura, visando a seleção de linhagens mais eficientes no uso do nitrogênio, e correlacioná-las com a produtividade final. O experimento foi conduzido em campo, em dois ambientes distintos, com e sem irrigação suplementar. As análises de atividade enzimática foram realizadas em laboratório. Foram avaliados 20 genótipos de um experimento de VCU pertencentes ao programa de melhoramento de arroz da UFLA, em parceria com a EPAMIG e EMBRAPA. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com três repetições, e parcelas constituídas de 5 linhas de 4 metros. Foi obtida a quantidade de nitrito liberado pelos tecidos vegetais na solução de incubação ( $\mu\text{moles NO}_2^- \text{ gm}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) em sete coletas realizadas aos 7, 14, 21, 28, 45, 75 e 100 dias após emergência (DAE), sempre no período da manhã, em todas as parcelas. Realizou-se análise de variância por coleta, sendo as médias comparadas pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade e, posteriormente, fez-se a correlação com a produtividade final. Diante dos resultados, observou-se que de maneira geral, os tratamentos se dividiram em grupos distintos estatisticamente, demonstrando que há variabilidade genética entre os materiais estudados e há variabilidade na atividade da enzima. A enzima redutase do nitrato se comportou de maneira diferente nos dois ambientes, demonstrando menor atividade no ambiente sem irrigação suplementar, entretanto, nota-se que de maneira geral, sua atividade é maior no início da cultura e decresce com o tempo. A atividade da enzima não se correlacionou de maneira significativa com a produção, demonstrando um comportamento independente de ambas as características. Conclui-se que a atividade da enzima redutase do nitrato na cultura do arroz, é dependente do genótipo e do período de desenvolvimento vegetal, sendo de maior expressão no início do ciclo da cultura. A atividade da enzima redutase do nitrato não deve ser utilizada isoladamente para seleção indireta no caráter produtividade na cultura do arroz de terras altas, é necessário avaliar outras características que complementem a seleção.

**Palavras-chave:** Atividade Enzimática. *Oryza sativa*. Nitrogênio. Melhoramento genético.



## ABSTRACT

Nitrogen is the main element required by the uplands rice crops. Its assimilation is a vital process that controls plant growth and development, ensuring good productivity levels. The rice crop's capacity of reduce and incorporate nitrate has a fundamental importance to the success of this crop in highlands. Then, the aim of this work was study the activity of nitrate reductase enzyme in rice lineages during all development crop cycle, aiming at the select lineages more efficient in nitrogen use and correlate with the final productivity. The essay was made in field, in two different environments, with and without supplementary irrigation. The enzymatic activities was made in laboratory. It were evaluated 20 genotype of a VCU research from UFLA rice breeding program in partnership with EPAMIG and EMBRAPA. The experimental design was randomized block with three repetitions, and parcel constituted by 5 lines with 4 meters. Was obtained the nitrite quantity released by the vegetal tissues in incubation solution ( $\mu\text{moles NO}_2^- \text{ gm}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) in seven sampling made in 7, 14, 21, 28, 45, 75 and 100 days after emergency (DAE), always in the morning, in all plots. The variance analysis was made in each sampling, and the averages were compared by the Scott-Knott test with 5% of probability and after that was made the correlation with the final productivity. The results showed that the treatments were divided in different groups statistically, showing that there are genetic variability among the tested materials and there are variability on the enzyme activity. The nitrate reductase enzyme behaved differently in the two environment, showing less activity in without supplemental irrigation, but, generally, its activity is higher in beginning of the crop and reducing with the time. The enzyme activity did not correlate significantly with the production, demonstrating an independent behavior of both characteristics. Concludes that the activity of the enzyme nitrate reductase, in rice is dependent on the genotype and the plant growth period, with higher expression in the beginning of the cycle. A reductase enzyme activity of nitrate should not be used alone for indirect selection in productivity character in rice upland, it is necessary to assess other features that complement the selection.

**Keywords:** Enzymatic Activity. *Oryza sativa*. Nitrogen. Plant breeding

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1- Dados de precipitação pluviométrica (mm/m<sup>2</sup>) na região de Lavras no período de Dezembro/2014 a Abril/2015. ....31
- Figura 2- Evolução da atividade da enzima redutase do nitrato durante todo o ciclo da cultura em ambiente com irrigação suplementar, considerando a média dos tratamentos e a média das coletas.....41
- Figura 3- Variabilidade da atividade da enzima Redutase do Nitrato em  $\mu\text{mol NO}_2\text{g}^{-1}\text{MF h}^{-1}$  entre os genótipos durante as épocas de coleta no ambiente sem irrigação suplementar. ....48
- Figura 4 -Desempenho da atividade enzimática de todos os tratamentos nos dois ambientes, considerando a média dos tratamentos nos ambientes. ....55
- Figura 5 -Média da atividade da enzima Redutase do Nitrato por coleta nos dois ambientes, considerando a média de todos os tratamentos. ....57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Área, produtividade e produção dos principais estados brasileiros produtores de arroz na safra 2015/2016 e o incremento em relação à safra anterior. ....	17
Tabela 2 - Composição química do grão de arroz integral, polido e parboilizado, cozido e cru (em 100g). ....	18
Tabela 3- Identificação dos genótipos utilizados no experimento. ....	32
Tabela 4 - Média da atividade da enzima Redutase do Nitrato em todas as épocas de coleta, dos tratamentos em ambiente com irrigação suplementar, em $\mu\text{mol NO}_2\text{g}^{-1}\text{MF h}^{-1}$ . ....	40
Tabela 5- Média de produtividade, florescimento, altura de planta e peso de mil grãos dos genótipos em ambiente com irrigação suplementar. ....	44
Tabela 6 - Média da atividade da enzima Redutase do Nitrato de todas as coletas dos tratamentos em ambiente sem irrigação suplementar, em $\mu\text{mol NO}_2\text{g}^{-1}\text{MF h}^{-1}$ . ....	46
Tabela 7 - Média de produtividade, florescimento, altura de planta e peso de mil grãos dos genótipos, em ambiente sem irrigação suplementar. ....	51
Tabela 8 - Média dos tratamentos para atividade da enzima Redutase do Nitrato em $\mu\text{mol NO}_2\text{g}^{-1}\text{MF h}^{-1}$ , em análise conjunta dos ambientes, considerando a média de todas as avaliações. ....	53
Tabela 9 -Resumo da análise de variância conjunta da atividade da enzima Redutase do Nitrato. ....	54
Tabela 10-Média da atividade da enzima redutase do nitrato (considerando a média de todas as épocas de avaliação nos dois ambientes) produtividade, florescimento, altura da planta e peso de mil grãos de tratamento, considerando a média dos ambientes. ....	60

Tabela 11 - Coeficientes de correlação de Pearson entre as características agronômicas avaliadas e a atividade da enzima Redutase do Nitrato considerando a média de todos os tratamentos nos dois ambientes e a média de todos os tratamentos nas sete épocas de avaliação da atividade da enzima nos dois ambientes. ....61

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>Importância econômica e social do arroz no mundo e no Brasil .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2</b>	<b>A cultura do arroz de terras altas no Brasil .....</b>	<b>19</b>
<b>2.3</b>	<b>Assimilação de nitrogênio .....</b>	<b>21</b>
<b>2.4</b>	<b>Atividade da enzima redutase do nitrato.....</b>	<b>25</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>29</b>
<b>3.1</b>	<b>Local de condução dos experimentos .....</b>	<b>30</b>
<b>3.2</b>	<b>Material genético.....</b>	<b>32</b>
<b>3.3</b>	<b>Condução e delineamento experimental .....</b>	<b>33</b>
<b>3.4</b>	<b>Demais características fenotípicas avaliadas.....</b>	<b>34</b>
<b>3.5</b>	<b>Análise dos dados .....</b>	<b>35</b>
<b>3.5.1</b>	<b>Correlações fenotípicas.....</b>	<b>36</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>38</b>
<b>4.1</b>	<b>Ambiente com irrigação suplementar .....</b>	<b>39</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Atividade enzimática .....</b>	<b>39</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Demais características avaliadas .....</b>	<b>42</b>
<b>4.2</b>	<b>Ambiente sem irrigação suplementar .....</b>	<b>45</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Atividade enzimática .....</b>	<b>45</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Demais características avaliadas .....</b>	<b>49</b>
<b>4.3</b>	<b>Análise conjunta.....</b>	<b>52</b>
<b>4.3.1</b>	<b>Atividade enzimática .....</b>	<b>52</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Demais características avaliadas .....</b>	<b>57</b>
<b>4.4</b>	<b>Correlações fenotípicas.....</b>	<b>61</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>63</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>64</b>
	<b>APÊNDICE.....</b>	<b>84</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O arroz *Oryza sativa* L. desempenha um papel social e econômico extremamente importante, sendo cultivado e consumido em todos os continentes, com produção mundial de 480,34 milhões de toneladas de arroz beneficiado na safra 2015/2016, destacando-se a Ásia com 90% da produção e consumo (CONAB, 2016).

O Brasil vem se consolidando como referência em produção e comercialização de arroz fora da Ásia, sendo o maior produtor e consumidor fora desse continente, com participação expressiva entre os 10 maiores produtores. Todo esse destaque se deve às novas tecnologias de produção e às novas cultivares desenvolvidas pelos programas de melhoramento, tanto para produção irrigada, quanto para produção de terras altas. Atualmente, 85 % da produção nacional vêm da produção irrigada (SANTOS et al., 2016).

O arroz de sequeiro, ou de terras altas, ganhou destaque como cultura para abertura de novas áreas do cerrado no início da década de 60, para a implantação de pastagens e para o plantio de outras culturas. Com o avanço dessa prática, em 1980, a cultura chegou a ocupar uma área superior a 4,5 milhões de hectares, após atingir este pico, a cultura do arroz de sequeiro vem apresentando decréscimo em área. A expressiva redução da área cultivada pode ser atribuída à redução do ritmo de incorporação de novas áreas agrícolas, já que a cultura ainda é mais utilizada com esta finalidade, não concorrendo expressivamente com outras culturas em áreas já consolidadas (BRESEGHELLO; STONE, 1998).

Apesar da redução na área cultivada nos últimos anos, a produtividade média de grãos aumentou e a qualidade melhorou. Atualmente, a qualidade dos grãos de arroz produzidos no sistema de sequeiro tem se igualado a dos grãos produzidos no sistema irrigado, atingindo o padrão agulhinha, e com

isso, os preços de ambos têm sido similares. Quanto à produtividade é importante destacar que as novas cultivares lançadas recentemente, e as tecnologias a elas associadas, têm possibilitado incrementos expressivos. Passa assim, a ter um papel importante como regulador de preços, além de constituir-se numa alternativa de renda para agricultores de várias regiões do país onde não é possível o cultivo irrigado por inundação, e também por possuir um custo de produção cerca de 32 % menor do que o cultivo irrigado no Brasil (WANDER, 2006).

Atualmente, tem havido alteração da visão e do comportamento da rizicultura de terras altas, e aos poucos, vem sendo superado o estigma de que o arroz de terras altas é uma cultura de abertura de áreas ou lavoura de fronteira agrícola, se tornando um sistema bastante promissor, até mesmo para a inserção do arroz em sistemas de plantio direto.

Um dos entraves no cultivo do arroz em terras altas tem sido a baixa eficiência na absorção e assimilação de Nitrogênio (N) durante os estádios iniciais de desenvolvimento da cultura, o que irá, em parte, determinar o vigor das plântulas e a capacidade de competição com plantas daninhas (OUKO, 2003). Esta particularidade está relacionada à sua origem aquática, já que o arroz evoluiu em um ambiente com grande abundância de água, onde havia predominância de nitrogênio amoniacal.

O nitrato  $\text{NO}_3^-$  é considerado a fonte mais importante de N mineral disponível para o crescimento de plantas em solos aeróbicos. Uma vez no interior da célula, o  $\text{NO}_3^-$  pode ser reduzido, estocado no vacúolo ou translocado para outros órgãos. O primeiro passo na redução é realizado no citosol pela enzima Redutase do Nitrato (RN), produzindo nitrito, que entra nos plastídios e é reduzido a amônia  $\text{NH}_4^+$  pela Redutase do Nitrito (RNi). O amônio é fixado pelo sistema Glutamina sintetase/Glutamato sintase (GS/GOGAT) em aminoácidos (glutamina/glutamato), os quais servem como



substrato para reações de transaminação para produzir outros aminoácidos (TISCHNER, 2000).

A capacidade de rápida absorção e acúmulo de  $\text{NO}_3^-$  na fase inicial de crescimento, pode propiciar um maior estoque de N disponível para o metabolismo das plantas nas fases posteriores de seu ciclo, principalmente na fase de enchimento dos grãos. Durante o período reprodutivo espera-se que o  $\text{NO}_3^-$  acumulado seja direcionado para o desenvolvimento dos grãos, o que torna necessário o estudo das modificações metabólicas que ocorrem nestas circunstâncias, relacionadas principalmente com as enzimas de assimilação de N e carbono, envolvidas nestes processos (SANTOS, 2007).

Diante do exposto, é possível inferir que a capacidade de genótipos de arroz em reduzir e incorporar nitrato é de fundamental importância para o sucesso dessa cultura em terras altas, visto que a assimilação do nitrogênio é um processo vital que controla o crescimento e o desenvolvimento das plantas, e tem efeitos marcantes sobre a fitomassa e a produtividade final da cultura.

Sendo assim, objetivou-se com o presente trabalho, estudar a expressão da enzima RN em linhagens de arroz de terras altas pertencentes ao programa de melhoramento da Universidade Federal de Lavras – UFLA, em parceria com a EMBRAPA e EPAMIG, visando a seleção de linhagens mais eficientes no uso do nitrogênio, e correlacioná-las com a produtividade final.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Importância econômica e social do arroz no mundo e no Brasil

O arroz (*Oryza Sativa* L.) é o segundo cereal mais cultivado no mundo, atrás apenas do trigo, sendo cultivado e consumido em todos os continentes, destacando-se pela sua produção e produtividade, além do papel desempenhado social e economicamente, sendo alimento básico para cerca de 2,4 bilhões de pessoas e, segundo estimativas, até 2050, haverá uma demanda para atender ao dobro desta população (ALONÇO et al., 2005).

A produção global de arroz em 2015 foi de 740,2 milhões de toneladas segundo a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO). O volume é 0,5%, inferior ao reportado no ano anterior, de acordo com o levantamento. A queda foi causada por uma combinação de clima desfavorável e preços mais baixos, que levaram a uma redução da área plantada para 161,1 milhões de hectares (FAO 2016).

O arroz possui 20 espécies distribuídas em todo o mundo, sendo apenas duas cultivadas: o *Oryza sativa* L., (cariopse claro) e o *Oryza glaberrima* (cariopse roxo). A espécie *Oryza sativa* L. amplamente cultivada no Brasil, possui três subespécies, sendo elas: Japônica, Índica e Javânica.

A subespécie japônica é cultivada em locais temperados e tropicais, sendo amplamente cultivada na Ásia, África e Europa (MACKILL, 1995).

A subespécie índica abrange os genótipos de arroz irrigado por inundação cultivados no Brasil. Já a subespécie javânica, também é conhecida como japônica tropical, e abrange os genótipos tradicionais de arroz de sequeiro cultivados no Brasil (SOARES, 2005).

No Brasil existem dois sistemas de cultivo de arroz, o irrigado ou de várzea, e o de terras altas ou sequeiro, onde não há irrigação, ou, em alguns

casos, há apenas uma irrigação complementar, para auxiliar nos períodos de veranicos. Atualmente, cerca de 85 % da produção nacional de arroz advém da lavoura de várzea. Neste sistema, atualmente Rio Grande do Sul e Santa Catarina, são responsáveis por 80 % da colheita nacional, obtendo médias de produtividade que superam a sete mil quilos por hectare (Tabela 1). (SANTOS, 2016). O que mostra ser este um sistema já bastante consolidado e com utilização de grandes tecnologias, ao contrário do cultivo de terras altas que é mais recente e ainda está se desenvolvendo em questões de eficiência tecnológica.

Tabela 1- Área, produtividade e produção dos principais estados brasileiros produtores de arroz na safra 2015/2016 e o incremento em relação à safra anterior.

<b>Estado</b>	<b>Área (mil/ha)</b>	<b>%*</b>	<b>Produtividade (kg/ha)</b>	<b>%*</b>	<b>Produção (mil ton)</b>	<b>%*</b>
BRASIL	2.029,7	11,6	5.526,0	2,0	11.215,8	9,8
RS	1.083,0	-3,3	7.243,0	-5,9	7.844,2	-9,1
SC	147,6	-0,2	7.059,0	-1,3	1.041,9	-1,5
TO	123,7	-3,0	4.460,0	-6,0	551,7	-8,8
MT	152,4	-19,0	3.264,0	0,2	497,4	-18,8
MA	207,8	-40,6	1.440,0	1,6	299,2	-39,7

Fonte: Adaptado de Anuário do Arroz (2016).

\* = Incremento em relação à safra anterior.

No Brasil, o volume colhido na safra de 2015/2016 foi de 11,22 milhões de toneladas, consolidando participação expressiva entre os 10 maiores produtores, sendo 85% cultivado no sistema irrigado por inundação (SANTOS, et al., 2016).

