

AGRÁRIA

Revista Brasileira de Ciências Agrárias

ISSN (on line): 1981-0997

v.6, n.4, p.650-656, out.-dez., 2011

Recife, PE, UFRPE. www.agraria.ufrpe.br

DOI:10.5039/agraria.v6i4a1420

Protocolo 1420 - 17/03/2011 *Aprovado em 16/06/2011

Eduardo L. Cancellier¹

Hélio B. Barros¹

Elisângela Kischel¹

Luiz A. de M. Gonzaga^{1,2}

Diogo R. Brandão¹

Rodrigo R. Fidelis¹

Eficiência agrônômica no uso de nitrogênio mineral por cultivares de arroz de terras altas

RESUMO

O arroz é considerado um dos cereais de maior importância econômica em países em desenvolvimento, sendo bastante exigente em nutrientes, principalmente o nitrogênio. Por esta razão, a seleção de genótipos com maior eficiência na utilização de nitrogênio mineral é considerada, atualmente, uma das maneiras mais adequadas para diminuir o custo de produção da cultura do arroz. O objetivo deste trabalho foi verificar a existência de diferenças entre variedades melhoradas de arroz quanto à eficiência no uso de nitrogênio em solos de terras altas. A avaliação das cultivares foi conduzida em dois experimentos, sob baixa e alta dose de nitrogênio mineral, utilizando um delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições. Para simular os ambientes com baixo e alto nível de nitrogênio, foram utilizadas, respectivamente, doses de 20 e 120 kg ha⁻¹ de N. As cultivares BRS-Primavera e BRSMG-Conai foram eficientes e responsivas à adubação de N sendo, portanto, indicadas para cultivo com qualquer nível de adubação, no sul do estado do Tocantins. As maiores produtividades estão relacionadas aos maiores índices de clorofila e às menores relações entre os índices de clorofila a e b.

Palavras-chave: Cerrado, eficiência nutricional, estresse nutricional, índices de clorofila, *Oryza sativa*.

Agronomic efficiency of mineral nitrogen by upland rice cultivars

ABSTRACT

Rice is one of the most important cereals in the economy of developing countries, being highly demanding for nutrients, especially nitrogen. Thus, the selection of highly efficient rice genotypes in mineral nitrogen use is currently considered one of the most appropriate ways to decrease rice crop production costs. The aim of this work was to verify the existence of differences between improved rice varieties in terms of nitrogen use efficiency in upland soils. The cultivars evaluation was carried out in two environments, with low and high nitrogen rates. The experiment was carried out in randomized block design with four replications. To simulate the environments with low and high nitrogen rates, 20 and 120 kg ha⁻¹ of N were applied, respectively. The cultivars BRS-Primavera and BRSMG-Conai had high agronomic efficiency and response to N fertilization and, therefore, are recommended for cultivation with any level of fertilization in the South region of the State of Tocantins. The highest yields are related to the highest chlorophyll indexes and the lowest ratios between chlorophyll indexes a and b.

Key words: *Cerrado*, nutritional efficiency, nutritional stress, chlorophyll index, *Oryza sativa*.

¹ Universidade Federal do Tocantins, Campus Universitário de Gurupi, Rua Badejós, Chácara 69 e 72, lote 7, Zona Rural, CEP 77402-970, Gurupi-TO, Brasil. Caixa Postal 66. Fone: (63) 3311-3500. Fax: (63) 3312-3288. E-mail: educancellier@mail.uft.edu.br; fidelisrr@uft.edu.br; barroshb@uft.edu.br; kischel_e@mail.uft.edu.br; luizantoniomenezes@hotmail.com; diogobradao@hotmail.com

² Bolsista de Iniciação Tecnológica Industrial do CNPq

INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é considerado um dos cereais de maior importância econômica nos países em desenvolvimento, constituindo-se alimento básico para cerca de 2,4 bilhões de pessoas. Devido ao aumento crescente de seu consumo, técnicas mais eficientes de cultivo devem ser estudadas de modo a aumentar a produção, produtividade e qualidade do produto colhido (Embrapa, 2008). Cultivado e consumido em todos os continentes, a cultura do arroz se destaca pela produção de 590 milhões de toneladas de grãos, representando atualmente cerca de 30% da produção total de grãos do mundo. É cultivado em uma área de 150 milhões de hectares, desempenhando papel estratégico tanto em nível econômico quanto social (Falquetto et al., 2007).

No Brasil, o arroz é produzido nos ecossistemas de várzea (34%) e de terras altas (60%) sob diversos sistemas de cultivo. O cultivo de arroz em sistema de terras altas apesar de ocupar 60% da área cultivada, responde por apenas 31% da produção nacional, em razão da baixa produtividade média (Embrapa, 2008). No Tocantins, esta cultura se faz presente tanto em várzea, quanto em terras altas, distribuídas em todo o estado. Na safra de 2007, a produção de arroz em terras altas foi de 168.812 toneladas, em 100.361 hectares, com uma produtividade média de 1.682 kg ha⁻¹ (Seagro, 2010).