As projeções de produção e consumo de arroz, preveem que o Brasil vai colher 14,12 milhões de toneladas de arroz na safra 2019/2020, e o consumo deverá ser de 14,37 milhões de toneladas em 2020. Assim, a

importação projetada é de 652,85 mil toneladas. A taxa anual projetada para o consumo de arroz nos próximos anos, de 0,86%, está pouco abaixo da expectativa de crescimento da população brasileira (MAPA, 2016).

A cultura possui potencial de aumento de produção e, possivelmente, de combate à fome no mundo, sendo considerado um dos alimentos com melhor balanceamento nutricional (TABELA 2), fornecendo 20% da energia e 15% da proteína per capita necessária ao homem.

Tabela 2 - Composição química do grão de arroz integral, polido e parboilizado, cozido e cru (em 100g).

Componentes	Integral		Polido		Parboilizado	
	Cru	Cozido	Cru	Cozido	Cru	Cozido
<b>Água (%)</b>	12,00	70,30	12,00	72,60	10,30	73,40
<b>Proteína (%)</b>	7,50	2,50	6,70	2,00	7,40	2,10
<b>Gordura (%)</b>	1,90	0,60	0,40	0,10	0,30	0,10
<b>Carboidrato (g)</b>	77,40	25,50	80,40	24,20	81,30	23,30
<b>Fibra (g)</b>	0,90	0,30	0,30	0,10	0,20	0,10
<b>Cinzas (%)</b>	1,20	1,10	0,50	1,10	0,70	1,10
<b>Cálcio (mg)</b>	32,00	12,00	24,00	10,00	60,00	19,00
<b>Fosforo (mg)</b>	221,00	73,00	94,00	28,00	200,00	57,00
<b>Potássio (mg)</b>	214,00	70,00	92,00	28,00	150,00	43,00
<b>Tiamina (mg)</b>	0,34	0,09	0,07	0,02	0,44	0,11
<b>Riboflavina (mg)</b>	0,05	0,02	0,03	0,01	-	-
<b>Niacina (mg)</b>	4,70	1,40	1,60	0,04	3,50	1,20

Fonte: Adaptado de Castro et al. (1999).

Aliado a estas características nutricionais, o produto arroz deverá ser cada vez mais focado quanto a questões de segurança alimentar. Apresentando grande potencial para uso em programas de erradicação da desnutrição e melhoria da qualidade de vida das populações carentes. A conscientização do importante papel desempenhado pelo arroz na dieta da

população, como alimento funcional, pode contribuir decisivamente para a melhoria da nutrição humana (PINHEIRO, 2004).

## **2.2 A cultura do arroz de terras altas no Brasil**

A cultura do arroz de sequeiro teve um destacado papel como cultura pioneira durante o processo de ocupação agrícola dos cerrados, iniciado na década de 60. Este processo de abertura de área teve o seu auge no período entre 1975 e 1985, onde a cultura chegou a ocupar área superior a 4,5 milhões de ha, pois era pouco exigente em insumos e tolerante a solos ácidos, o sistema de exploração caracterizava-se pelo baixo custo de produção, devido a baixa adoção das práticas recomendadas. A significativa ocorrência de veranicos fazia com que a cultura apresentasse uma baixa produtividade, ao redor de 1 t/ha, sendo considerada como de alto risco (PINHEIRO, 2003).

Na produção de sequeiro verifica-se grandes variações entre as regiões produtoras. Existindo os plantios de sequeiro propriamente dito, com característica de cultivo de subsistência que faz uso de baixa tecnologia, caso de sementes ‘salvas’, ausência da aplicação de fertilizantes ou defensivos e, em boa parte, cultivado após uma queimada de campo ou capoeira, com uma produtividade média de 1,5 mil quilos por hectare. No cultivo com alta tecnologia, adotou-se a nomenclatura de arroz de terras altas, onde é cultivado com variedades desenvolvidas pela Embrapa Arroz e Feijão, de Santo Antônio de Goiás (GO), e seus parceiros, e ampliados por empresas privadas, ajustando-se ao sistema de produção de soja e milho e a integração lavoura-pecuária. Com a tecnologia de terras altas, através da qual é possível obter mais de cinco mil quilos de rendimento por hectare, e média de grãos inteiros, superior a 55% (muito similar ao ‘agulhinha’ longo-fino), os agricultores do cerrado a utilizam com duplo propósito. Eles buscam recuperar as condições

químicas do solo e ainda gerar renda, antes de retomar a rotação com soja, milho, algodão e pecuária (SANTOS et al., 2016).

A região Centro-Oeste é a mais importante no cultivo do arroz de sequeiro tradicional mecanizado. Nessa região, em geral, os solos são Latossolos muito profundos, com boas características físicas, porém, de baixa fertilidade. O pH varia de 4,5 e 5,5, os níveis de fósforo e potássio são baixos e a saturação de alumínio elevada. A pluviometria anual está ao redor dos 1.500 mm, distribuídos entre os meses de outubro e abril, sendo que, quanto mais ao norte, maior a quantidade total de chuva. Entretanto, durante os meses de janeiro e fevereiro, no sul da Região Centro-Oeste, podem ocorrer períodos de estiagem (veranicos) de até 30 dias (PINHEIRO, 2003).

Devido ao fato da maioria da área cultivada com arroz de terras altas não ser irrigada, é necessário um sincronismo entre o plantio e as condições climáticas, sendo o período ideal para o plantio, o que os índices pluviométricos são maiores. Visto que no Brasil, o arroz de terras altas é uma das culturas mais influenciadas pelo clima, em geral, quando as exigências da cultura são satisfeitas, obtêm-se bons níveis de produtividade. Entretanto, quando isso não ocorre, pode-se esperar perdas de safras, que serão proporcionais à duração e a intensidade das condições meteorológicas adversas. Essa cultura é submetida a condições climáticas bastante variadas, pelo fato de ser semeada em praticamente todos os estados. Entretanto, nestes períodos, também podem ocorrer os veranicos, que são considerados como o maior estresse causador de instabilidade na cultura. Essa instabilidade vai variar em função do tempo e da intensidade dos veranicos, sendo que a resposta da planta de arroz a esse estresse e outros subsequentes, é que definirá a vida da planta (PINHEIRO, 2003).

O arroz de terras altas cultivado em condições aeróbias de solo ainda necessita de alguns ajustes para adaptação nesse sistema, pois ainda há uma baixa capacidade de assimilação do nitrato pelas plântulas de arroz, sendo o nitrogênio, o principal elemento exigido pela cultura do arroz de terras altas, especialmente pelas cultivares modernas (CRUSCIOL et al., 1999) e o que mais limita a produtividade de grãos (PETERS; CALVERT, 1982).

### **2.3 Assimilação de nitrogênio**

O nitrogênio (N) é considerado um macro nutriente essencial para as plantas, pois está presente na composição das mais importantes biomoléculas, tais como ATP (Trifosfato de Adenosina), NADH (Nicotinamida – Adenina – Dinucleotídeo Reduzida), NADPH (Nicotinamida – Adenina – Dinucleotídeo Fosfato Reduzida), clorofila, proteínas e inúmeras enzimas (MIFLIN; LEA, 1976; HARPER, 1994).

Ele é necessário para o crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo um fator limitante na produtividade da planta e na produção das culturas quando em falta. Na planta, quase todo o nitrogênio se encontra em formas orgânicas representadas em maior proporção por aminoácidos e proteínas. Conseqüentemente, esse elemento é indispensável para a produção de cereais de alta qualidade (MALAVOLTA et al., 1997; BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000).

O nitrogênio (N) está disponível no solo em diversas formas, incluindo amônio, nitrato, aminoácidos, peptídeos solúveis e formas complexas insolúveis. As espécies de plantas diferem na sua preferência por fontes de N, absorvendo-o primariamente, em formas inorgânicas como nitrato ou amônio, via sistema radicular (WILLIAMS; MILLER, 2001). Em condições ideais de pH e oxigênio, a forma nítrica é predominante em

consequência do processo de nitrificação, no qual bactérias promovem a oxidação do  $\text{NH}_4^+$  livre (LI et al., 2013). Já em solos anaeróbicos, com baixo pH, baixa temperatura, ou com acúmulo de compostos fenólicos alelopáticos, os quais inibem o processo de nitrificação, a forma amoniacal pode tornar-se mais abundante (MILLER; CRAMER, 2005).

O  $\text{NO}_3^-$  absorvido pelas plantas, para ser assimilado, precisa ser reduzido a  $\text{NH}_4^+$ . Essa redução é catalisada por enzimas em duas etapas: a primeira ocorre no citosol através da enzima redutase do nitrato (RN) que transforma  $\text{NO}_3^-$  em nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e a segunda ocorre nos cloroplastos (parte aérea, através da redutase do nitrito (RNi) que converte  $\text{NO}_2^-$  a  $\text{NH}_4^+$  (LI et al., 2013). O  $\text{NH}_4^+$  produzido é, então, assimilado pelas enzimas glutamina sintetase (GS), que requer ATP na reação que adiciona  $\text{NH}_4^+$  ao glutamato (Glu), formando glutamina (Gln), na sequência, a glutamina-2-oxoglutarato aminotransferase ou glutamato sintase (GOGAT) transfere um N amídico da Gln ao 2-oxoglutarato para formar duas moléculas de Glu (ciclo GS/GOGAT) (LEA; MIFLIN, 2011). Ou ainda, em uma rota alternativa, a enzima glutamato desidrogenase (GDH) realiza a catálise reversível da aminação 2-oxoglutarato (TERCE-LAFORGUE et al., 2013). Atualmente, já se sabe que essa enzima desempenha um papel pequeno na produção de Glu (FONTAINE et al., 2012), contudo, seu envolvimento na assimilação do  $\text{NH}_4^+$  em condições ambientais adversas, tal como deficiência de  $\text{O}_2$ , tem sido sugerido (SKOPELITIS et al., 2006). Vale destacar que a via GS/GOGAT é a principal via de assimilação primária de  $\text{NH}_4^+$  em plantas superiores (CARVALHO, 2015).

O  $\text{NH}_4^+$  absorvido ou o proveniente da redução de  $\text{NO}_3^-$  é imediatamente incorporado em esqueletos de carbono (C), preferencialmente por meio das enzimas da via glutamina sintetase, glutamato sintase (GS-GOGAT). Tanto a redução do  $\text{NO}_3^-$  quanto a assimilação do  $\text{NH}_4^+$  requerem energia na forma de ATP e poder redutor, como o NADH, o NADPH e a



ferredoxina reduzida, bem como esqueletos de C derivados do ciclo de Krebs, como o  $\alpha$ -cetoglutarato. Esses processos drenam tanto esqueletos de C quanto energia e doadores de elétrons, competindo com o metabolismo do C (SOUZA; FERNADES, 2006).

Quando  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  são oferecidos às plantas em quantidades equivalentes, o amônio é geralmente absorvido mais rapidamente do que o nitrato (MACDUFF; JACKSON, 1991). A preferência pelo amônio sobre o nitrato é explicada, em parte, pela energia extra que a planta deveria gastar para reduzir o nitrato a amônio antes de ele ser incorporado em componentes orgânicos (BLOOM et al., 1992).

Conforme Below (2002), o N na forma de  $\text{NH}_4^+$ , além de ser menos sujeito a perdas por lixiviação ou desnitrificação, melhora o desempenho das plantas. Por outro lado, a planta de arroz, apesar de absorver indistintamente tanto o N  $\text{NO}_3^-$  como o N  $\text{NH}_4^+$  (FAGERIA, 1984), pode apresentar nas duas ou três primeiras semanas de vida, quando cultivado em ambiente de baixa concentração de N  $\text{NH}_4^+$ , sintomas de deficiência de N (MALAVOLTA, 1980), por apresentar baixa atividade da enzima RN. Os sintomas, contudo, podem desaparecer com o desenvolvimento da planta, caracterizando o aumento da atividade da RN (LANNA; CARVALHO, 2013).

Para a melhor compreensão quanto à absorção e assimilação do nitrogênio por cultivares de arroz, é preciso antes conhecer a origem desses materiais (MORO et al., 2014).

Assim, em estudo com 53 cultivares de arroz do grupo Japonico e Índico, observou-se que a atividade da enzima RN foi maior nas espécies do grupo Índico, com atividade 30 % superior às espécies do grupo Japonica (BARLAAN; ICHII, 1996). A maior eficiência na utilização do N por espécies do grupo Índico, também foi constatada por Ta e Ohira (1981). Ouko

(2003) sugere que maiores variações na atividade da RN ocorrem nas cultivares adaptadas ao ecossistema de terras altas.

O  $\text{NO}_3^-$  é considerado a mais importante fonte de N mineral para o crescimento de plantas em solos aeróbicos. As plantas adquirem  $\text{NO}_3^-$  da solução do solo, absorvendo-o através de transportadores específicos localizados na membrana plasmática das células da epiderme e do córtex da raiz. A capacidade de rápida absorção e acúmulo de  $\text{NO}_3^-$ , na fase inicial de crescimento, pode propiciar um maior estoque de N disponível para o metabolismo das plantas nas fases posteriores de seu ciclo, principalmente quando do enchimento dos grãos, e podem ser a razão do alto acúmulo de N nos grãos. Desse modo, a maior eficiência de aquisição de  $\text{NO}_3^-$ , a partir de baixas concentrações na solução externa pode ser uma indicação de adaptação às condições de estresse nutricional (fluxos instáveis de N), como o decorrente da disponibilidade sazonal de  $\text{NO}_3^-$  em regiões tropicais (SANTOS, 2006).

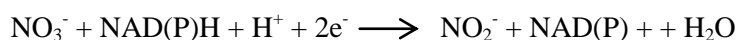
Durante o período reprodutivo espera-se que o  $\text{NO}_3^-$  acumulado nos vacúolos e o N remobilizado de outras partes da planta sejam direcionados para o desenvolvimento dos grãos, o que torna necessário o estudo das modificações metabólicas que ocorrem nestas circunstâncias, relacionadas principalmente com as enzimas de assimilação de N e carbono, envolvidas nestes processos. Segundo Masclaux et al. (2000), tanto os transcritos gênicos como a atividade das enzimas Glutamina sintetase citossólica (GS1), Glutamato desidrogenase (GDH) e Proteases, aumentam durante o período reprodutivo. Estes autores também observaram que durante a senescência houve diminuição das enzimas cloroplásticas GS2, Glutamato sintase (GOGAT) e Rubisco, resultado provavelmente da hidrólise das proteínas dos cloroplastos, que ocorre nesta ocasião.

Atualmente, problemas relacionados ao custo de fertilizantes nitrogenados e à poluição por nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) têm levado à seleção de

variedades vegetais que absorvam e metabolizem o nitrogênio (N) do solo mais eficientemente (SANTOS et al., 2009).

#### 2.4 Atividade da enzima redutase do nitrato

A enzima redutase do nitrato (RN) catalisa o primeiro passo enzimático da assimilação de nitrogênio pelas plantas superiores por meio da redução do nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) (OAKS, 1994; YANEVA et al., 2000), conforme esquematizado na expressão abaixo: onde NAD(P)H indica NADH ou NADPH.



A forma mais comum da enzima RN utiliza o NADH como doador de elétrons, outra forma da enzima encontrada predominantemente em tecidos não clorofilados, pode usar tanto o NADH quanto o NADPH (WARNER; KLEINHOF, 1992).

A RN das plantas superiores é formada por duas subunidades idênticas com três grupos prostéticos cada: FAD (flavina adenina dinucleotídeo), heme e um complexo formado entre o molibdênio e uma molécula orgânica denominada pterina (MENDEL; STALLMEYER, 1995; CAMPBELL, 1999).

RN é a principal proteína contendo molibdênio encontrada nos tecidos vegetais e um dos sintomas da deficiência de molibdênio é o acúmulo de nitrato, devido a diminuição da atividade da RN (TAIZ; ZEIGER, 2004).

O nitrato, a luz e os carboidratos interferem na RN em nível de transcrição e tradução (SIVASANKAR; OAKS, 1996). Em plântulas de cevada, o mRNA da RN foi detectado aproximadamente 40 minutos após a adição do nitrato, sendo os níveis máximos obtidos em três horas. Ao

contrário do rápido acúmulo do mRNA, houve um incremento gradual linear da atividade da nitrato redutase, refletindo a síntese mais lenta da proteína (TAIZ; ZEIGER, 2004). Além disso, a proteína sofre também uma modulação pós-tradução, envolvendo uma fosforilação reversível, análoga à regulação da sacarose fosfato sintase. A luz e os níveis de carboidratos, além de outros fatores ambientais, estimulam a proteína fosfatase, que desfosforila vários resíduos de serina na proteína nitrato redutase, promovendo ativação da enzima. Agindo na direção inversa, o escuro e o  $Mg^{+}$  estimulam a proteína quinase, a qual fosforila os mesmos resíduos de serina, interagindo com a proteína inibidora 14-3-3 e inativando a RN (KAISER; COLS.,1999). A regulação da atividade da RN através da fosforilação e da desfosforilação possibilita um controle mais rápido do que o obtido através da síntese ou degradação da enzima (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Roth et al. (1996) examinando um mutante de milho deficiente em ribulose bifosfato carboxilase, que perdeu a capacidade de processar o ciclo de Calvin, obtiveram menor atividade da RN na presença de luz e também no escuro, dando suporte a hipótese de que a ativação da RN na presença de luz depende dos produtos desse ciclo. Entretanto, não estão devidamente esclarecidos quais são os componentes envolvidos quando um sinal é transferido dos cloroplastos, onde a fotossíntese está ocorrendo, para dentro do citosol, local de ação da RN. Intermediários ou derivados do ciclo de Calvin como, por exemplo, açúcares ou açúcar fosfatado, são elos importantes (HUBER et al., 1996; PROVAN; LILLO, 1999). De acordo com Bachmann et al. (1995) a RN pode ser ativada no escuro por meio do fornecimento de açúcar às folhas.

O fluxo catalítico da RN, ou a capacidade total de redução do nitrato pelas plantas, depende da disponibilidade de substrato no citoplasma (concentração em estado de equilíbrio do NADPH e nitrato), do nível

funcional de RN (quantidade de RN polipeptídica e da disponibilidade de cofatores e íons metálicos, FAD, heme, Fe, Mo- MPT (molibdênio-molibdopterina) e molibdênio, e da intensidade da atividade da RN funcional) (CAMPBELL, 1999).

Cada processo é regulado direta ou indiretamente, e a capacidade de redução do nitrato é controlada em relação ao nível metabólico total da planta, por sensores e rotas de tradução de sinais (NETTO, 2005).

A quantidade da glutamina livre e a sua proporção em relação ao glutamato disponível, assim como os teores de nitrato, são, provavelmente, os metabólitos chaves que governam a capacidade de redução do nitrato na planta (SOLOMONSON; BARBER, 1990; CRAWFORD, 1995; SCHEIBLE et al., 1997). Em condições de baixo teor de glutamina e disponibilidade de nitrato, a intensidade da RN e a capacidade de redução do nitrogênio aumentam, enquanto que quantidades elevadas da glutamina diminuem a redução do nitrato e decresce a atividade da RN. O teor de equilíbrio da RN é determinado pela taxa de sua degradação, assim como pela taxa de síntese da mesma. A meia vida de uma proteína RN, recém-sintetizada, é de poucas horas na célula, e quando a quantidade de nitrato diminui, o teor da RN é rapidamente reduzido (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Como parte do metabolismo global das plantas, o metabolismo do nitrogênio é afetado pelo déficit hídrico. Diversos trabalhos, embora não muito recentes, têm mostrado como e quanto a nitrato redutase é afetada em cevada (BANDURSKA, 1991), milho (FERREIRA et al., 2002), algodão (MARUR et al., 2000), sorgo (TEARE et al., 1974), soja (DONG et al., 1995), trigo (HEUER et al., 1979), café (MEGURO; MAGALHÃES, 1983), feijão (CASTRILLO et al., 1990) e tabaco (WANG et al., 1996).

Alguns metabólitos nitrogenados, como o aminoácido prolina, tendem a acumular nos tecidos vegetais sob estresse hídrico. Como a assimilação do

nitrogênio é reduzida sob tais condições, pode-se supor que tais compostos se originam da rotatividade de proteínas. É neste contexto que as enzimas envolvidas na incorporação de amônia a compostos orgânicos, os quais podem agir como precursores para diferentes metabólitos podem ter importante papel na sobrevivência de plantas durante estresse (FERREIRA et al., 2002). A estimativa da atividade da enzima RN tem sido utilizada como parâmetro indicativo da resposta fisiológica das plantas aos estresses ambientais (RHEIN et al., 2011).

Em condições de deficiência hídrica no solo, ocorre decréscimo do fluxo de nitrato para a planta, contribuindo, portanto, para a redução da atividade da enzima. Esta constatação indica que a redução do nitrato é sensível à resistência estomática, de maneira que em plantas com estômatos fechados, como acontece sob deficiência hídrica, para impedir a perda de água, há prejuízo na taxa fotossintética e a atividade da RN (KAISER; HUBER, 2001). Provavelmente, os fotoassimilados exportados para fora do cloroplasto funcionam como sinalizadores capazes de ativar a RN (NETTO, 2005).

Segundo Sinha e Nicholas (1981), é possível que a inibição da atividade da RN se constitua em um processo regulatório na ausência de crescimento ativo em plantas estressadas, que evoluiu no sentido de conservar energia quando a fotossíntese é diminuída. Assim, como a conservação de energia é um requisito essencial para a sobrevivência durante o estresse, supõe-se que uma rápida redução da atividade da RN se traduza numa vantagem metabólica. No entanto, seria importante que uma cultivar apresentasse alta atividade da RN logo após a recuperação do estresse, para que a retomada da síntese proteica ocorra rapidamente (MARUR et al., 2000).

Com base em experimentos efetuados com espinafre, excluindo o CO<sub>2</sub> da atmosfera circundante às folhas, verificou-se decréscimo da atividade da

RN (KAISER; BRENDLE-BEHNISCH, 1991). A acidez do solo também influencia de forma negativa o metabolismo de compostos nitrogenados, pelo fato de que o nitrogênio é um dos nutrientes mais importantes para o crescimento vegetal (FERREIRA et al., 2002).

Ainda que as causas fisiológicas sobre tolerância ao alumínio não estejam totalmente esclarecidas, existem estudos que sugerem uma possível inter-relação entre a toxidez de alumínio e o metabolismo do nitrogênio (AMARAL et al., 2000). Isto pode ser comprovado, pelo fato da atividade da RN ser acentuadamente reduzida em plantas sob estresse ácido (SHARMA; DUBEY, 2005). A estimativa da atividade da enzima RN tem sido utilizada, com sucesso, como parâmetro indicativo da resposta fisiológica de plantas submetidas às condições adversas (OLIVEIRA et al., 2005; CASTRO et al., 2007).

Alguns trabalhos demonstraram que a absorção do nitrato é reduzida por Al em cultivares de sorgo (CAMBRAIA et al., 1989), milho (DURIEUX et al., 1993; PURCINO et al., 2003) e soja (RUFTY JUNIOR et al., 1995). O Al também afeta significativamente a redução e assimilação do N. Alguns estudos mostram que o Al, além de reduzir a absorção do nitrato, reduz a atividade da RN (CAMBRAIA et al., 1989; PURCINO et al., 2003; JUSTINO et al., 2006). A identificação e a compreensão dos mecanismos fisiológicos e bioquímicos auxiliam significativamente no desenvolvimento e desempenho de novas cultivares mais produtivas (MELONI et al., 2004).

Cregan e Berkum (1984) sugeriram que tais mecanismos relacionados ao metabolismo de N devem ser incorporados na seleção para o aumento da produção de grãos. Componentes fisiológicos, como a atividade da RN, têm sido propostos como critério auxiliar para seleção de genótipos eficiente no uso de N e de maior produtividade.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

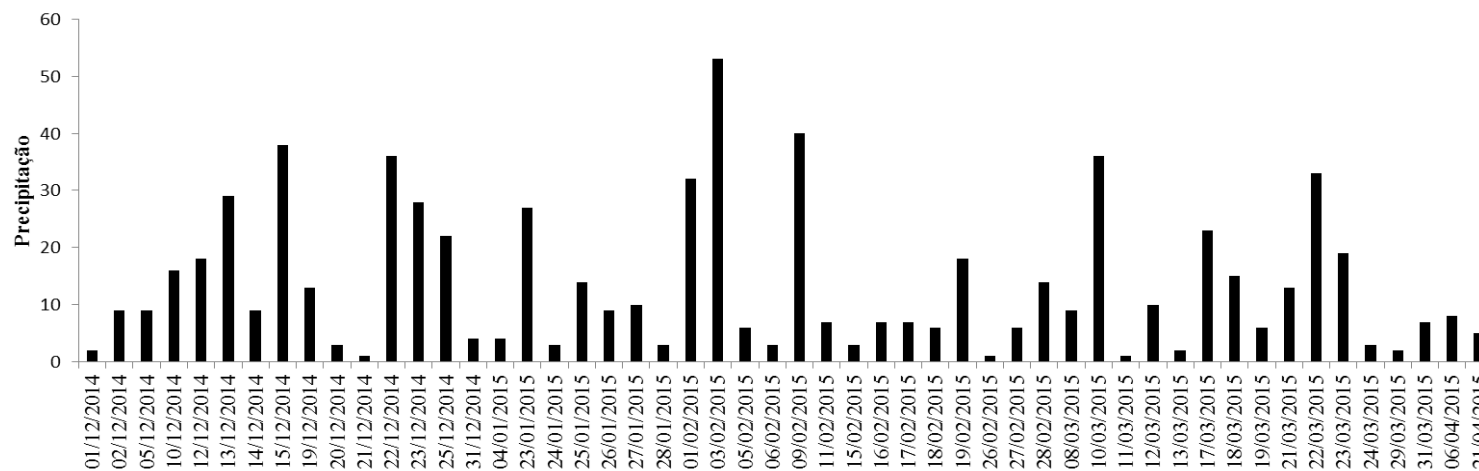
#### **3.1 Local de condução dos experimentos**

O experimento foi conduzido no campo, em dois ambientes distintos: um com irrigação suplementar, instalado na área experimental do Departamento de Agricultura DAG da Universidade Federal de Lavras – UFLA, Lavras, MG, situada a 919 m de altitude,  $21^{\circ} 14' 43$  de latitude sul e a uma longitude  $44^{\circ} 59' 59$  oeste, e o outro sem irrigação suplementar situado no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Fazenda Muquém – Unidade Experimental, pertencente a UFLA, situada a uma altitude de 910 m e localizada nas seguintes coordenadas geográficas: latitude sul de  $21^{\circ} 14'$  e longitude oeste de  $45^{\circ}00'$  .

Os dados de precipitação da região no período em que o experimento foi conduzido são apresentados na Figura 1.



Figura 1- Dados de precipitação pluviométrica (mm/m<sup>2</sup>) na região de Lavras no período de Dezembro/2014 a Abril/2015.



Fonte: Adaptado de Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (2016).

### 3.2 Material genético

Foram avaliados 20 genótipos de um experimento de VCU (Valor de Cultivo e Uso) (Tabela 3), pertencentes ao programa de melhoramento da UFPA em parceria com a EPAMIG e EMBRAPA Arroz e Feijão, na safra 2014/2015.

Tabela 3- Identificação dos genótipos utilizados no experimento.

Identificação	Nome do genótipo
1	CMG2162
2	CMG 2168
3	BRS ESMERALDA
4	CMG 2170
5	CMG2172
6	BRSMG CAÇULA
7	CMG 2185
8	CMG 2187
9	CMG 2188
10	CMG 2085
11	BRSMG CARAVERA
12	BRSMG RELÂMPAGO
13	CMG 1511
14	CMG 2089
15	CMG 1896
16	CMG 2097
17	CMG 2093
18	CMG 1977
19	CMG 1509
20	CMG 1987

Fonte: Da autora (2016)

Entende-se por VCU o valor intrínseco de combinação das características agronômicas da cultivar com as suas propriedades de uso em atividades agrícolas, industriais, comerciais e/ou de consumo *in natura*. Os ensaios de VCU devem obedecer aos critérios estabelecidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e contemplar o

planejamento e desenho estatístico que permitam a observação, a mensuração e a análise dos diferentes caracteres das distintas cultivares, assim como a avaliação do comportamento e qualidade das mesmas (MAPA, 2016).

As linhagens avaliadas neste experimento ainda não haviam sido utilizadas em outros estudos, portanto, não apresentavam atividade da redutase do nitrato conhecida.

### 3.3 Condução e delineamento experimental

Em ambos os ambientes, o plantio foi realizado em campo, sendo o delineamento experimental utilizado, em blocos casualizado (DBC), com três repetições. As parcelas foram constituídas de 5 linhas de 4 metros e densidade de plantio de 80 sementes/metro, contendo solo previamente preparado, conforme recomendações para a cultura. Foram realizadas duas adubações, sendo uma realizada no plantio, utilizando 300 kg/ha de 8-28-16 mais micronutrientes e uma adubação de cobertura, utilizando sulfato de amônio na proporção de 40 kg/ha, 25 dias após semeadura.

A atividade da enzima RN foi avaliada *in vivo* nas folhas, utilizando-se o método descrito por Klepper et al. (1971), modificado por Meguro e Magalhães (1982) na tentativa de estudar a eficiência de absorção e de assimilação de diferentes formas de nitrogênio disponíveis no solo. Como critério, foi estabelecido o início da coleta do material vegetal (folhas desenvolvidas com boa exposição solar) a partir dos sete dias após a emergência (DAE), em intervalos de sete dias até 28 dias após emergência e depois com 45 dias, 75 dias (estádio reprodutivo) e 100 dias (estádio de colheita). Para a realização desta análise, a coleta do material vegetal foi realizada entre as 9 e 10 horas da manhã, em dias com alta incidência de radiação solar, conforme Mazid et al., (2012).

As folhas de cada parcela (área útil considerada = 3 linhas centrais) foram cortadas em torno de 5 cm acima do colmo, foram

aconditionadas em papel alumínio e mantidas em caixa de isopor com gelo, até serem conduzidas ao laboratório, onde foram realizadas as análises.

O material vegetal (folha), de cada parcela, foi cortado em pequenos fragmentos, com tamanho médio aproximado de 2 mm. Amostras de 500 mg foram adicionadas a 5 mL de meio de incubação contendo tampão fosfato de potássio 0,1 M e pH 7,5, n-propanol 1% (v/v) e  $\text{KNO}_3$  a 0,1 M, em um béquer protegido da luz.

Posteriormente, o tecido submerso na solução de incubação foi infiltrado a vácuo (2 minutos) por duas vezes, e foram incubados em banho-maria a 30 °C por 30 minutos.

Depois do tempo de incubação, foi retirada em duplicata, uma alíquota de 0,1 mL de cada repetição e transferida para o meio de reação composto de 1 mL de sulfanilamida 1% em HCl 1,5 N, e 1 mL de N-2-naftil etileno 0,02%. O volume foi completado para 4 mL com água destilada. A concentração de nitrito produzida foi determinada em espectrofotômetro a 540 nm, comparando os valores obtidos com uma curva padrão para esse íon, previamente estabelecida. A atividade da enzima RN foi expressa em micromol de nitrito produzido por grama de matéria fresca (MF) por hora ( $\mu\text{mol NO}_2^- \text{g}^{-1} \text{MF h}^{-1}$ ). As análises foram realizadas no Laboratório de Biologia e Fisiologia Molecular de Plantas, instalado no setor de Fisiologia Vegetal – Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras – UFLA.

### **3.4 Demais características fenotípicas avaliadas**

Durante a condução dos experimentos foram avaliadas, além da atividade da enzima redutase do nitrato, as seguintes características fenotípicas:

- a) Florescimento - número de dias da semeadura ao florescimento médio, ou seja, quando a parcela apresentou aproximadamente

- 50% de plantas floridas;
- b) Altura de planta - média de cinco plantas da parcela, medida do solo à extremidade da panícula mais alta;
- c) Massa de 1000 grãos (gramas): foram amostrados aleatoriamente oito repetições de cada parcela, contendo 100 grãos por amostra, pesados em balança de precisão de 0,01g e transformados em peso de mil grãos, conforme metodologia descrita pela Regra de Análises de Sementes (BRASIL, 2009);
- d) Produtividade de grãos (kg/ha): peso dos grãos da parcela após colheita e secagem para 13% de umidade.

### 3.5 Análise dos dados

Os dados coletados foram submetidos a análises estatísticas utilizando-se o teste Scott e Knott (1974) a 5 % de probabilidade para comparação de médias e análise de regressão para fatores quantitativos com auxílio do software Sisvar® (FERREIRA, 2011). A estimativa de acurácia foi utilizada como medida de precisão. As análises foram baseadas nos seguintes modelos:

- ✓ Modelo da análise individual:

$$y_{ijk} = \mu + t_i + c_k + r_{j(k)} + tc_{ik} + e_{ijk}$$

Em que  $y_{ijk}$  é a observação referente ao tratamento  $i$  na repetição  $j$  da coleta  $k$ ;  $\mu$  é a média geral do experimento;  $t_i$  é o efeito aleatório do tratamento  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, 20$ );  $c_k$  é o efeito fixo da coleta  $k$  ( $k = 1, 2, \dots, 7$ );  $r_{j(k)}$  é o efeito aleatório da repetição  $j$  dentro da coleta  $k$  ( $j = 1, 2, 3$ );  $tc_{ik}$  é o efeito da interação entre o tratamento  $i$  e a coleta  $k$ ; e  $e_{ijk}$  é o erro experimental associado à observação  $y_{ijk}$ , com  $e_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$ .

✓ Modelo da análise conjunta

$$y_{ijkl} = \mu + t_i + c_k + r_{j(k)} + a_l + tc_{ik} + ta_{il} + ca_{kl} + tca_{ikl} + e_{ijkl}$$

Em que  $y_{ijkl}$  é a observação referente ao tratamento  $i$  na repetição  $j$  da coleta  $k$  no ambiente  $l$ ;  $\mu$  é a média geral do experimento;  $t_i$  é o efeito aleatório do tratamento  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, 20$ );  $c_k$  é o efeito fixo da coleta  $k$  ( $k = 1, 2, \dots, 7$ );  $r_{j(k)}$  é o efeito aleatório da repetição  $j$  dentro da coleta  $k$  ( $j = 1, 2, 3$ );  $a_l$  é o efeito fixo do ambiente  $l$  ( $l = 1, 2$ );  $tc_{ik}$  é o efeito da interação entre o tratamento  $i$  e a coleta  $k$ ;  $ta_{il}$  é o efeito da interação entre o tratamento  $i$  e o ambiente  $l$ ;  $ca_{kl}$  é o efeito da interação entre a coleta  $k$  e o ambiente  $l$ ;  $tca_{ikl}$  é o efeito da interação entre o tratamento  $i$ , a coleta  $k$  e o ambiente  $l$ ;  $e_{ijkl}$  é o erro experimental associado à observação  $y_{ijkl}$ , com  $e_{ijkl} \sim N(0, \sigma^2)$ .