A planta de arroz é bastante exigente em nutrientes, sendo necessário que eles estejam prontamente disponíveis nos momentos de demanda, para não limitar a produtividade. Depois do potássio, o nitrogênio (N) é o nutriente que a planta de arroz mais acumula na parte aérea. O N é componente da clorofila que aumenta a área foliar da planta que, por sua vez, aumenta a eficiência na interceptação da radiação solar, na taxa fotossintética e, conseqüentemente, tem alta influência na produtividade em grãos (Fageria et al., 2003).

Portanto, o uso racional da adubação nitrogenada é fundamental, não somente para aumentar a eficiência de recuperação, mas também para aumentar a produtividade da cultura, diminuir o custo de produção e os riscos de poluição ambiental (Argenta et al., 2001; Fageria et al., 2003; Dawson et al., 2008). Plantas com alta eficiência agrônômica no uso do N são desejáveis nas cultivares de arroz usadas na agricultura de baixos insumos. A seleção de genótipos com maior eficiência na utilização de nitrogênio é considerada, atualmente, uma das maneiras mais adequadas para diminuir o custo de produção da cultura do arroz e aumentar a produtividade de grãos através da maior resposta a esse nutriente. Isto porque os genótipos de uma mesma espécie mostram exigências nutricionais e tolerâncias diferenciadas para os estresses de nutrientes essenciais (Dawson et al., 2008).

Alguns estudos têm mostrado a existência de diferenças genotípicas na eficiência de absorção de nitrogênio em arroz. Kischel et al. (2011) avaliaram o efeito do nitrogênio em genótipos de arroz irrigado, cultivados em várzea úmida (sem o controle do sistema de irrigação) e observaram diferenças genéticas para a característica produtividade de grãos, quanto à eficiência de absorção de N. Isto significa que existe grande potencial de aumento da produtividade com a seleção de

genótipos mais eficientes na absorção e utilização de N, conforme observado por Fageria et al. (2007b).

O objetivo deste trabalho foi verificar a existência de diferenças entre variedades melhoradas de arroz, quanto à eficiência no uso de nitrogênio mineral, em solos de terras altas.

MATERIAL E MÉTODOS

A avaliação das cultivares foi conduzida em dois experimentos, contendo doses contrastantes de nitrogênio (baixo - 20 kg ha⁻¹ e alto nível - 120 kg ha⁻¹) em terras altas no município de Gurupi (TO), no campo experimental da Universidade Federal do Tocantins, nas coordenadas 11°46'18" S e 49°02'35" O e altitude de 285 m, no ano agrícola 2009/10.

Em ambos os experimentos, o delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições. Cada parcela experimental foi constituída por quatro linhas de 5,0 m de comprimento, espaçadas de 45 cm e 60 sementes por metro linear. Como área útil, foram utilizadas as duas linhas centrais com 4 metros de comprimento, desprezando 50 cm das extremidades.

Para o estudo foram utilizadas as cultivares BRS-Primavera, BRS-Caiapó, BRSMG-Curinga, BRSMG-Conai, BRS-Sertaneja e BRS-Bonança, selecionadas por serem as mais utilizadas no cultivo do arroz de terras altas no estado.

A correção da acidez do solo foi realizada de acordo com a análise do solo que apresentou as seguintes características: pH (H₂O) = 5,0; Ca+Mg = 0,8 cmol_c dm⁻³; Al = 0,4 cmol_c dm⁻³; H+Al = 4,1 cmol_c dm⁻³; CTCt = 1,2 cmol_c dm⁻³; K = 26,6 mg dm⁻³; P = 1,2 mg dm⁻³; V = 17,1%; m = 32,0%; MO = 18,1 g dm⁻³; Areia = 690,1 g kg⁻¹; Silte = 40,5 g kg⁻¹ e Argila = 269,3 g kg⁻¹. A semeadura foi realizada manualmente, no dia 10 de dezembro de 2009. A adubação de semeadura foi realizada no sulco de plantio, seguindo recomendações para a região e resultados da análise de solo. Para simular ambientes com baixo e alto nível de nitrogênio, foram utilizadas doses de 20 e 120 kg ha⁻¹ de N em cobertura, respectivamente, aplicadas por ocasião do perfilhamento efetivo e na diferenciação do primórdio floral. Estas duas doses contrastantes de nitrogênio foram identificadas em experimentos anteriores, para discriminar as cultivares de arroz quanto ao uso de nitrogênio (Fageria et al., 2003).

Os tratos culturais foram realizados utilizando capina manual, quando se fez necessário. Não houve a necessidade da aplicação de inseticidas e fungicidas durante a condução do experimento.