A acurácia foi estimada utilizando o modelo apresentado abaixo:

$$r = \sqrt{1 - \frac{1}{F_c}} \times 100$$

Em que:

$r$  é a acurácia expressa em percentagem;

$F_c$  é o valor de  $F$  calculado.

### 3.5.1 Correlações fenotípicas

Foram estimadas as correlações fenotípicas ( $r_{xy}$ ) entre o caráter atividade da enzima redutase do nitrato e características agrônômicas (dois a dois), conforme estimador:

$$r_{xy} = \frac{COV_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$$

Em que  $COV_{xy}$  é a covariância entre as variáveis X e Y, sendo X referente à atividade da enzima e Y referente às características agronômicas, e  $\sigma_x$  e  $\sigma_y$  os desvios fenotípicos das variáveis X e Y, respectivamente.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resumos das análises de variância individual por ambiente estão apresentados no apêndice. Para os dois ambientes observou-se elevada acurácia.

A acurácia de seleção de genótipos é um aspecto importante a ser observado em um programa de melhoramento de plantas.

A precisão experimental, que serve de base para as comparações e seleção dos melhores tratamentos dos ensaios de campo, tem sido avaliada de maneira geral, apenas pelo coeficiente de variação ambiental. Contudo, o uso do CV tem sido amplamente criticado (CARGNELUTTI FILHO; STORCK; RESENDE; DUARTE, 2007), pois, ele depende somente da variação residual como proporção da média do experimento e serve tão somente para a classificação de experimentos com médias semelhantes.

Segundo Resende e Duarte (2007), os ensaios de avaliação de cultivares devem ser abordados do ponto de vista genético e estatístico, e não apenas sob a perspectiva estatística. Assim, tem sido mais recomendado por esses autores o uso da acurácia seletiva, que considera as proporções entre as variações de natureza genética e residual associadas ao caráter em avaliação, além da magnitude da variação residual.

A acurácia evidencia alta precisão nas inferências das médias genotípicas, pois é capaz de informar sobre o correto ordenamento das cultivares para fins de seleção e também sobre a eficácia da inferência acerca do valor genotípico da cultivar (RESENDE, 2002; RESENDE; DUARTE, 2007). A acurácia varia de 0 a 1 e é classificada segundo Resende e Duarte (2007) como muito alta ( $>0,90$ ), alta (entre 0,70 e 0,90), moderada (entre 0,50 e 0,70) e baixa ( $<0,50$ ).



## **4.1 Ambiente com irrigação suplementar**

### **4.1.1 Atividade enzimática**

Para a atividade da enzima RN, observou-se que os tratamentos se dividiram em três grupos distintos estatisticamente (TABELA 4), com destaque para os genótipos CMG 1987, BRSMG RELÂMPAGO, BRS ESMERALDA e BRSMG CAÇULA.

Entre os tratamentos que apresentaram menor atividade enzimática, o genótipo que se destacou com o menor valor foi CMG 2168, embora não tenha se diferido estatisticamente dos demais genótipos do seu referido grupo.

Os resultados demonstraram que não houve interação significativa entre os tratamentos e as épocas de coleta (APÊNDICE). Ou seja, neste ambiente, a atividade da enzima foi mais influenciada pelo estágio fenológico da cultura, do que pelos genótipos, visto que estes apresentaram comportamento similar em relação a atividade enzimática em todas as épocas de coleta. Segundo Hageman e Reed (1980), a indução da RN em vários tecidos pelo nitrato está relacionada com o estágio de desenvolvimento da planta (TABELA 4).

Tabela 4 - Média da atividade da enzima Redutase do Nitrato em todas as épocas de coleta, dos tratamentos em ambiente com irrigação suplementar, em  $\mu\text{mol NO}_2\text{g}^{-1}\text{MF h}^{-1}$ .

<b>Tratamentos</b>	<b>Médias</b>
CMG 1987	57,50 a
BRSMG RELAMPAGO	55,27 a
BRS ESMERALDA	52,65 a
BRSMG CAÇULA	51,10 a
BRSMG CARAVERA	45,58 b
CMG 1511	45,37 b
CMG 2085	44,34 b
CMG 2170	43,15 b
CMG 2093	41,97 b
CMG 2188	41,55 b
CMG 2162	38,04 c
CMG 2089	36,92 c
CMG 1896	35,85 c
CMG 2097	34,74 c
CMG 1977	31,86 c
CMG 2185	30,98 c
CMG 1509	30,11 c
CMG 2187	29,95 c
CMG 2172	28,67 c
CMG 2168	24,89 c

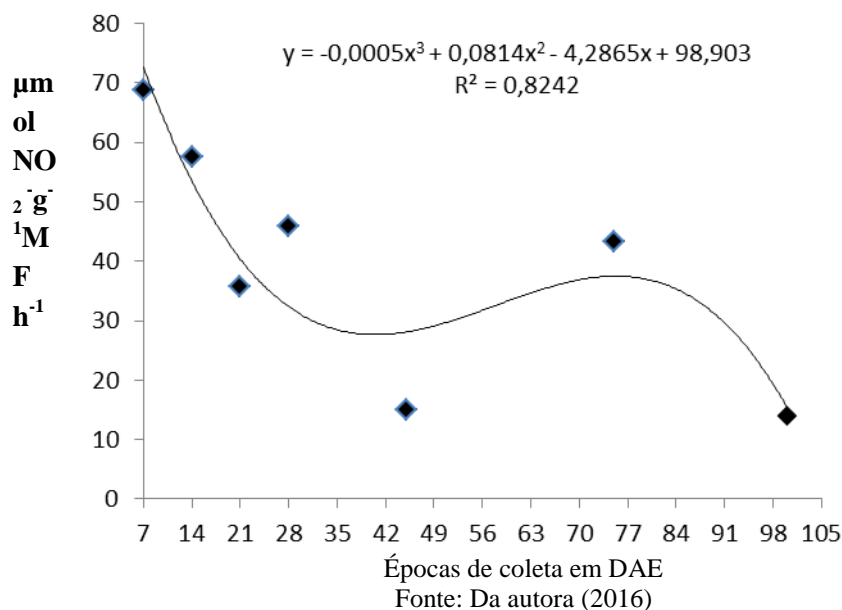
Fonte: Da autora (2016)

As médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de agrupamento de médias Skott Knot.

Em relação às coletas, a enzima apresentou maior atividade na primeira coleta, que foi realizada aos 7 DAE, com média de  $68,86 \mu\text{mol NO}_2\text{g}^{-1}\text{MF h}^{-1}$  e apresentou menor atividade na última coleta, realizada aos 100 DAE com média de  $14,02 \mu\text{mol NO}_2\text{g}^{-1}\text{MF h}^{-1}$  (FIGURA 2).

A quarta coleta, realizada aos 28 DAE, apresentou um discreto aumento no valor de atividade da enzima,  $45,84 \mu\text{mol NO}_2\text{g}^{-1}\text{MF h}^{-1}$  em relação a terceira coleta  $35,69 \mu\text{mol NO}_2\text{g}^{-1}\text{MF h}^{-1}$ . Esse aumento pode ser justificado pela fase fenológica em que o arroz se encontrava no período de 28 DAE ser a de perfilhamento.

Figura 2- Evolução da atividade da enzima redutase do nitrato durante todo o ciclo da cultura em ambiente com irrigação suplementar, considerando a média dos tratamentos e a média das coletas.



Segundo Nascente et al., (2011) o arroz absorve nitrogênio durante todo o seu ciclo, sendo o perfilhamento uma das fases fisiológicas mais críticas para a cultura. O suprimento adequado de N durante o início do perfilhamento garante uma maior produção de perfilhos férteis e, conseqüentemente, uma maior produção (MATSUO; HOSHIKAWA, 1993; FARINELLI et al., 2004).

Vale ressaltar que a sexta coleta também apresentou um discreto aumento na atividade da enzima, podendo ser justificado pela fase fenológica em que a planta de arroz se encontrava, que era a fase reprodutiva e, posteriormente, fase de maturação que se caracterizam pelo florescimento e enchimento de grãos, visto que a planta de arroz demanda grande quantidade de N no início da produção de grãos (LANNA; CARVALHO, 2013).

A sétima coleta, realizada aos 100 DAE, caracterizada pelo período de senescência das plantas, apresentou a menor média de atividade enzimática, conforme citado anteriormente. Durante a senescência, as enzimas envolvidas na assimilação de nitrogênio e carbono são degradadas e os aminoácidos derivados de seu catabolismo são exportados via floema com ou sem modificações, sendo a atividade da RN a primeira ser perdida, enquanto as demais enzimas participativas do metabolismo do N permanecem ativas por um período mais longo (STOREY; BEEVERS, 1978).

No processo de remobilização de N, durante a senescência, quando as proteínas foliares são degradadas, o N liberado na forma de  $\text{NH}_4^+$  é reassimilado e convertido principalmente em glutamina e asparagina, que são posteriormente translocadas para os órgãos em crescimento e desenvolvimento (GHOSH et al., 1995; NAKASATHIEN et al., 2000).

#### **4.1.2 Demais características avaliadas**

Para a característica produtividade, não houve diferença significativa entre os tratamentos, mostrando um comportamento similar entre os genótipos. A média geral obtida foi de 4.536,43 kg/ha. Embora as diferenças entre os tratamentos não tenham sido significativas, o genótipo CMG 2188 apresentou maior média, com 5.511,90 kg/ha e o genótipo BRSMG CARAVERA apresentou a menor média com 3.442,06 kg/ha.

Reis et al., (2007) em um experimento comparando o desempenho do arroz de terras altas em plantio direto e convencional, nos anos agrícolas 2003/2004 e 2004/2005, analisando em cada ano, 13 cultivares/linhagens obtidas pelo programa de melhoramento de arroz de terras altas do sistema cooperativo EPAMIG/UFLA/EMBRAPA, obtiveram média geral inferior a obtida neste trabalho, com um valor de 3.361 Kg/ha.

Para a característica época de florescimento, os tratamentos se dividiram em três grupos distintos, conforme apresentado (TABELA 5).

Observou-se que houve uma oscilação de 80 (BRSMG CAÇULA) a 95 dias (CMG 2162, CMG 2093), com média geral de 89 dias. Segundo Soares et al. (2003) o encurtamento do ciclo de novas linhagens é uma característica de grande relevância, pois, diminui os riscos de perda da lavoura por veranicos.

Em experimento constituído por linhagens selecionadas nos ensaios comparativos, preliminares e avançados, composto por 20 linhagens, Soares (2003) encontrou média geral de 88 dias para o florescimento, semelhantemente aos resultados encontrados no presente trabalho.

Reis et al. (2007) em seu experimento citado anteriormente, obtiveram resultados tardios de 94 dias para o experimento em plantio convencional e 98 dias para o experimento em plantio direto.

Para a característica altura da planta, os tratamentos também se dividiram em três grupos distintos (TABELA 5), sendo a média geral de 102 cm, com variação de 85 cm (CMG 2162) a 116 cm (BRSMG CAÇULA).

De maneira geral, oito tratamentos exibiram porte intermediário, sendo esta, uma característica favorável para o arroz de terras altas, pois plantas altas acamam com maior facilidade e plantas muito baixas são pouco competitivas com plantas daninhas, demandando maiores doses de herbicidas e conseqüentemente elevando os custos de produção (SOARES, 2003).

Reis et al. (2007), em seu experimento citado anteriormente, obtiveram médias de 101cm para o experimento em plantio convencional e 98 cm para o experimento em plantio direto. Já, Jakelaitis et al. (2009), avaliando duas cultivares de arroz de terras altas, obtiveram médias de 80 cm e 86 cm, resultados similares aos observados em algumas linhagens que apresentaram menor porte neste trabalho.

Para a característica peso de mil grãos, os tratamentos se dividiram em quatro grupos distintos (TABELA 5), apresentando média geral de 23,57g com oscilação de 20,25g (CMG 2172) e 28,11g (CMG 2089).

Silva et al. (2010), avaliando o comportamento de 12 genótipos de arroz de terras altas, obtiveram valores similares aos obtidos neste trabalho, com média geral de 23,77g.

Tabela 5- Média de produtividade, florescimento, altura de planta e peso de mil grãos dos genótipos em ambiente com irrigação suplementar.

Tratamentos	Médias			
	Produtividade	Florescimento	Altura	Peso de mil grãos
CMG 1896	5413,49a	92,00a	115,67a	24,66a
CMG 2188	5511,90a	90,33a	104,33a	23,54b
CMG 2185	5146,03a	93,67a	98,33b	23,44b
CMG 1509	5123,81a	92,00a	113,33a	22,91b
CMG 1511	4965,08a	90,67a	110,33a	21,96c
CMG 1977	4869,05a	89,33a	114,00a	23,14b
BRSMG RELAMPAGO	4707,14a	82,00c	112,67a	23,12b
CMG 2162	4615,08a	95,00a	101,67b	21,03c
CMG 2187	4582,54a	92,00a	97,00b	22,86b
BRSMG CAÇULA	4282,54a	80,33c	116,00a	24,39a
CMG 2085	4564,28a	88,33b	103,33b	25,40a
CMG 2170	4540,48a	87,00b	95,33b	22,35b
CMG 2097	4465,08a	86,33b	88,00c	24,25a
CMG 2168	4254,76a	93,00a	85,00c	24,64a
CMG 2089	4248,41a	90,00a	97,00b	28,11a
CMG 2172	4197,62a	84,00c	89,67c	20,26c
CMG 1987	4038,89a	91,67a	99,67b	24,64a
CMG 2093	4025,40a	95,67a	106,00a	26,84a
BRS ESMERALDA	3734,92a	92,00a	99,33b	20,97c
BRSMG CARAVERA	3442,06a	87,00b	99,00b	23,28b
Média	4536,43	89,62	102,28	23,57

Fonte: Da autora (2016)

As médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de agrupamento de médias Skott Knot.

## **4.2 Ambiente sem irrigação suplementar**

### **4.2.1 Atividade enzimática**

Neste ambiente, observou-se que os tratamentos se dividiram em dois grupos distintos estatisticamente (TABELA 6), analisando a média de todas as sete coletas. Destacando-se os genótipos CMG 2097, BRSMG CARAVERA, CMG 2170, CMG 2089, BRS ESMERALDA, BRSMG RELÂMPAGO, CMG 2093, CMG 1511, CMG 1896 e BRSMG CAÇULA. O genótipo CMG 2097 se destacou por apresentar maior média em relação aos demais, embora não diferentes estatisticamente. Os demais tratamentos apresentaram as menores médias, com destaque para o genótipo CMG 2168, que apresentou o menor resultado, embora não diferente estatisticamente dos demais.

Os resultados demonstraram que houve interação significativa entre os tratamentos e as épocas de coleta (APÊNDICE). Ou seja, neste ambiente, a atividade da enzima foi influenciada pelo estágio fenológico da cultura, e também pelos genótipos, visto que estes apresentaram diferenças significativas no comportamento em relação a atividade enzimática, durante as diferentes épocas de coleta. Essas diferenças podem estar relacionadas ao comportamento dos genótipos frente a falta de uma irrigação complementar.

Segundo Ferreira et al. (2002) a deficiência hídrica influencia de forma negativa o metabolismo de compostos nitrogenados, pelo fato de que o nitrogênio é um dos nutrientes mais importantes para o crescimento vegetal. Sharma e Dubey (2005) afirmam que a RN tem atividade influenciada pela disponibilidade de água. Alguns trabalhos têm utilizado a estimativa da atividade da RN como parâmetro indicativo da resposta fisiológica das plantas aos estresses ambientais (OLIVEIRA et al., 2005).

Tabela 6 - Média da atividade da enzima Redutase do Nitrato de todas as coletas dos tratamentos em ambiente sem irrigação suplementar, em  $\mu\text{mol NO}_2\text{g}^{-1}\text{MF h}^{-1}$  .

<b>Tratamentos</b>	<b>Médias</b>
CMG 2097	40,33 a
BRSMG CARAVERA	38,89 a
CMG 2170	37,00 a
CMG 2089	36,94 a
BRS ESMERALDA	36,72 a
BRSMG RELAMPAGO	36,39 a
CMG 2093	34,92 a
CMG 1511	34,65 a
CMG1896	32,84 a
BRSMG CAÇULA	30,22 a
CMG1509	28,58 b
CMG 2085	27,25 b
CMG 2187	25,99 b
CMG 2185	25,40 b
CMG 1987	23,68 b
CMG2188	23,38 b
CMG 1977	22,36 b
CMG 2162	21,70 b
CMG2172	17,55 b
CMG 2168	15,31 b

Fonte: Da autora (2016)

As médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de agrupamento de médias Skott Knot.

Com o desdobramento para coletas, observou-se que os tratamentos que obtiveram as maiores médias gerais, apresentaram o mesmo comportamento em relação as coletas, obtendo as maiores médias aos 7 DAE e posterior declínio até os 75 DAE, onde apresentaram a menor atividade enzimática e aos 100 DAE, apresentaram uma discreta recuperação na atividade da enzima. A baixa atividade da RN aos 75 DAE neste ambiente pode ser justificada pelo fato de que, nesta época, neste ambiente, a planta não se encontrava em uma fase fenológica de destaque, que demandasse altas concentrações de N, pois, o atraso do florescimento e



aumento de ciclo são uma das principais consequências diretas do estresse hídrico para o arroz de terras altas (FISHER et al., 2003; NDJIONDJ OP et al. 2012). E o discreto aumento na coleta posterior é justificado pelo aumento do ciclo, onde a planta se encontrava em final da fase reprodutiva e início da fase de maturação (FIGURA 3) que se caracterizam pelo florescimento e maturação de grãos, onde, a planta de arroz demanda grande quantidade de N na produção de grãos (LANNA; CARVALHO, 2013).

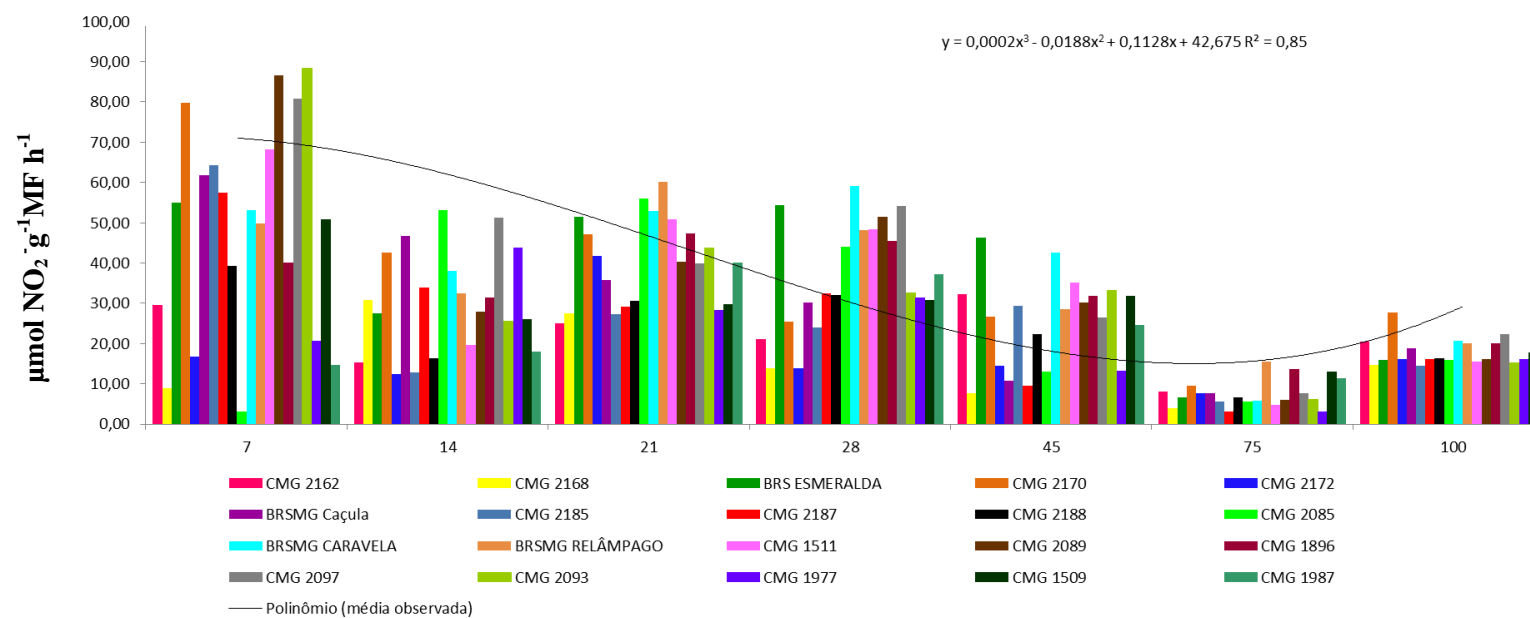
Na primeira coleta, os tratamentos se dividiram em 4 grupos distintos estatisticamente, demonstrando que nessa coleta houve uma variabilidade genotípica em função da atividade da RN. Na quarta coleta, os tratamentos se dividiram em dois grupos distintos estatisticamente. As demais coletas não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos. Logo, é possível observar uma variabilidade genética entre os tratamentos (FIGURA 3) no início da cultura, 7 DAE, e aos 28 DAE, onde o arroz se encontra em fase de perfilhamento, que é uma fase em que o nitrogênio, entre outros benefícios, propicia o aumento do número de perfilhos (FAGERIA et al., 2003).

As linhagens que obtiveram as menores médias gerais apresentaram comportamento diferente em relação as coletas, caracterizando a variabilidade genética entre os tratamentos em função da atividade enzimática da RN.

Em outros trabalhos, Ta e Ohira (1981), Barlaan e Ichii (1996), Badan (2003), Ouko (2003) e Justino et al. (2006) também observaram diferenças entre as cultivares de arroz quanto a atividade da NR, o que pode estar relacionado a origem genética dos materiais.

Ouko (2003) observou que a atividade da NR em genótipos de arroz de terras altas (subespécie japônica) foi significativamente maior do que a obtida em genótipos de arroz irrigado (subespécie índica).

Figura 3- Variabilidade da atividade da enzima Redutase do Nitrato em  $\mu\text{mol NO}_2\text{-g}^{-1}\text{MF h}^{-1}$  entre os genótipos durante as épocas de coleta no ambiente sem irrigação suplementar.



Fonte: Da autora (2016)

#### 4.2.2 Demais características avaliadas

Para a característica produtividade, os tratamentos se dividiram em dois grupos distintos (TABELA 7), apresentando média geral de 5.283,53 kg/ha. As médias entre os tratamentos variaram entre 4.273,01 kg/ha (BRSMG RELÂMPAGO) e 6.296,03 kg/ha (CMG 2097).

Observou-se que 12 tratamentos obtiveram média de produtividade superior a média geral, com valores variando de 5.298,41 a 6.296,03 kg/ha. Segundo Lafitte et al. (2006), essas diferenças podem ser atribuídas a capacidade de cada genótipo em produzir e acumular fotoassimilados para serem convertidos em matéria seca e produção de grãos ao final da fase de maturação fisiológica.

Nunes et al. (2012) em seu experimento com 20 genótipos de arroz de terras altas, comparando dois ambientes, com e sem estresse hídrico, também obteve genótipos que foram superiores estatisticamente em produtividade aos demais na condição com estresse.

Para a característica época de florescimento, os tratamentos se dividiram em três grupos distintos, conforme apresentado (TABELA 7). Observou-se que houve uma oscilação de 85 (BRSMG CAÇULA) a 95 dias (CMG 2097) com média geral de 93 dias.

Terra et al. (2013) ressalta haver uma tendência de aumento no número de dias para o florescimento, na condição com estresse hídrico, pois, nesta condição, as plantas não apresentam ainda reservas de fotoassimilados suficientes para o florescimento e posterior enchimento de grãos. Boonjung e Fukai (1996) relataram que o estresse de seca, durante o estágio vegetativo em arroz, alongou este período e atrasou também a maturidade fisiológica dos grãos.

Para a característica altura, os tratamentos se dividiram em dois grupos distintos (TABELA 7), sendo a média geral de 102 cm, com variação de 91 cm (CMG 2168) a 113 cm (CMG 1509).

Terra et al (2013) trabalhando com 15 linhagens F<sub>7</sub> de arroz de terras altas e seus dois genitores observaram que as plantas sob estresse hídrico apresentaram menor média de altura 121 cm, aproximadamente 14cm a menos do que as plantas que não sofreram estresse. Entretanto, suas plantas apresentaram maior desenvolvimento do que as do presente experimento, possivelmente por ser uma característica influenciada pelo genótipo, além das condições ambientais.

Para a característica peso de mil grãos, os tratamentos se dividiram em três grupos distintos (TABELA 7), apresentando média geral de 23,94g com oscilação de 20,27g (CMG 2172) e 28,04g (CMG 2089).

Segundo Prasertsak e Fukai (1997), a massa de grãos é uma característica variável entre genótipos e até mesmo dentro do genótipo dependendo da condição do ambiente.

Nunes et al. (2012) em seu experimento citado anteriormente, obteve média de 23g para massa de grãos em ambiente com estresse, apresentando resultados similares aos encontrados neste trabalho.

Tabela 7 - Média de produtividade, florescimento, altura de planta e peso de mil grãos dos genótipos, em ambiente sem irrigação suplementar.

Tratamentos	Médias			
	Produtividade	Florescimento	Altura	Peso de mil grãos
CMG 2097	6296,03a	95,00a	100,00b	24,60b
CMG 1896	6154,76a	93,00a	107,33a	24,88b
CMG 2093	5752,38a	93,67a	104,00a	27,04a
CMG 2162	5713,49a	94,33a	104,33a	21,03c
BRSMG CAÇULA	5548,41a	85,67c	103,67a	27,49a
CMG 2085	5504,76a	93,00a	105,00a	25,41b
CMG 2170	5496,03a	92,33a	100,67b	22,35c
CMG 1977	5490,47a	91,67a	110,67a	22,96c
BRS ESMERALDA	5471,43a	93,00a	98,00b	20,97c
CMG 2185	5433,33a	89,67b	101,00a	24,53b
CMG 2089	5331,74a	93,67a	103,67a	28,05a
CMG 1509	5298,41a	94,67a	113,33a	23,24c
CMG 2187	5203,97a	93,33a	94,67b	22,86c
CMG 1511	5180,16a	91,67a	110,00a	21,96c
BRSMG CARAVERA	4967,46b	93,00a	96,33b	23,70c
CMG 1987	4880,95b	93,67a	101,00b	24,80b
CMG 2168	4739,68b	93,00a	91,00b	25,44b
CMG 2188	4495,24b	93,67a	98,33b	23,32c
CMG 2172	4438,89b	93,33a	97,33b	20,26c
BRSMG RELAMPAGO	4273,02b	91,00a	102,67a	23,56c
Média	5283,53	92,62	102,15	23,92

Fonte: Da autora (2016)

As médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de agrupamento de médias Skott Knott.

### **4.3 Análise conjunta**

#### **4.3.1 Atividade enzimática**

Os tratamentos se dividiram em dois grupos distintos estatisticamente (TABELA 8), sendo que os que se destacaram com maiores médias na análise conjunta, também se destacaram nos ambientes individuais. São eles, BRSMG RELÂMPAGO, BRS ESMERALDA, BRSMG CARAVERA, BRSMG CAÇULA com 45,83; 44,68; 42,24; 40,66  $\mu\text{mol NO}_2\text{g}^{-1}\text{MF h}^{-1}$  respectivamente, embora não tenham diferido estatisticamente dos demais tratamentos pertencentes ao mesmo grupo.

Tabela 8 - Média dos tratamentos para atividade da enzima Redutase do Nitrato em  $\mu\text{mol NO}_2\text{g}^{-1}\text{MF h}^{-1}$ , em análise conjunta dos ambientes, considerando a média de todas as avaliações.

<b>Tratamentos</b>	<b>Médias</b>
BRSMG RELAMPAGO	45.83 a
BRS ESMERALDA	44.68 a
BRSMG CARAVERA	42.24 a
BRSMG CAÇULA	40.66 a
CMG 1987	40.59 a
CMG 2170	40.07 a
CMG 1511	40.01 a
CMG 2093	38.45 a
CMG 2097	37.53 a
CMG 2089	36.93 a
CMG 2085	35.79 a
CMG 1896	34.35 a
CMG 2188	32.47 b
CMG 2162	29.87 b
CMG 1509	29.35 b
CMG 2185	28.19 b
CMG 2187	27.97 b
CMG 1977	27.11 b
CMG 2172	23.11 b
CMG 2168	20.10 b

Fonte: Da autora (2016)

As médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de agrupamento de médias Skott Knot.

Os genótipos CMG 2168 e CMG 2172 apresentaram na análise conjunta os menores valores de atividade enzimática, embora não diferentes estatisticamente aos demais tratamentos aos quais se agruparam, repetindo este mesmo comportamento nos dois ambientes, destacando a baixa atividade enzimática desses genótipos.

A análise conjunta dos ambientes em relação a atividade enzimática da RN, demonstrou que houve interação significativa entre os tratamentos x coletas, ambientes x coletas e ambientes x tratamentos, conforme

apresentado na tabela de análise de variância (TABELA 9). O valor de acurácia obtido foi de 89,51%.

Tabela 9 - Resumo da análise de variância conjunta da atividade da enzima Redutase do Nitrato.

FV	GL	QM	Fc	Pr > Fc
Tratamentos	19	2178,66	5,03	0,00*
Blocos (ambiente)	4	3076,38	7,10	0,00*
Erro 1	38	432,94		
Coletas	6	27099,88	65,24	0,00*
Tratamentos * coletas	114	570,81	1,374	0,02*
Erro 2	228	415,36		
Ambiente	1	23231,74	46,06	0,00*
Ambiente * coletas	6	9437,47	18,71	0,00*
Ambiente * tratamentos	19	833,74	1,65	0,04*
Ambiente * coletas * tratamentos	114	414,85	0,82	0,88
Erro 3	290	504,36		
Total Corrigido	839			
Acurácia (%)	89,51			

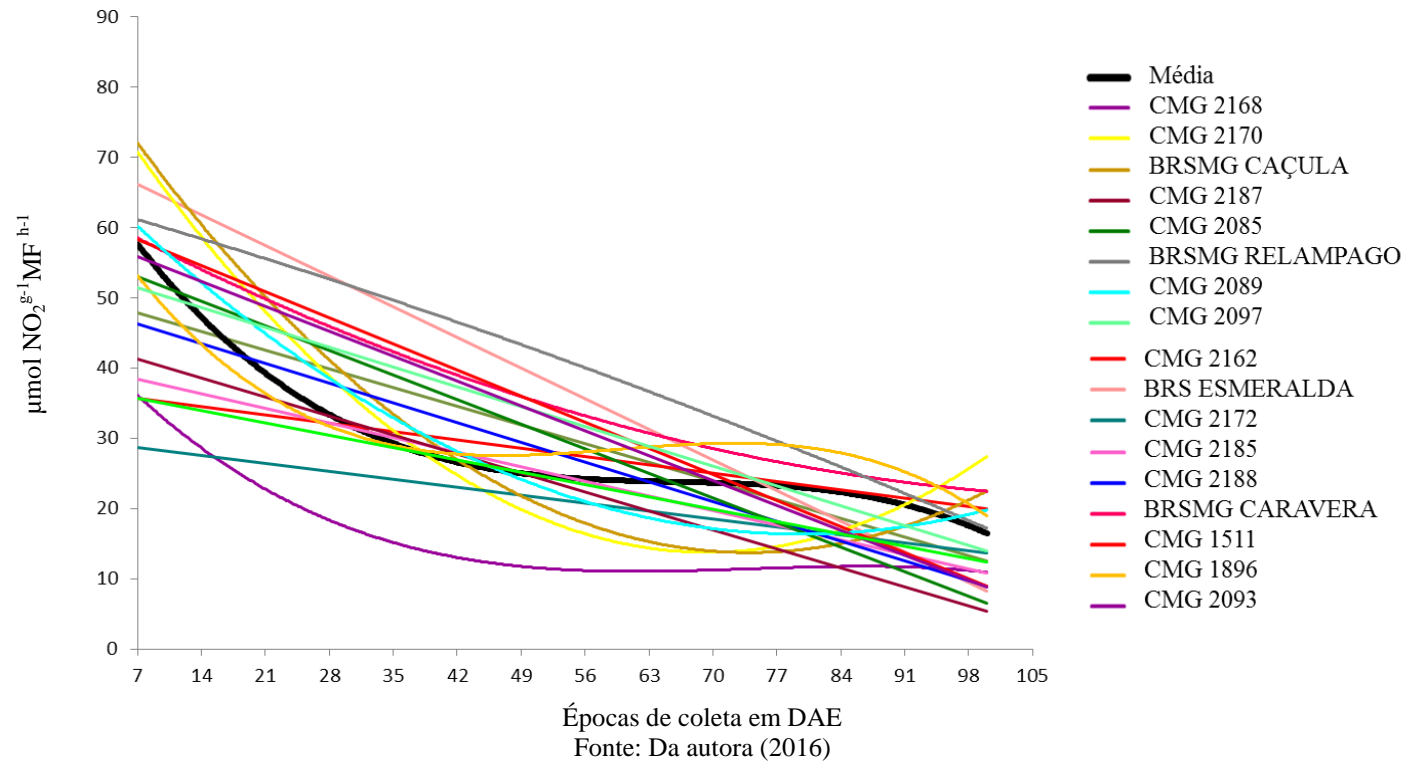
Fonte: Da autora (2016)

\*Significativo a 95% de confiabilidade pelo teste F

Avaliando os dois ambientes, observa-se que houve variabilidade entre os genótipos de arroz e entre a atividade da enzima. É importante destacar, que de maneira geral, a atividade da enzima RN diminuiu com o aumento do ciclo das plantas nos genótipos de arroz de terras altas (FIGURA 4) (coeficientes de determinação das regressões) (APÊNDICE).