As características avaliadas foram: Número de dias para florescimento (DF), dias para a emissão de 50% das panículas, a partir da data de semeio; Altura de plantas (AP), medida da superfície do solo até o ápice da panícula do colmo central; Produtividade de grãos (PG), produção de grãos limpos com 13% de umidade, em kg ha⁻¹; Massa de cem grãos (MCG), massa de uma amostra de cem grãos sadios por parcela; Índice de clorofila *a* (Cl *a*); Índice de clorofila *b* (Cl *b*); relação entre índices de clorofila *a* e *b*, obtidos através da divisão do índice

de clorofila *a* pelo índice de clorofila *b* (CI *a*/ CI *b*); e índice de clorofila total (CI Total). As leituras foram realizadas no terço médio da planta, na parte central do limbo foliar, em três plantas por parcela, aos 85 dias após plantio. Para as leituras utilizou-se um clorofilômetro da marca comercial ClorofilLOG® modelo CFL 1030, produzido pela Falker Automação Agrícola. Os valores dos índices de clorofila são expressos em ICF (Índice de Clorofila Falker).

Os dados experimentais foram submetidos a análises, individual e conjunta de variância, com aplicação do teste F. A análise conjunta foi realizada sob condições de homogeneidade das variâncias residuais. Para as comparações entre as médias de tratamentos, foi utilizado o teste Tukey a 5% de probabilidade, o qual foi feito utilizando-se o aplicativo computacional Sisvar.

Para a diferenciação das cultivares foi utilizada a metodologia proposta por Fageria & Kluthcouski (1980), que sugere a classificação das cultivares quanto à eficiência no uso e resposta à aplicação de nitrogênio (eficiência e resposta - ER). A utilização do nutriente é definida pela média de produtividade de grãos em baixo nível. A resposta à utilização do nutriente é obtida pela diferença entre a produtividade de grãos nos dois níveis, dividida pela diferença entre as doses utilizando a seguinte fórmula:

$$IR = (AN - BN)/DEN$$

em que: IR= índice de resposta; AN = produção com alto nível de nitrogênio (kg ha⁻¹); BN = produção com baixo nível de nitrogênio (kg ha⁻¹); DEN = diferença entre as doses de N (kg ha⁻¹).

Foi utilizada uma representação gráfica no plano cartesiano para classificar as cultivares. No eixo das ordenadas (*x*), encontra-se a eficiência na utilização do nitrogênio e no eixo das abscissas (*y*), o índice de resposta à sua utilização. O ponto de origem dos eixos é a eficiência média e a resposta média das cultivares. No primeiro quadrante são representadas as cultivares eficientes e responsivas (ER); no segundo, as não eficientes e responsivas (NER); no terceiro,

as não eficientes e não responsivas (NENR) e no quarto, as eficientes e não responsivas (ENR).

De acordo com Fageria et al. (2007a), do ponto de vista prático, os genótipos mais desejáveis são os eficientes e responsivos, por propiciarem retorno econômico, pois apresentam maiores produtividades de grãos tanto com baixa, como com alta dose de N.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância (Tabela 1) não mostrou efeito significativo da interação entre as cultivares e os ambientes, indicando que o comportamento das cultivares em relação aos ambientes é uniforme, assim sendo, os fatores foram estudados isoladamente. O fator das cultivares apresentou significância para todas as características estudadas, indicando que existe variabilidade entre os genótipos, o que é desejável quando se realizam estudos visando encontrar características importantes para o aspecto produtivo, como a eficiência ou resposta de cultivares aos nutrientes do solo. Os ambientes influenciaram o comportamento das cultivares, apenas nas características número de dias para florescimento, índice de clorofila *b* e índice total de clorofila.

Com exceção da característica de produtividade de grãos, foram observados baixos coeficientes de variação, entre 2,5 e 10,1%, indicando uma boa precisão experimental, mesmo sendo os genótipos cultivados em condições adversas (Tabela 1). Sob tais condições, o coeficiente de variação elevado (CV), como observado para a produtividade de grãos (26,4%), é aceito na literatura. De acordo com Blum (1988), o elevado coeficiente de variação para a variável produtividade de grãos não é, necessariamente, considerado inadequado para ensaios sob condições de estresse. Gama et al. (2002) encontraram coeficiente de variação de 27,5%, sob ambiente de estresse mineral. Fidelis et al. (2009), trabalhando com estresse mineral, com a cultura do milho no sul do estado do

Tabela 1. Resumo da análise de variância das características número de dias para florescimento (DF), altura de plantas (AP), massa de 100 grãos (MCG), produtividade de grãos (PG), índice de clorofila *a* (CI *a*), índice de clorofila *b* (CI *b*), relação entre índices de clorofila *a* e *b* (CI *a*/CI *b*) e índice total de clorofila (CI Total) de cultivares de arroz de terras altas cultivadas na região sul do Estado do Tocantins, Gurupi, TO, safra 2009/2010

Table 1. Variance analysis summary of the characteristics number of days to flowering (DF), plants height (AP), 100 grains mass (MCG), grain yield (PG), chlorophyll *a* index (CI *a*), chlorophyll *b* index (CI *b*), ratio between chlorophyll indexes *a* and *b* (CI *a*/CI *b*) and total chlorophyll index (CI Total) of upland rice cultivars sown at the southern region of the State of Tocantins, Gurupi, Tocantins, Brazil, 2009/2010 harvest

F.V.	Quadrado médio								
	GL	DF	AP	MCG	PG	CI <i>a</i>	CI <i>b</i>	CI <i>a</i> /CI <i>b</i>	CI Total
Cultivar	5	711,5 **	269,01**	0,25**	415829,01**	25,17**	14,11 **	0,29 **	75,24 **
Ambiente	1	80*	45,24 NS	0,02 NS	43379,58 NS	17,43 NS	7,73*	0,14 NS	48,28 *
Cult x Amb	5	15,80 NS	5,77 NS	0,02 NS	13779,50 NS	1,22 NS	1,98 NS	0,09 NS	5,72 NS
Bloco (Amb)	6	21,40	38,60	0,04	27986,33	7,21	2,24	0,06	15,75
Resíduo	30	17,80	11,28	0,03	16895,55	5,16	1,69	0,07	11,32
Média geral	88,79	77,84	7,44	422,63	37,16	12,89	2,94	50,05	
CV (%)		4,76	4,32	2,54	30,76	6,11	10,09	9,08	6,72

** significativo p<0,01; * significativo p<0,05 de probabilidade pelo teste F; NS Não significativo

Tabela 2. Médias das características número de dias para florescimento (DF), altura das plantas (AP) e massa de 100 grãos (MCG), sob baixa e alta dose de nitrogênio para cultivares de arroz de terras altas na região Sul do Estado do Tocantins, Gurupi, TO, safra 2009/2010

Table 2. Means of the characteristics number of days to flowering (DF), plant height (AP) and 100 grains mass (MCG), under low and high nitrogen levels to for upland rice cultivars in the southern region of the State of Tocantins, Gurupi, Tocantins, Brazil, 2009/2010 harvest

Cultivar	DF (dias)			AP (cm)			MCG (g)		
	Alto	Baixo	Média	Alto	Baixo	Média	Alto	Baixo	Média
BRS-Primavera	81,8	82,3	82,0 b	86,4	87,2	86,8 a	2,29	2,40	2,34 c
BRS-Caiapó	100,5	100,3	100,4 d	83,5	79,5	81,5 b	2,78	2,66	2,72 ab
BRS-Sertaneja	98,5	93,0	95,8 cd	80,9	78,1	79,5 b	2,45	2,50	2,47 bc
BRSMG-Conai	74,8	73,8	74,3 a	75,7	72,7	74,2 c	2,8	2,77	2,79 a
BRSMG-Curinga	92,8	86,5	89,6 c	74,3	72,8	73,5 c	2,47	2,30	2,39 c
BRS-Bonança	92,3	89,3	90,8 c	72,2	71,0	71,6 c	2,58	2,47	2,52 abc
Média geral	90,1B	87,5A	88,8	78,8A	76,9A	77,8	2,56A	2,52A	2,54

Letras iguais minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem entre si pelo teste Tukey $p < 0,05$

Tocantins, encontraram coeficiente de variação (CV) de 42,8% para a mesma característica.

A cultivar que se apresentou mais precoce foi a BRSMG-Conai (Tabela 2), enquanto que as de ciclo mais tardio foram BRS-Caiapó e BRS-Sertaneja. O ambiente de estresse de nitrogênio provocou uma antecipação do ciclo vegetativo da planta de 2,6 dias. Este efeito de antecipação da fase reprodutiva da planta em função de estresse nutricional já foi relatado por Taiz & Zeiger (2004) e Kerbauy (2004), os quais relatam que a transição floral, assim como as demais etapas do desenvolvimento reprodutivo, é favorecida por um balanço carbono/nitrogênio (C/N) quantitativamente favorável ao primeiro assimilado e, em algumas espécies, o nitrato está relacionado à inibição floral, fazendo com que menores adubações nitrogenadas antecipem o florescimento das plantas.

Para a característica altura de plantas a cultivar BRS-Primavera apresentou a maior altura em relação às demais, fato que indica expressão de uma característica da cultivar que faz com que ela seja moderadamente suscetível ao acamamento (Tabela 2). Nas condições do estado do Tocantins em que ocorrem maiores intensidades luminosas, a competição entre plantas por luz é menor, promovendo menores alturas de plantas, desfavorecendo o acamamento que resultaria em grandes perdas. As cultivares BRSMG-Conai, BRSMG-Curinga e BRS-Bonança foram as que apresentaram menores alturas de plantas.