Figura 4 - Desempenho da atividade enzimática de todos os tratamentos nos dois ambientes, considerando a média dos tratamentos nos ambientes.



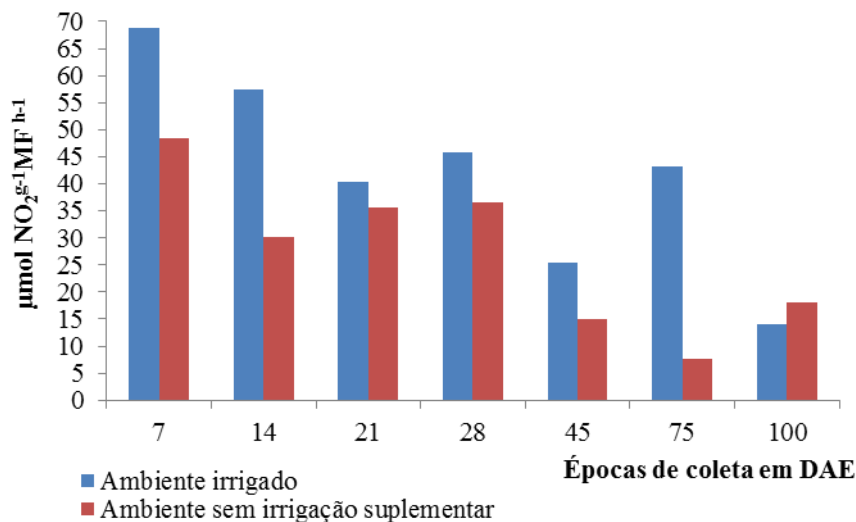
Esses resultados concordam com os resultados obtidos por Moro et. al (2014), que também obtiveram resultados similares, demonstrando em seu trabalho, com dez cultivares de arroz de terras altas, que a atividade da RN foi reduzida ao longo do ciclo das cultivares. Contudo, contraria a teoria de Malavolta (1980) que diz que a atividade da enzima RN é baixa no início do desenvolvimento do arroz e aumenta com o decorrer do tempo.

Semelhantemente aos resultados obtidos no presente trabalho, Ouko (2003) observou atividade de RN em arroz de terras altas no sétimo dia após a germinação (DAG), apresentando um pico de atividade no décimo quarto DAG. Shen (1969) relatou atividade da RN de, aproximadamente,  $76 \text{ nmol NO}_2^- \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$  em plântulas de arroz com quatro dias de idade, crescidas em água destilada, indicando que RN pode estar presente, em baixas concentrações, como uma enzima constitutiva (LANNA; CARVALHO, 2013).

Sendo a RN considerada um indicador bioquímico para medida da eficiência do uso de N no início do estabelecimento da cultura, plantas de arroz de terras altas, em estádios iniciais de desenvolvimento, com alta atividade da RN, utilizam o  $\text{NO}_3^-$  mais eficientemente e, conseqüentemente, competem com plantas daninhas com maior eficácia (ASCH; BRUECK, 2010; LANNA; CARVALHO 2013).

No desdobramento dos ambientes em relação as coletas, observou-se que no ambiente irrigado a atividade da enzima foi superior a atividade demonstrada no ambiente sem irrigação suplementar até a sexta coleta. Na última coleta o desempenho da RN no ambiente não irrigado foi maior (FIGURA 5). Pressupõe-se em princípio, que o gene que transcreve e traduz a enzima redutase do nitrato deva ser mais facilmente acionado em condições ambientais favoráveis a sua expressão, fato esse, desfavorável para os programas de melhoramento. Entretanto, são necessários mais estudos que elucidem tais mecanismos.

Figura 5 - Média da atividade da enzima Redutase do Nitrato por coleta nos dois ambientes, considerando a média de todos os tratamentos.



Fonte: Da autora (2016)

#### 4.3.2 Demais características avaliadas

Para a característica produtividade, não houve diferença significativa entre os tratamentos, mas houve entre os ambientes. A média geral foi de 4.909,98 kg/ha. Embora os tratamentos não apresentem diferença significativa, as médias variaram entre 4.204,76 kg/ha (BRSMG CARAVERA) e 5.784,12 kg/ha (CMG 1896).

Os dois ambientes apresentaram médias superiores a média geral conjunta, entretanto, o ambiente sem irrigação se destacou por apresentar as maiores médias.

Reis et al. (2007) avaliando o desempenho de 13 cultivares e linhagens de arroz de terras altas em plantio convencional e plantio direto, obtiveram valores inferiores aos encontrados no presente trabalho, com média de 3.361kg/h.

A característica época de florescimento foi significativa entre os tratamentos, e apresentou diferenças entre os ambientes. De maneira geral,

os tratamentos se dividiram em três grupos distintos, conforme apresentado na Tabela 10. A oscilação observada foi de 83 (BRSMG CAÇULA) a 94 dias (CMG 2162; CMG 2093) com média geral de 91 dias.

A média geral ressaltou o discreto aumento do ciclo, que foi observado no ambiente sem irrigação suplementar, o que pode ser devido a distribuição irregular de chuvas no período vegetativo, com efeito no desenvolvimento das plantas.

O genótipo que se destacou para a precocidade no florescimento foi BRSMG CAÇULA com média de 83 dias. E os genótipos que apresentaram o florescimento mais tardio, embora não diferentes estatisticamente dos demais tratamentos aos que se agruparam, foram CMG 2162 e CMG 2093 com média de 94,67 dias.

Heinemann e Stone (2009), em um experimento avaliando 4 cultivares de arroz de terras altas, em ambiente irrigado e ambiente com estresse, obtiveram média de 76 dias para o florescimento no ambiente irrigado e 83 dias para o ambiente com estresse, resultados inferiores aos obtidos no presente trabalho. O que demonstra que a característica dias para florescimento é altamente influenciada pelo genótipo, além das condições do ambiente.

Para a característica altura de plantas, os resultados foram significativos entre os tratamentos, que se dividiram em quatro grupos distintos (TABELA 10), sendo a média geral de 102 cm, com variação de 88 cm (CMG 2168) a 113 cm (CMG 1509).

O genótipo CMG 2168 que apresentou a menor altura na análise conjunta, embora não diferente estatisticamente dos demais tratamentos ao que se agrupou, também apresentou o menor valor nos dois ambientes.

Reis et al., (2008) avaliando o desempenho de 13 cultivares e linhagens de arroz de terras altas em plantio convencional e plantio direto, obtiveram uma altura de plantas média, nos dois sistemas de plantio de 87 cm, valor inferior aos encontrados neste estudo.

Para a característica peso de mil grãos, os resultados foram significativos e os tratamentos se dividiram em quatro grupos distintos (TABELA 10), apresentando média geral de 23,75g com oscilação de 20,26g (CMG 2172) e 28,07g (CMG 2089).

De maneira geral, todos os tratamentos obtiveram resultados similares nos dois ambientes, concordando com Matsushima (1970) e Yoshida (1981), que dizem que essa característica é afetada mais intensamente por fatores genéticos do que externos.

Tabela 10 - Média da atividade da enzima redutase do nitrato (considerando a média de todas as épocas de avaliação nos dois ambientes) produtividade, florescimento, altura da planta e peso de mil grãos de tratamento, considerando a média dos ambientes.

Tratamentos	RN	Produtividade	Florescimento	Altura	Peso de mil grãos
BRSMG RELAMPAGO	45,83 a	4490,08 a	86,50 b	107,67 b	23,34 c
BRS ESMERALDA	44,68 a	4603,18 a	92,50 a	98,67 c	20,97 d
BRSMG CARAVERA	42,24 a	4204,76 a	90,00 a	97,67 c	23,49 c
BRSMG CAÇULA	40,66 a	4915,48 a	83,00 c	109,83 a	25,94 b
CMG 1987	40,59 a	4459,92 a	92,67 a	100,33 c	24,72 b
CMG 2170	40,07 a	5018,26 a	89,67 a	98,00 c	22,35 c
CMG 1511	40,01 a	5072,62 a	91,17 a	110,17 a	21,96 d
CMG 2093	38,45 a	4888,89 a	94,67 a	105,00 b	26,94 a
CMG 2097	37,53 a	5380,56 a	90,67 a	94,00 d	24,43 b
CMG 2089	36,93 a	4790,08 a	91,83 a	100,33 c	28,08 a
CMG 2085	35,79 a	5034,52 a	90,67 a	104,17 b	25,40 b
CMG 1896	34,35 a	5784,13 a	92,50 a	111,50 a	24,77 b
CMG 2188	32,47 b	5003,57 a	92,00 a	101,33 c	23,43 c
CMG 2162	29,87 b	5164,29 a	94,67 a	103,00 c	21,03 d
CMG 1509	29,35 b	5211,11 a	93,33 a	113,33 a	23,08 c
CMG 2185	28,19 b	5289,68 a	91,67 a	99,67 c	23,98 c
CMG 2187	27,97 b	4893,25 a	92,67 a	95,83 d	22,86 c
CMG 1977	27,11 b	5179,76 a	90,50 a	112,33 a	23,05 c
CMG 2172	23,11 b	4318,25 a	88,67 b	93,50 d	20,26 d
CMG 2168	20,10 b	4497,22 a	93,00 a	88,00 d	25,04 b
Média	34,76	4909,98	91,12	102,22	23,76

Fonte: Da autora (2016)

As médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de agrupamento de médias Skott Knot.

#### 4.4 Correlações fenotípicas

Observou-se que, para a correlação de Pearson, não houve correlação significativa ( $P < 0,05$ ) entre a atividade da enzima RN e as demais características avaliadas (TABELA 11), podendo dizer então, que estas, se apresentaram como características independentes. Foram considerados os valores de cada tratamento obtidos na análise conjunta.

Tabela 11 - Coeficientes de correlação de Pearson entre as características agrônômicas avaliadas e a atividade da enzima Redutase do Nitrato considerando a média de todos os tratamentos nos dois ambientes e a média de todos os tratamentos nas sete épocas de avaliação da atividade da enzima nos dois ambientes.

Coeficientes de Correlação					
	Atividade da enzima Redutase do Nitrato	Produtividade	Florescimento	Altura	Peso de mil grãos
Atividade da enzima Redutase do Nitrato		-0,15 <sup>ns</sup>	-0,32 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>
Produtividade	-0,15 <sup>ns</sup>		0,22 <sup>ns</sup>	0,48*	0,11 <sup>ns</sup>
Florescimento	-0,32 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>		-0,15 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>
Altura	0,27 <sup>ns</sup>	0,48*	-0,15 <sup>ns</sup>		0,09 <sup>ns</sup>
Peso de mil grãos	0,15 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	

Fonte: Da autora (2016).

\*Significativo a 5%.

ns = não significativo

As características produtividade e altura apresentaram correlação significativa, com um valor de 0,48. Isso indica que na maioria dos casos, as plantas mais altas também são as mais produtivas, e a seleção de genótipos mais produtivos leva a uma seleção indireta, correlacionada, de plantas mais altas, o que não é desejável em um programa de melhoramento de arroz, pois plantas mais altas acamam com maior facilidade.

Hirel et al. (2001) em um experimento com milho obtiveram correlações significativas entre a atividade da RN e as características agronômicas produção e peso de grãos.

Similar aos resultados encontrados neste trabalho, Reed et al. (1980) observou em genótipos de milho que os rendimentos mais elevados foram os obtidos em genótipos que apresentaram baixa atividade da RN.

Dalchiavon et al. (2012) em seu trabalho com arroz de terras altas, não encontrou uma correlação significativa entre produtividade e peso de mil grãos, concordando com os resultados obtidos neste trabalho, entretanto, seu valor de coeficiente de correlação foi maior.

Quando duas características apresentam correlação genética favorável, é possível obter ganhos para um deles por meio da seleção indireta no outro caráter associado. Em alguns casos, a seleção indireta, com base na resposta correlacionada, pode levar a progressos mais rápidos do que a seleção direta do caráter desejado. Contudo, se um caráter se correlacionar negativamente com alguns, e positivamente com outros, é preciso tomar o cuidado de, ao selecionar para um deles, não provocar mudanças indesejáveis em outros (FALCONER; MACKAY, 1996).



## **5 CONCLUSÕES**

A atividade da enzima RN, na cultura do arroz, é dependente do genótipo e do período de desenvolvimento vegetal, sendo de maior expressão no início do ciclo da cultura.

A atividade da enzima RN não deve ser utilizada isoladamente para seleção indireta no caráter produtividade na cultura do arroz de terras altas, é necessário avaliar outras características que complementem a seleção.

## REFERÊNCIAS

AGEITEC. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica**. 2016.

Disponível em:

<<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fe75w inu02wx5eo07qw4xe1eq4gwu.html>>. Acesso EM: 05 jul. 2016.

AGROLINK. 2016. Disponível em:

<<https://www.agrolink.com.br/culturas/arroz/caracteristicas.aspx>>. Acesso em: 03 jul. 2016.

AHLGREN, S.; BAKY, A.; BERNESSON, S.; NORDBERG, A.; NORÉN, O.; HANSSON, P. Ammonium nitrate fertilizer production based on biomass - environmental effects from a life cycle perspective. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 17, p. 8034-8041, 2008.

ALONÇO A. S et al., Cultivo do Arroz Irrigado no Brasil: importância econômica, agrícola e alimentar do arroz. Pelotas: **Embrapa Clima Temperado**, 2005. Sistemas de Produção. Disponível em: <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrrigadoBrasil/cap01.htm>>. Acesso em: 02 jul. 2016.

ALVIM, M. I. da S. A.; OLIVEIRA JUNIOR, L. B. Análise da competitividade da produção de soja no sistema de plantio direto no Estado de Mato Grosso do Sul. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Rio de Janeiro, v. 43, n. 3, p. 505-528, 2005.

AMARAL, J. A. T. DO; CORDEIRO, A. T.; RENA, A. B. Efeitos do alumínio, nitrato e amônio sobre a composição de metabólitos nitrogenados e de carboidratos em *Stylosanthes guianensis* e *S. macrocephala*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 2, p.313-320, 2000.

ANDRADE NETTO, J. F. **Atividade das enzimas redutase do nitrato e glutamina sintetase em cafeeiro arábica**. 2005. 60 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2005.

ANDREOLI, C.; ANDRADE, V. R.; ZAMORA, S. A.; GORDON, M. Influência da germinação da semente e da densidade de semeadura no estabelecimento do estande e na produtividade de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 2, p.1-5, 2002.

ASCH, F.; BRUECK, H. **Rice crop innovations and natural-resource management** -A glimpse into the future. In: AFRICA RICE CONGRESS. Bamako. Innovation and partnerships to realize Africa's rice potential: abstracts. Mali: Africa Rice Center, 2010. 7 p.

BACHMANN, M.; MCMICHAEL, R.N.; HUBER, J. L. et al. Partial purification and characterization of a calcium - dependent protein kinase and inhibitor protein required for the activation of spinach leaf nitrate reductase . **Plant Physiology**, v. 108, p. 1083-1091, 1995.

BADAN, A. C. C. **Ganho com seleção e diversidade genética:** medidas para monitorar o melhoramento populacional de arroz. 2003. 104 p. Tese. (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2003.

BANDURSKA, H. Effect of proline on nitrate reductase activity in water-stressed barley leaves. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 13, p. 3-11, 1991.

BARLAAN, E.A.; ICHII, M. Genotypic variability in nitrate assimilation in rice. In: THIRD INTERNATIONAL RICE GENETICS SYMPOSIUM, Manila. **Anais...** Manila: International Rice Research Institute. p. 434-440, 1996.

BELOW, F.E. Fisiologia, nutrição e adubação nitrogenada do milho. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 99, p. 7-12, 2002.

BLOOM, A. J.; SUKRAPANNA, S. S.; WARNER, R. L. Root respiration associated with ammonium and nitrate absorption and assimilation by barley. **Plant Physiology**, Rockville, v. 99, n. 4, p. 1294-1301, 1992.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2005.v.1. 525 p.

BOONJUNG, H.; FUKAI, S. Effects of soil water deficit at different growth stages on rice growth and yield under upland conditions: 2. Phenology, biomass production and yield. **Field Crops Research**, New York, v. 48, n. 1, p. 47-55, 1996.

BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: DNDV/CLAV, 2009. 365p.

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

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

BRUGIÈRE, N.; SUZUKI, A. & HIREL, B. Ammonium assimilation. In: Nitrogen assimilation by plants: Physiological, biochemical and molecular aspects. Ed. J-F Morot-Gaudry. p. 71-94. **Science Publishers Inc.**, New Hampshire, USA. 2001.

BUCHER, C. A. **Expressão de genes relacionados à absorção e metabolismo de nitrogênio em arroz sob alto e baixo suprimento de nitrato**. 2011. 96f. Tese. (Doutorado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2011.

CAMBRAIA, J.; PIMENTA, J.A.; ESTEVÃO, M.M.; SANT'ANNA, R. Aluminum effects on nitrate uptake and reduction in sorghum. **Journal of Plant Nutrition**, v. 12, p. 1435-1445, 1989.

CAMPBELL, W. H. Nitrate reductase structure function and regulation on bridging to gap between biochemistry and physiology. **Annual Review Plant Physiology Plant Molecular Biology**. v. 50, p. 277-303, 1999.

CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L.; RIBEIRO, N. D. Medidas da precisão experimental em ensaios com genótipos de feijão e de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 10, p. 1225-1231, out. 2009.

CASTRILLO, M.; FERNANDEZ, P. MOLINA, B.; KAZANDJIAN, A. Nitrogen metabolism in *Phaseolus vulgaris* L. under water deficit. **Turrialba**, v. 40, p. 515-519, 1990.

CASTRO, D. S.; LOBATO, A. K. S.; MENDES, F. S.; OLIVEIRA NETO, C. F.; CUNHA, R. L. M.; COSTA, R. C. L. Atividade da redutase do nitrato em folhas de teca (*Tectonagrandis* L.) sob déficit hídrico. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, p. 936- 938, 2007 (Supl. 2).

CASTRO, E. M. de; BRESEGHELLO, F.; RANGEL, P. H. N.; MORAES, O. P. de. **Melhoramento do Arroz**. In: BORÉM, A. Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa: UFV, 1999. p.95-130.

CAZETTA, J. O. **Influência do nitrogênio e potássio no metabolismo, no desenvolvimento e na produção de plantas de milho**. Jaboticabal, 1997. 121 f. Tese. (Livre Docência) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp, FCAV, Campus de Jaboticabal, São Paulo, 1997.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safrabrasileira: grãos, décimo levantamento, julho 2016**. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16\\_07\\_11\\_17\\_36\\_02\\_boletim\\_graos\\_julho\\_2016.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_07_11_17_36_02_boletim_graos_julho_2016.pdf) . >. Acesso em: 01 jul. 2016.

CORDEIRO, A. C. C.; RANGEL, P. H. N. Avaliação de populações de arroz irrigado conduzidas por seleção recorrente em várzea de Roraima. **Revista agro ambiente Online**, Boa Vista, v. 5, n. 3, p. 182-187, 2011.

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

CREGAN, P. B.; BERKUM, P. Genetics of nitrogen metabolism and physiological/biochemical selection for increased grain crop productivity. **Theoretical and Applied Genetics**, Heidelberg, v. 67, n. 2/3, p. 97-111, 1984.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Matéria seca e absorção de nutrientes em função do espaçamento e da densidade de semeadura em arroz de terra alta. **Scientia Agricola**, Piracicaba. v. 56, n. 1, p. 63-70, 1999.

CUNHA FILHO, L. A.; NASCIMENTO, L. S. Estudo da potencialidade genética do cruzamento “IR-8” x “Sagrimão” para o melhoramento do arroz (*Oryza sativa* L.) **Revista da Universidade Rural -Série Ciências da Vida**, v. 16, n. 1-2, p. 9-19, 1994.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; COLETTI, A. J.; CAIONE, G.; SILVA, A. F.; ANDREOTTI, M.; Correlação linear entre componentes da produção e produtividade do arroz de terras altas em sistema plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 5, p.1 629-1642, Londrina, PR, 2012.

DONATO, V. M. T. S.; ANDRADE, A. G. DE; SOUZA, E. S. DE.; FRANÇA, J. G. E. DE; MACIEL, G. A. Atividade enzimática em variedades de cana-de-açúcar cultivadas in vitro sob diferentes níveis de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 11, p.1087-1093, 2004.

DONG, Z. A.; XIE, F. T. Effects of drought treatments at different stages on the enzyme activities and membrane permeabilities of soybeans. **Soybean Science**, v. 14, p. 290-298, 1995.

DURIEUX, R. P.; JACKSON, W. A.; KAMPRATH, E. J.; MOLL, R. H. Inhibition of nitrate uptake by aluminium in maize. **Plant and Soil**, v. 151, p. 97-104, 1993.

EICHELBERGER, K. D.; LAMBERT, R. J.; BELOW, F. E.; HAGEMAN, R. H. Divergent phenotypic recurrent selection for nitrate reductase activity in maize. I. Selection and correlated responses. **Crop Science**, Madison, v. 29, n. 6, p. 1393-1397, nov./dec, 1989.

FAGERIA, N. K. **Adubação e nutrição mineral da cultura de arroz**. Rio de Janeiro: Campus, 1984. 341 p.

FAGERIA, N. K.; STONE L. F. Manejo do nitrogênio. In: FAGERIA, N. K, STONE, L. F.; SANTOS, A. B. (Eds.). Manejo da fertilidade do solo para

o arroz irrigado. Santo Antônio de Goiás, **Embrapa Arroz e Feijão**. p.51-94, 2003.

FALCONER, D. S. **Introdução à genética quantitativa**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1987. 279 p.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. 4th ed. New York: Longman, 1996. 464 p.

FAO. Fao Stat Agriculture Data – croopsandpro-cessed – apple and quince. Disponível em: <<http://www.faostat.fao.org>>. Acesso em: 10 maio, 2015.

FARIAS, G.J. **Avaliação de progênies F2: 4 de uma população de soja e perspectivas de melhoramento**. 61p. Dissertação. (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2008.

FARIAS, G. J. **Retrocruzamento visando o melhoramento de caracteres quantitativos em soja**. 142 p. Tese. (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2013.

FARINELLI, R.; PENARIOL, F. G.; FORNASIERI FILHO, D.; BORDIN, L. Características agronômicas de arroz de terras altas sob plantio direto e adubação nitrogenada e potássica. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 28, p. 447-454, 2004.

FEHR, W.R. **Principles of cultivars development**. New York: Macmillan, 1987, 536 p.

FERREIRA, V. M.; MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; OLIVEIRAS, L. E. M. DE.; PURCINO, A. A. C. Metabolismo do nitrogênio associado à deficiência hídrica e sua recuperação em genótipos de milho. **Ciência Rural**, v. 32, n. 1, p. 13-17, 2002.

FERREIRA, D. F. **Sistema de análises de variância para dados balanceados**. Lavras: UFLA, 2011.

FISCHER, K. S. et al. (Ed.). Breeding rice for drought-prone environments. Los Baños: **International Rice Research Institute**, 2003. p. 37-48.

FONTAINE, J. X. et al. Characterization of a NADH- dependent glutamate dehydrogenase mutant of Arabidopsis demonstrates the key role of this enzyme in root carbon and nitrogen metabolism. **Plant Cell**, Portland, v. 24, n. 10, p. 4044-4065, 2012.

FORDE, B. G. Local and long-range signaling pathways regulating plant responses to nitrate. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 53, n. 1, p. 203-224, 2002.

GEBHARDT, C.; OLIVER, J. E.; FORDE, B. G.; SAARELAINEN, R.; MIFLIN, B. J. Primary structure and differential expression of glutamine synthetase genes in nodules, roots and leaves of *Phaseolus vulgaris*. **Embo J.**, v. 5, p. 1429-1435, 1986.

GILLISSEN, B.; BÜRKLE, L.; ANDRÉ, B.; KÜHN, C.; RENTSCH, D.; BRANDL, B.; FROMMER, W. B. A New Family of High-Affinity Transporters for Adenine, Cytosine, and Purine Derivatives in Arabidopsis. **Plant Cell**, v.12, p.291-300, 2000.

GHOSH, S.; PALIYATH, P.; PEIRSON, D.; FLETCHER, R.A. Nitrogen mobilization during senescence. In: SRIVASTAVA, H.S.; SINGH, R.P (Ed.). Nitrogen nutrition in higher plants. New Delhi: **Associated Publishing**, p. 337-365, 1995.

HAGEMAN, R.; REED, A. J. Nitrate reductase from higher plants. In *Methods in Enzymology* (M.P. Deutscher, ed.). **Academic Press Inc.**, San Diego. v. 69, p.2 70-280. 1980.

HARPER, J. E. Nitrogen metabolism. In: BOOTE, K. J.; BENNETT, J. M.; SINCLAIR, T. R. et al. **Physiology and determination of crop yield**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1994. Chapt.11A. p. 285-302.

HEINEMANN, A. B.; STONE, L. F. Efeito da deficiência hídrica no desenvolvimento e rendimento de quatro cultivares de arroz de arroz de



terras altas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 2, p. 134-139, Goiânia, 2009.

HEUER, B.; PLAUT, N.; FEDERMAN, E. Nitrate and nitrite reduction in wheat leaves as affected by different types of water stress. **Physiologia Plantarum**, v. 46, p. 318-323, 1979.

HIREL, B.; BERTIN, P.; QUILLERÉ, I.; BOURDONCLE, W.; ATTAGNANT, C.; DELLAY, C.; GOUY, A.; CADIOU, S.; RETAILLIAU, C.; FALQUE, M. & GALLAIS, A. Towards a Better Understanding of the Genetic and Physiological Basis for Nitrogen Use Efficiency in Maize. **Plant Physiology**, v. 125, p. 1258-1270, 2001.

HUBER, S.C.; BACHMANN, M.; HUBER, J. L. Post-translational regulation of nitrate reductase activity: a role for Ca<sup>2+</sup> and 14-3-3 proteins. **Trends in Plant Science**, v.1, p. 432-438, 1996.

HUFFAKER, R. C.; RADIN, T.; KLEINKOPF, G. E.; COX, E. L. Effects of mild water stress on enzymes of nitrate assimilation and of carboxylative phase of photosynthesis in barley. **Crop Science**, v. 10, p. 471-474, 1970.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. 2016.  
Disponível em: <  
[http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede\\_estacoes\\_conv\\_graf](http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_conv_graf)>. Acesso em: 03 jul. 2016

IRELAND, R.J. & LEA, P.J. The enzymes of Glutamine, Glutamate, Asparagine and Aspartate Metabolism. In: **Plant amino acids biochemistry and biotechnology**. Ed. BKSingh. p. 49-111. Marcel Dekker, Inc., New York. 1999.

JAKELAITIS, A. et al., Resposta de duas cultivares de arroz de terras altas ao espaçamento entre linhas e a convivência com plantas daninhas. **Global science and technology**, v. 2, n. 3, p. 16-28, Rio Verde, 2009.

JAWORSKI, E.G. Nitrate reductase assay in intact plant tissues. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 43, p. 1274-1279, 1971.

JONES, R.W.; SHEARD, R.W. Conditions affecting in vivo nitrate reductase activity in chlorophyllous tissues. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 55, p. 896-901, 1977.

JUSTINO, G. C.; CAMBRAIA J.; OLIVA, M. A.; OLIVEIRA, J. A. Absorção e redução de nitrato em duas cultivares de arroz na presença de alumínio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 8, p. 1285-1290, 2006.

KAISER, W. M.; BRENDLE-BEHNISCH, E. Rapid modulation of spinach leaf nitrate reductase activity by photosynthesis. I. Modulation in vivo by CO<sub>2</sub> availability. **Plant Physiology**, v. 96, p. 363-367, 1991.

KAISER, W. M.; WEINER, H.; HUBER, S. C Nitrate reductase in higher plants: A case for transduction of environmental stimuli into control catalytic activity. **Physiologia Plantarum**, v.105, p. 385-390, 1999.

KAISER, W. M.; HUBER, S. C. Pos-translation regulation of nitrate reductase: mechanism, physiological relevance and environmental triggers. **Journal of Experimental Botany**, v. 52, p. 1981-1989, 2001.

KLEPPER, L., FLESHER, D. E., HAGEMAN, E. H. Generation of reduced nicotinamide adenine dinucleotide for nitrate reduction in green leaves. **Plant Physiology**, Rockville, v. 48, p. 580-90, 1971.

KLUTHCOUSKI, J.; FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D.; RIBEIRO, C. M.; FERRARO, L. A. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 97-104, 2000.

KONISHI, M.; YANAGISAWA, S. The regulatory region controlling the nitrate-responsive expression of a nitrate reductase gene, NIA1, in Arabidopsis. **Plant and Cell Physiology**, v. 52, p. 824-836, 2011.

KRAMER, T. Environmental and genetic variation for protein content in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). **Euphatica**, v. 26, p. 209-218, 1979.

LAFITTE, H. R.; Li, Z. K.; VIJAYAKUMAR, C. H. M.; GAO, Y. M.; SHI, Y.; XU, J. L.; FU, B. Y.; YU, S. B.; ALI, A.J.; DOMINGO, J.; MAGHIRANG, R.; TORRES, R.; MACKILL, D. Improvement of rice drought tolerance through backcross breeding: evaluation of donors and

selection in drought nurseries. **Field Crops Research**. v. 97, n. 1, p. 77-86, 2006.

LAM, H. M.; COSCHIGANO, K. T.; OLIVEIRA, I. C. The molecular-genetics of nitrogen assimilation into amino acids in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 47, p. 569-593, 1996.

LANNA, A. C.; CARVALHO, M. A. F. Nitrato redutase e sua importância no estabelecimento de plantas de arroz de terras altas. In. **Documentos**. Embrapa Arroz e Feijão. , ISSN 1678-9644; 280. 2013.

LATIF, T.; IQBAL, M.; KHAN, A. M.; KHAN, M. A. Correlation coefficient analysis of yield components in rice (*Oryza sativa* L.). **Sarhad Journal of Agriculture**, v. 10, n. 6, p. 667- 670, 1994.

LEA, P. J. & IRELAND, R. J. Nitrogen metabolism in higher plants. In: B.K. Singh (ed.)MM. Decker Inc. **Plant Amino Acids**, p.1-47, 1999.

LEA, P. J.; MIFLIN, B. J. Nitrogen assimilation and its relevance to crop improvement. **Annual Plant Reviews**, Washington, v. 42, p. 1-40, 2011.

LI, S. X.; WANG, Z. H.; STEWAR, B. A. Responses of crop plants to ammonium and nitrate N. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 118, p. 205-397, 2013.

LILLO, C. Signalling cascades integrating light-enhanced nitrate metabolism. **Biochemical Journal**, v. 415, p. 11-19, 2008.

MACDUFF, J. H. ;JACKSON, S. B. Growth and preferences for ammonium or nitrate uptake by barley in relation to root temperature. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 42, n. 237, p. 521-530, 1991.

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

MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo: **Agronômica Ceres**, 1980. 251 p.

MANAM, R.; TEARE, I. D.; POWERS, W. L.; SKIDMORE, E. L. Nitrate reductase activity of soybeans in relation to other indicators of water stress. **Phyton**, v. 35, p. 189-194, 1977.

MAPA. **MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO**. 2016. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/arroz>>. Acesso em: 05 jul. 2016.

MARSCHNER, H.; KIRKBY, E. A.; ENGELS, C. Importance of cycling and recycling of mineral nutrients within plants for growth and development. **Botanica Acta**, v. 110, n. 4, p. 265-273, 1997.

MARUR, C. J.; MAZZAFERA, P.; MAGALHÃES, A. C., Atividade da enzima redutase do nitrato em algodoeiro submetido ao déficit hídrico e posterior recuperação da turgescência. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 2, p. 277-281, 2000.

MASCLAUX, C.; VALADIER, M. H.; BRUGIÈRE, N.; MOROT-GAUDRY, J. F.; HIREL, B. Characterization of the sink/source transition in tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) shoots in relation to nitrogen management and leaf senescence. **Planta**, v. 211, p. 510-518, 2000.

MASCLAUX-DAUBRESSE, C.; VALADIER, M-H; CARRAYOL, E.; REISDORF-CREN, M.; HIREL, B. Diurnal changes in the expression of glutamate dehydrogenase and nitrate reductase are involved in the C/N balance of tobacco source leaves. **Plant, Cell and Environment**, v. 25, p. 1451-1462, 2002.

MATSUO, T.; HOSHIKAWA, K. Science of the rice plant: Morphology. Tokio, **Food and Agriculture Policy Research Center**, 1993. 700 p.  
MATSUSHIMA, S. **Crop science in rice: theory of yield determination and its application**. Tokyo: Fuji, 1970. 379 p.

MAZID, M.; KHAN, T.A.; MOHAMMAD, F. Role of nitrate reductase in nitrogen fixation under photosynthetic regulation. **World Journal of Pharmaceutical Research**, v.1, p.386-414, 2012.

MEGURO, N. E.; MAGALHÃES, A. C. Atividade da redutase de nitrato em cultivares de café. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 17, p. 1725-31, 1982.

MEGURO, N. E.; MAGALHÃES, A. C. Water stress affecting nitrate reduction and leaf diffusive resistance in Coffea Arabica L. cultivars. 1983. **Journal of Horticultural Science**, v.58, p. 147-152, 1983.

MELONI, D. A.; GULOTTA, M. R.; MARTINEZ, C. A.; OLIVA, M. A. The effects of salt stress on growth, nitrate reduction and proline and glycine betaine accumulation in Prosopis alba. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 16, n. 1, p. 39-46, 2004.

**MENDEL, R. R.; STALLMEYER, B. Molybdenum cofactor (nitrate reductase) biosynthesis in plants:** First molecular analysis. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON PLANT TISSUE AND CELL CULTURE. 8., **Anais...** Florence, 1994.. Current plant science and biotechnology: proceedings. Kluwer, Dordrecht: Netherlands, 1995. p. 577-582.

MIFLIN, B. J., LEA, P. J. The pathway of nitrogen assimilation in plants. **Phytochemistry**, New York, v. 15, p. 873-885, 1976.

MILLER, A. J.; CRAMER, M. D. Root nitrogen acquisition and assimilation. In: Root Physiology: from Gene to Function. **Springer** , Netherlands, p. 1-36, 2005.