As cultivares BRSMG-Conai, BRS-Caiapó e BRS-Bonança foram as que apresentaram as maiores massas de 100 grãos. É importante que a massa de 100 grãos não seja muito elevada, já que está diretamente relacionada com qualidade dos grãos e, no Brasil, existe uma preferência de mercado para a classe longo-fino. Dentre as cultivares estudadas, apenas BRS-Caiapó pertence à classe longo, sendo ainda cultivada por possuir alto rendimento de grãos inteiros e boa qualidade culinária (Bresghello et al., 2006).

As maiores produtividades de grãos foram obtidas pelas cultivares BRSMG-Conai e BRS-Primavera (Tabela 3), enquanto as menores produtividades foram obtidas por

BRSMG-Curinga, BRS-Sertaneja e BRS-Caiapó. As baixas produtividades obtidas no experimento, estando inclusive abaixo da média estadual de 1.682 kg ha⁻¹ (Seagro, 2010), bem como o efeito não significativo dos ambientes sobre as características altura de plantas e, principalmente, produtividade de grãos, devem-se ao estresse hídrico ocorrido a partir da fase de diferenciação dos primórdios florais (Figura 1). Tal estresse resultou em elevada esterilidade das espiguetas, sendo ainda potencializada pelas altas temperaturas ocorridas na época, pois superaram os 35°C. O déficit hídrico prolongou-se e intensificou-se na fase de enchimento de grãos. Segundo Heinemann (2010), há grande influência do estresse hídrico na cultura do arroz de terras altas a partir de 10 dias antes do período de florescimento, sendo crítico na fase de enchimento de grãos, gerando perdas acima de 60% da produtividade.

A cultivar BRS-Primavera apresentou os maiores índices de clorofila *a*, porém sem diferir de BRS-Bonança e BRSMG-Cona (Tabela 4). O índice de clorofila *a*, foi o único índice que não foi influenciado pela adição de nitrogênio ao ambiente, assim, nota-se que o aumento dos teores de clorofila das plantas deu-se principalmente pelo aumento dos índices de clorofila *b*, quando da adição de N ao ambiente. Nos índices de clorofila *b*, a cultivar BRS-Primavera também foi a que obteve maiores valores, sem, portanto, diferir significativamente de BRS-Bonança.

Apesar de as cultivares que apresentaram os maiores índices de clorofila *a* também estarem contidas no grupo de cultivares que apresentou maiores valores para clorofila *b* e índice de clorofila total, quando se analisa as relações entre índices de clorofila *a* e *b*, verifica-se que estas obtiveram menores relações de clorofila *a* e *b*.

Segundo Borrmann (2009) a proporção entre clorofilas *a* e *b* varia com as condições de crescimento e fatores ambientais, etapa no ciclo de vida da planta e espécie vegetal. Plantas que crescem em condições de sombreamento possuem elevado teor de clorofila *b* em função de suas propriedades de absorção da luz, assim, a clorofila *b* complementa a

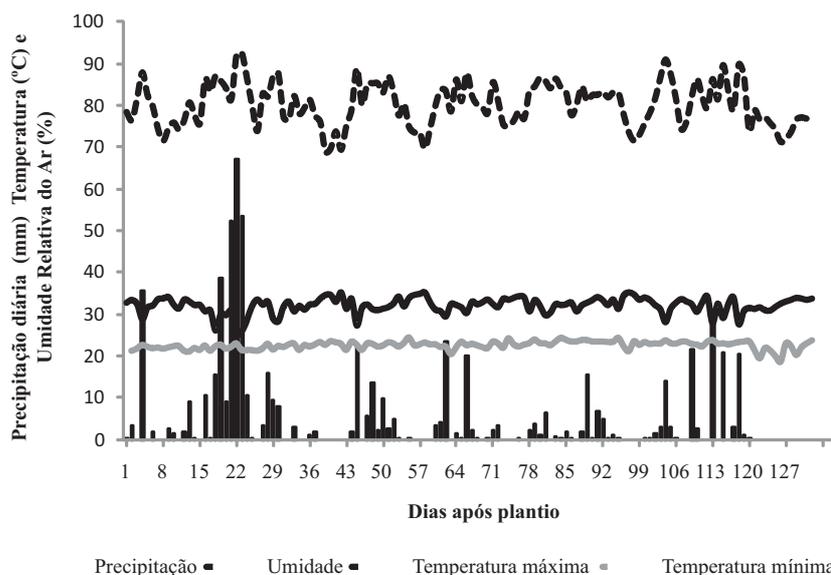


Figura 1. Precipitação diária, temperatura máxima, temperatura mínima, e umidade relativa do ar a partir da data de plantio até a colheita, Gurupi, TO, safra 2009/2010

Figure 1. Daily rainfall, maximum temperature, minimum temperature and relative humidity from sowing day until harvest, Gurupi, Tocantins, Brazil, 2009/2010 harvest

Tabela 3. Médias da característica produtividade de grãos, para cultivares de arroz de terras altas na região sul do Estado do Tocantins, Gurupi, TO, safra 2009/2010

Table 3. Grain yield means of upland rice cultivars in the southern region of the State of Tocantins, Gurupi, Tocantins, Brazil, 2009/2010 harvest

Cultivar	Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)			Índice de Resposta
	Alto	Baixo	Média	
BRSMG-Conai	779	677	728 a	1,02
BRS-Primavera	688	539	608ab	1,49
BRS-Bonança	512	529	525 b	-0,17
BRSMG-Curinga	320	270	254 c	0,50
BRS-Sertaneja	239	185	252 c	0,54
BRS-Caiapó	180	157	168 c	0,23
Média geral	452,7 A	392,6 A	422,7	0,6

Letras iguais minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey p<0,05

captação da luz para a fotossíntese em condições de baixa luminosidade. Diante disto, nota-se um aumento proporcionalmente maior do teor de clorofila *b* em relação ao aumento dos teores de clorofila *a*, resultando na diminuição da relação clorofila *a/b* das cultivares que apresentam maiores índices de clorofila total. Pode-se considerar que as cultivares que apresentam menores relações de clorofila *a/b* são mais eficientes na captação da luz, porém, somente quando esta diminuição na relação clorofila *a/b* se deu pelo aumento do índice de clorofila *b* e não pela redução do índice de clorofila *a*. Desta forma, a planta consegue aproveitar melhor a radiação solar em momentos que esta não se apresenta tão intensa, o que resulta, provavelmente, numa maior taxa fotossintética líquida durante o ciclo da cultura.

Estas evidências de que as plantas com maiores teores de clorofila supostamente aproveitam melhor a energia solar é corroborada pelos dados obtidos neste experimento, no qual nota-se que houve uma tendência de as plantas que obtiveram os maiores índices de clorofila e as menores relações entre clorofila *a/b* também obterem as maiores produtividades, como observado nas Tabelas 3 e 4.

Para a característica índice de clorofila total (Tabela 4), as cultivares superiores foram BRS-Primavera e BRS-Bonança, obtendo índices superiores a 50 ICF. O índice de clorofila nas folhas das plantas apresenta uma alta correlação com o teor de N da planta, desta forma, é um método eficiente para a avaliação do estado nutricional das plantas (Barbieri Junior, 2009; Pcojeski, 2007; Argenta et al., 2001). Segundo Pcojeski (2007) os aspectos genéticos e morfológicos das plantas de arroz podem diferir entre as cultivares, desta forma, as diferenças encontradas neste experimento são devidas às divergências genéticas das cultivares.

O ambiente com aplicação de elevada dose de nitrogênio apresentou os maiores índices de clorofila, no entanto a diferença entre os ambientes foi muito pequena quando comparada com os resultados de Pcojeski (2007) que obteve aproximadamente 4,5 unidades de diferença entre as doses de 0 e 120 kg ha⁻¹ de N com arroz irrigado no Rio Grande do Sul.

O nível crítico dos índices de clorofila obtidos através da leitura de clorofilômetro representa o nível de 90% do índice de clorofila lido na parcela em que se obteve a maior produtividade, ou seja, representa um nível acima do qual a resposta à aplicação do N será muito baixa ou nenhuma. Assim sendo, a aplicação do fertilizante irá diminuir a eficiência da adubação nitrogenada em função da maior dose aplicada (Barbosa Filho et al., 2008). Argenta et al. (2001) citaram níveis críticos do índice de clorofila em arroz, acima de 40-42, enquanto Pit (2007) encontrou as maiores produtividades com índice de

36 e relata que maiores leituras no clorofilômetro não refletem diretamente em maiores produtividades de grãos. Neste estudo, mesmo as leituras do ambiente de baixo N estando bem acima dos níveis críticos encontrados por outros autores, ainda houve aumento do índice de clorofila com a adição de N ao ambiente. É necessário ressaltar que todos estes estudos foram feitos utilizando-se o clorofilômetro modelo Minolta SPAD-502, o qual lê apenas dois comprimentos de onda, sendo eles 650 nm e 940 nm, um para leituras dos teores de clorofila e outro como referência interna para compensar diferenças na espessura ou no conteúdo de água da folha, enquanto o clorofilômetro ClorofiLOG CFL 1030 lê três comprimentos de onda, 635 e 660 nm, um para cada tipo de clorofila, b e a respectivamente, e um outro de 880 nm para compensação.