MISHRA, S. K.; MAURYA. D. M.; VISHWAKARMA, D. N. Selection model in rice (Oryza sativa L.). Indian J. **Genet.**, v. 53, n. 2, p. 131-137, 1993.

MORIKAWA, H.; TAKAHASHI, M.; SAKAMOTO, A.; MATSUBARA, T.; ARIMURA,G.; KAWAMURA, Y.; FUKUNAGA, K.; FUJITA, K.; SAKURAI, N.; HIRATA,T.; IDE,H.; NONOYAMA, N.; SUZUKI, H. Formation of unidentified nitrogen in plants: an

implication for a novel nitrogen metabolism. **Planta**, v. 219, p. 14-22, 2004.

MORILLA, C.; BOYER, J. S.; HAGEMAN, R. H. Nitrate reductase activity and polyribosomal content of corn having low leaf water potential. **Plant Physiology**, v. 51, p. 817-824, 1973.

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

MOURA NETO, F. P.; SOARES, A. A.; AIDAR, H. Desempenho de cultivares de arroz de terras altas sob plantio direto e convencional. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 5, p. 904-910. 2002.

NAKASATHIEN, S.; ISRAEL, D.W.; WILSON, R.F.; KWANYUEN, P. Regulation of seed protein concentration in soybean by supra-optimal nitrogen supply. **Crop Science**, Madison, v.40, n.5, p.1277-1284, 2000.

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

NDJIONDJOP, M.N. et al. Field Evaluation of Rice Genotypes from the Two Cultivated Species (*Oryza sativa* L. and *Oryza glaberrima*) and their interspecifics for tolerance to drought. **Crop Science**, v. 52, p. 524-538, 2012.

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

NUNES, T.V. et al., Aspectos produtivos de linhagens de arroz de terras altas sob déficit hídrico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 7, n. 1, p.5 1-57, 2012.

OAKS, A. Primary nitrogen assimilation in higher plants and its regulation. **Canadian Journal of Botany**, v. 72, p. 39-750, 1994.

OLIVEIRA, M. A. J. DE; BOVI, M. L. A.; MACHADO, E. C.; RODRIGUES, J. D. Atividade da redutase de nitrato em mudas de pupunheira (*Bactris gasipaes*). **Ciência Rural**, v. 35, n. 3, p. 515- 522, 2013.

OUKO, M. O. **Nitrate reductase activity in rice as a screening tool for weed competitiveness**. 2003. 73 f. Tese (Agronomia/Agricultura) - Faculty of agriculture, University of Bonn, Bonn, 2003.

PEREZ, L. E. P. **Nutrição Mineral de Plantas**. ESALQ/USP. 2003. Disponível em <[http://orion.cpa.unicamp.br/sbfv/arquivos/aulas/grad01/05/nutricao\\_mineral/nutricao\\_mineral.pdf](http://orion.cpa.unicamp.br/sbfv/arquivos/aulas/grad01/05/nutricao_mineral/nutricao_mineral.pdf)>. Acesso em: out/2014.

PETERS, G. A.; CALVERT, H. F. The **Azzola** – Anabaena symbiosis. In: RAOS, N. S. S. (Eds.). *Advances in agricultural microbiology*. New Delhi: Oxford & Igh, 1982. p. 191-218.

PINHEIRO, B. D. S. Apresentação. In: SANTOS, A. B. D. **Cultivo da Soca de Arroz Irrigado**. 1. ed. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA, v. 1, 2004. p. 192.

PINHEIRO, B. D. S. EMBRAPA. **Embrapa Arroz e Feijão**, jul. 2003. ISSN ISSN1679-8869. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozTer rasAltas/index.htm>>. Acesso em: 02 jul. 2016.

PRASERTSAK, A.; FUKAI, S. Nitrogen availability and water stress interaction on rice growth and yield. **Field Crop Research**, Amsterdam, v. 52, p. 249-260, 1997.

PROVAN, F.; LILLO, C. Photosynthetic post translational activation of nitrate reductase. **Journal of Plant Physiology**, v. 154, p. 605-609, 1999. PURCINO, A. A. C.; ALVES, V. M. C.; PARENTONI, S. N.; BELELE, C. L.; LOGUERCIO, L. L. Aluminum effects on nitrogen uptake and nitrogen

assimilating enzymes in maize genotypes with contrasting tolerance to aluminum toxicity. **Journal of Plant Nutrition**, v. 26, p. 31-61, 2003.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos.; ZIRMMERMAM, M. J. de O. **Genética quantitativa em plantas autógamas**: aplicações ao melhoramento do feijoeiro. Goiânia: UFG, 1993. 271 p.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, Â. F. B.; SANTOS, J. B.; NUNES, J. A. R. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2012. 522 p.

REED, A.J.; BELOW, F.E. ; HAGEMAN, R.H. Grain protein accumulation and the relationship between leaf nitrate reductase and proteases activities during grain development in maize(Zea mays L.). **Plant Physiology**, Rockville, v. 66, p. 1179-1183. 1980.

REIS, M. de S.; SOARES, A. A.; CORNÉLIO, V. M. de O.; SOARES, P. C.; GUEDES, J.M.; COSTA JÚNIOR, G. T. Comportamento de genótipos de arroz de terras altas sob sistemas de plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 4, p.227-232, dez. 2007.

REIS, M. S; SOARES, A. A; CORNÉLIO, V. M. O; SOARES, P. C. Desempenho de cultivares e linhagens de arroz de terras altas sob plantio direto e convencional. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 5, p. 1435-1440, Lavras, 2008.

RESENDE, M. D.V. Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes. **Embrapa Informação Tecnológica**, Brasília. 975 p. 2002.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 3, p. 182-194, set. 2007.



RHEIN, A. F. L.; SANTOS, D. M. M.; CARLIN, S. D. Atividade da enzima redutase do nitrato e teores de prolina livre em raízes de cana de açúcar sob os estresses hídrico e ácido no solo. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 32, n. 4, p. 1345-1360, Londrina, 2011.

ROTH, R.; HALL, L.N.; BRUTNELL, T. P. et al. Bundle sheath defective, a mutation that disrupts the coordinated development of bundle sheath and mesophyll cells in maize leaf. *Plant Cell*, v. 8, p. 915-927, 1996.

RUFTY JUNIOR, T.W.; MACKOWN, C.T.; LAZOF, D. B.; CARTER, T. E. Effects of aluminium on nitrate uptake and assimilation. *Plant, Cell and Environment*, v. 18, p. 1325-1331, 1995.

SANTOS, A. M. **Absorção, assimilação e remobilização de nitrogênio em arroz, sobnutrição nítrica.** Avaliação da expressão gênica diferencial. Seropédica, 2007. 104 f. Tese. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

SANTOS, A. M; BUCHER, C. A; STARK, E. M. L. M; FERNANDES, M. S; SOUZA, S. R., Efeito da disponibilidade de nitrato em solução nutritiva sobre a absorção de nitrogênio e atividade enzimática de suas cultivares de arroz. *Bragantia*, Campinas, v. 68, n. 1, p. 215-220, 2009.

SANTOS, L.A. **Absorção e remobilização de NO<sub>3</sub>-em arroz (*Oryza sativa* L.):** Atividade das bombas de prótons e a dinâmica do processo. 2006. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.

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

SHARMA, P.; DUBEY, R. S. Modulation of nitrate reductase activity in rice seedlings under aluminium toxicity and water stress: role of osmolytes as enzyme protectant. *Journal of Plant Physiology*, v. 162, n. 8, p. 854 - 864, 2005.

SHEIBLE, W.; GONZÁLEZ-FONTES, A.; LAUERE, M.; MÜLLER-RÖBER, B.; CABOCHE, M.; STITT, M. Nitrate acts as a signal to induce organic acid metabolism and repress starch metabolism in tobacco. **Plant Cell**, v. 9, p. 783-798, 1997.

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.

SILVA, V. A. C.; SILVA, E. F.; TABOSA, J. N. Comportamento de genótipos de arroz de terras altas na Zona da Mata de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 10, p.1030-1037, Campina Grande, 2010.

SINHA, S. K.; NICHOLAS, D. J. D. **Nitrate Reductase**. In: PALEG, L. G.; ASPINALL, D. (Ed.) The physiology and biochemistry of drought resistance in plants. New York: Academic Press.1981. p.145-168.

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

SKOPELITIS, D. S. et al. Abiotic stress generates ROS that signal expression of anionic glutamate dehydrogenases to form glutamate for proline synthesis in tobacco and grapevine. **Plant Cell**, Waterbury, v. 18, n. 10, p. 2767-2781, 2006.

SOARES, A. A. **Cultura do Arroz**. In: Textos Acadêmicos. 2. ed. Lavras. UFLA. p.130. 2005.

SOARES, A. A. Desvendando o segredo do insucesso do plantio direto do arroz de terrasaltas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 25, n. 222, p. 61-69, 2004.

SOARES, A. A, et al. Desempenho de linhagens de arroz de terras altas quanto à produtividade de grãos e outras características em Minas Gerais. **Revista Ceres**, p. 509-525, 2003.

SOLOMONSON, L. P.; BARBER, M.J. Assimilatory nitrate reductase: functional properties and regulation. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.41, p.225-253, 1990.

SOUZA S. R.; FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006.

SOUZA, S. R.; STARK, E. M. L. M.; FERNANDES, M. S. Foliar Spraying of Rice With Nitrogen: Effect on Protein Levels, Protein Fractions, and Grain Weight. **Journal of Plant Nutrition**, v. 22, n. 3, p. 579-588, 1999.

SOUZA, S. R.; STARK, E. M. L. M.; FERNANDES, M. S.; MAGALHÃES, J. R. Effects of Supplemental Nitrogen on Nitrogen-Assimilation Enzymes, Free Amino Nitrogen, Soluble Sugars, and Crude Protein of Rice. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, US, v. 30, n. 5-6, p.711-724, 1999b.

SOUZA, S. R. de; STARK, E. M. L. M.; FERNANDES, M. S. **Enzimas de assimilação de nitrogênio em plantas**. Rio de Janeiro: Artware Projetos Culturais. 2002. 55 p.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. **Principles and procedures of statistics: a biometrical approach**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1980. 631 p.

STONE, L. F.; SANTOS, A. B.; STENMETZ, S. Influência das práticas culturais na capacidade de retenção de água do solo e no rendimento de arroz de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 15, p. 63-68, 1980.

STOREY, R.; BEEVERS, L. Enzymology of glutamine metabolism related to senescence and seed development in pea (*Pisum sativum* L). **Plant Physiol.**, v. 61, n. 494-500, 1978.

TA, T.C.; OHIRA, K. Effects of various environmental and medium conditions on the response of Indica and Japonica rice plants to ammonium and nitrate nitrogen. **Soil Science & Plant Nutrition**, v. 27, n. 3, p. 347-355, 1981.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TEARE, I. D.; MANAM, R.; KANEMASU, E. T. Diurnal and seasonal trends in nitrate reductase activity in field grown plants. **Agronomy Journal**, v. 66, p. 733-736, 1974.

TERCÉ-LAFORGUE, T. et al. Resolving the Role of Plant Glutamate Dehydrogenase: II. Physiological Characterization of Plants Overexpressing the Two Enzyme Subunits Individually or Simultaneously. **Plant and Cell Physiology**, Kyoto, v. 54, n. 10, 2013.

TEARE, I. D.; MANAM, R.; KANEMASU, E. T. Diurnal and seasonal trends in nitrate reductase activity in field grown plants. **Agronomy Journal**, v. 66, p. 733-736, 1974.

TERRA, T. G. R.; LEAL, T. C. A. B.; BORÉM, A.; RANGEL, P. H. N. R. Tolerância de linhagens de arroz de terras altas à seca. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 2, p. 201-208, 2013.

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

VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G.P. (Ed.). **Melhoramento e produção de milho**. Campinas: Fundação Cargill, 1987, v. 1, p. 137-214.

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

WANG, Y. F.; HAN, J. F.; LIN, X. W. Study on physiological and biochemical responses of flue-cured tobacco to drought stress during early growth of the plants. **Acta Agronomica, Sinica**, v. 22, p. 117-121, 1996.

WARNER, R. L.; KLEINHOF, E. Genetics and molecular biology of nitrate metabolism in higher plants. **Physiologia Plantarum**, v. 85, p. 245-252, 1992.

WILLIAMS, L. E.; MILLER, A. J. Transporters Responsible for the Uptake and Partitioning of Nitrogenous solutes. **Annual Review In Plant Physiology and PlantMolecular Biology**, Palo Alto, CA - USA, v. 52, p.659-688, 2001.

YANEVA, I. A.; BAYDANOVA, V.D.; VUNKOVA-RADEVA, R. V. Nitrate reductase activation state in leaves of molybdenum-deficient winter wheat. **Journal of Plant Physiology**, v. 157, p. 495-501, 2000.

YOSHIDA, S. Growth and development of the rice plant. In: YOSHIDA, S. **Fundamental of rice crop science**. Los Baños, 1981. cap.1, p.1-63.

## APÊNDICE

Tabela 12 - Resumo da análise de variância individual do ambiente com irrigação suplementar em relação a atividade da enzima Redutase do Nitrato.

FV	GL	QM	Fc	Pr > Fc
Tratamentos	19	1855,75	3,000	0,0019
Blocos	2	3112,31	5,031	0,0115
Erro 1	38	618,57		
Coleta	6	24992,19	39,557	0,0000
Tratamentos * coleta	114	534,18	0,845	0,8442
Erro 2	240	631,8		
Total corrigido	419			
Acurácia	82%			
Média geral	40,03			

Fonte: Da autora (2016).

Tabela 13 - Resumo da análise de variância individual do ambiente sem irrigação suplementar em relação a atividade da enzima Redutase do Nitrato.

FV	GL	QM	Fc	Pr > Fc
Tratamentos	19	1156,65	3,987	0,0001
Blocos	2	3040,45	10,48	0,0002
Erro 1	38	290,11		
Coleta	6	11545,15	38,885	0,0000
Tratamentos * coleta	114	451,48	1,521	0,0037
Erro 2	240	296,91		
Total corrigido	419			
Acurácia	0,86			
Média geral	29,51			

Fonte: Da autora (2016).

Tabela 14 - Resumo da análise de variância para as características agronômicas, florescimento, altura, peso de mil grãos e produtividade no ambiente com irrigação suplementar.

Fonte: Da autora (2016).

\*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de agrupamento de médias Skott

QM					
FV	GL	Florescimento	Altura	Peso de mil grãos	Produtividade kg/ha
Tratamentos	19	51,16 *	256,85*	11,11*	862963,47*
Blocos	2	42,11 *	112,81*	17,81*	4093117,48*
Erro	38	5,2	29,38	1,76	348998,40
Acurácia		94,77%	94,11%	91,76%	72,20%

Knot.

Tabela 15 - Resumo da análise de variância para as características agronômicas, florescimento, altura, peso de mil grãos e produtividade no ambiente sem irrigação suplementar.

QM					
FV	GL	Florescimento	Altura	Peso de mil grãos	Produtividade kg/ha
Tratamentos	19	12,71*	92,50*	13,38*	850579,18*
Blocos	2	5,26	82,95	7,23*	1329023,85*
Erro	38	2,21	27,58	2,09	243000,44
Acurácia		90,88%	93,28%	91,85%	84,55%

Fonte: Da autora (2016).

\*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de agrupamento de médias Skott  
Knot.

Tabela -16 - Coeficientes da análise de regressão correspondente ao desempenho da atividade enzimática de todos os tratamentos nos dois ambientes.

Tratamento	Equação	R <sup>2</sup>
Média	$y = -0,0002x^3 + 0,0313x^2 - 2,0868x + 70,789$	0,91
CMG 2162	$y = -0,916x^3 + 11,336x^2 - 43,269x + 78,825$	0,62
CMG 2168	$y = -4,3532x + 37,518$	0,71
BRS ESMERALDA	$y = -10,067x + 84,952$	0,88
CMG 2170	$y = -0,1076x^3 + 3,6412x^2 - 32,598x + 109,7$	0,95
CMG 2172	$y = -2,93335x + 34,849$	0,51
BRSMG CAÇULA	$y = 1,1846x^2 - 19,276x + 94,073$	0,87
CMG 2185	$y = -4,9489x + 47,99$	0,43
CMG 2187	$y = 1,362x^2 - 18,089x + 73,09$	0,91
CMG 2188	$y = -7,136x + 61,017$	0,86
CMG 2085	$y = -7,9515x + 67,605$	0,61
BRSMG CARAVELA	$y = -6,3069x + 67,468$	0,68
BRSMG RELAMPAGO	$y = -6,7411x + 72,801$	0,6
CMG 1511	$y = 1,0111x^2 - 17,092x + 88,16$	0,73
CMG 2089	$y = 1,052x^2 - 16,05x + 80,098$	0,64
CMG1896	$y = -4,9142x + 54,009$	0,74
CMG 2097	$y = 1,7497x^2 - 21,385x + 88,086$	0,65
CMG 2093	$y = -0,8339x^3 + 11,491x^2 - 55,143x + 122,6$	0,94
CMG 1977	$y = -4,4666x + 44,982$	0,65
CMG1509	$y = -3,4456x + 43,134$	0,66
CMG 1987	$y = -4,7139x + 59,449$	0,48

Fonte: Da autora (2016).