Segundo a metodologia de Fageria & Kluthcouski (1980), foram classificadas como eficientes no uso de nitrogênio as cultivares BRS-Primavera, BRSMG-Conai e BRS-Bonança (Figura 2), que obtiveram produtividades acima da média geral do ambiente de baixo N, mostrando-se mais adaptadas a condições de estresse nutricional de N. Cultivares eficientes no uso do nitrogênio, são indicadas para cultivos de baixa tecnologia, nos quais os produtores não utilizam grandes doses de adubação nitrogenada, em função do alto custo deste nutriente.

As únicas cultivares classificadas como responsivas, por esta metodologia, foram as cultivares BRS-Primavera e BRSMG-Conai, que apresentaram índices de resposta de 1,49 e 1,02, respectivamente, o que significa que para cada kg de nitrogênio adicionado ao ambiente, houve um aumento de produtividade igual ao índice de resposta. Freitas et al. (2007) avaliaram a resposta ao nitrogênio de três cultivares de arroz irrigado e constataram que existem diferenças quanto à resposta à aplicação para a característica produção de grãos, que variou entre 9,6 e 16,1 kg de grãos por kg de N aplicado. Os resultados obtidos no presente experimento são bem inferiores, sendo justificados pelo estresse hídrico, além do ecossistema diferenciado, em que menores respostas à aplicação de N em terras altas já são esperadas quando comparadas com a várzea. Cultivares com altos índices de

resposta são indicadas para produtores de alta tecnologia, que utilizam altas adubações.

No primeiro quadrante da Figura 2 encontram-se as cultivares eficientes e responsivas (ER) que foram BRS-Primavera e BRSMG-Conai. As cultivares ER são as mais indicadas, pois são superiores às demais para cultivo que utilizam alta ou baixa adubação nitrogenada, propiciando maior retorno econômico em ambas as condições (Fageria et al. 2007a).

Não foram identificadas cultivares não eficientes e não responsivas (NER), as quais seriam indicadas apenas a cultivos de alta tecnologia.

As cultivares BRS-Caiapó, BRS-Sertaneja e BRSMG-Curinga foram classificadas como não eficientes e não responsivas (NENR) (Figura 2), e não são recomendadas para o cultivo, independentemente do nível tecnológico a ser

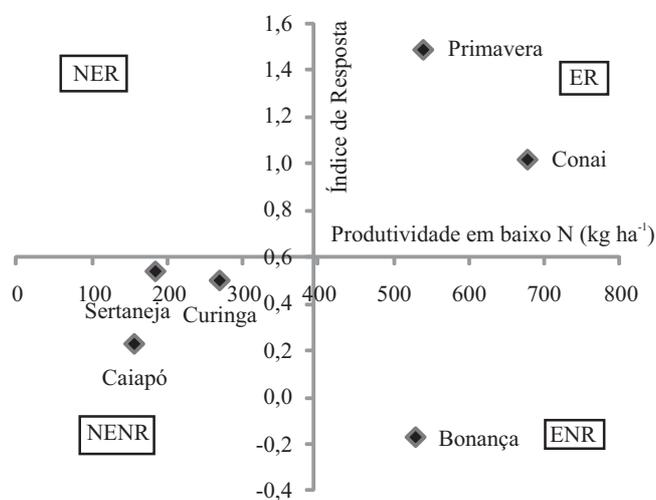


Figura 2. Eficiência no uso e resposta à aplicação de nitrogênio em cultivares de arroz, pela metodologia de Fageria e Kluthcouski (1980).

Figure 2. Efficiency in the use and response to nitrogen application in rice cultivars, by Fageria and Kluthcouski's (1980) methodology

Tabela 4. Médias das características índice de clorofila a (Cl a), índice de clorofila b (Cl b), relação entre índices de clorofilas a e b (Cl a/Cl b), e índice total de clorofila (Cl Total), em baixa e alta dose de nitrogênio, para cultivares de arroz de terras altas na região sul do Estado do Tocantins, Gurupi, TO, safra 2009/2010

Table 4. Means of the characteristics chlorophyll a index (Cl a), chlorophyll b index (Cl b), ratio between chlorophyll a and b indexes (Cl a/Cl b), and total chlorophyll index (Cl Total), in low and high nitrogen levels of upland rice cultivars in the southern region of the State of Tocantins, Gurupi, Tocantins, Brazil, 2009/2010 harvest

Cultivares	Cl a (ICF)			Cl b (ICF)			Cl a/Cl b (ICF)			Cl Total (ICF)		
	Alto	Baixo	Média	Alto	Baixo	Média	Alto	Baixo	Média	Alto	Baixo	Média
BRS-Primavera	40,8	39,4	40,1 a	15,9	14,3	15,1 a	2,6	2,8	2,7 b	56,7	53,7	55,2 a
BRS-Bonança	38,5	38,3	38,4 ab	13,4	14	13,7 ab	2,9	2,8	2,8 ab	51,9	52,3	52,1 ab
BRSMG-Conai	37,2	36,6	36,9 ab	12,8	12,7	12,8 bc	2,9	2,9	2,9 ab	49,9	49,4	49,6 b
BRSMG-Curinga	36,1	35,2	35,6 b	12,8	12,1	12,4 bc	2,8	2,9	2,9 ab	48,9	47,3	48,1 b
BRS-Caiapó	37,5	35,2	36,4 b	12,3	11,2	11,8 bc	3,1	3,2	3,1 a	49,8	46,5	48,1 b
BRS-Sertaneja	36,6	34,7	35,6 b	12,6	10,5	11,6 c	3	3,4	3,2 a	49,2	45,2	47,2 b
Média geral	37,8A	36,6A	37,2	13,3A	12,5B	12,9	2,9A	3,0A	2,9	50,1A	49,1B	50,1

Letras iguais minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey $p < 0,05$

utilizado, pois não produzem satisfatoriamente quando cultivadas em estresse mineral e também não respondem à adição do nutriente no solo.

A metodologia classificou a cultivar BRS-Bonança como eficiente e não responsiva (ENR) à adubação nitrogenada (Figura 2). Neste quadrante, classificam-se as cultivares que possuem alta eficiência na utilização do nitrogênio disponível no solo em baixas quantidades, porém não respondem ao aumento do nível do nutriente mineral aplicado no solo, sendo recomendadas para produtores que utilizam baixa ou nenhuma adubação nitrogenada.

CONCLUSÕES

As cultivares BRS-Primavera e BRSMG-Conai são eficientes e responsivas à adubação de N, sendo, portanto, indicadas para cultivo em qualquer nível de adubação no Sul do estado do Tocantins.

As cultivares BRS-Sertaneja, BRS-Caiapó e BRSMG-Curinga não são adequadas para cultivo nas condições edafoclimáticas do Sul do estado do Tocantins.

As maiores produtividades estão relacionadas aos maiores índices de clorofila e às menores relações entre clorofilas a e b.

LITERATURA CITADA

- Argenta, G.; Silva, P.R.F.D.; Bortolini, C.G. Clorofila na folha como indicador do nível de nitrogênio em cereais. *Ciência Rural*, v.31, n.4, p.715-722, 2001. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782001000400027>
- Barbieri Junior, E. Características estruturais, teores de clorofila e suas relações com o nitrogênio foliar e a biomassa em capim-Tifton 85. Seropédica, RJ: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2009. 49 p. Dissertação Mestrado.
- Barbosa Filho, M.P.; Cobucci, T.; Fageria, N.K.; Mendes, P.N. Determinação da necessidade de adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro irrigado com auxílio do clorofilômetro portátil. *Ciência Rural*, v.38, n.7, p.1843-1848, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782008000700007>
- Blum, A. *Plant breeding for stress environments*. Boca Raton: CRC Press, 1988. 232p.
- Borrmann, D. Efeito do déficit hídrico em características químicas e bioquímicas da soja e na degradação da clorofila, com ênfase na formação de metabólitos incolores. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2009. 107p. Tese Doutorado.
- Breseghele, F.; Morais, O.P.D.; Castro, E.D.M. Cultivo do arroz de Terras Altas no Estado de Mato Grosso. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 161p. (Sistemas de Produção, 7).
- Dawson, J.C. Huggins, D.R.; Jones, S.S. Characterizing nitrogen use efficiency in natural and agricultural ecosystems to improve the performance of cereal crops in low-input and organic agricultural systems. *Field Crops Research*, v.107, n.2, p.89-101, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2008.01.001>
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. Informações técnicas para a cultura do arroz irrigado no Estado do Tocantins : safra 2008/2009. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2008. 136 p. (Documento, 227).
- Fageria, N.D; Kluthcouski, J. Metodologia para avaliação de cultivares de arroz e feijão para condições adversas de solo. Brasília: Embrapa/CNPAF, 1980. 22p. (Circular Técnica, 8).
- Fageria, N.K.; Santos, A.B.; Cutrim, V.A. Eficiência de uso de nitrogênio por genótipos de arroz irrigado. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2007a. 3p. (Comunicado Técnico, 135).
- Fageria, N.K.; Santos, A.B.; Cutrim, V.A.; Produtividade de arroz irrigado e eficiência de uso do nitrogênio influenciadas pela fertilização nitrogenada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.42, n.7, p.1029-1034, 2007b. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007000700016>
- Fageria, N.K.; Santos, A.B.; Stone, L.F. Manejo de nitrogênio em arroz irrigado. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 4p. (Circular Técnica, 58).
- Falqueto, A.R.; Cassol, D.; Magalhães Junior, A.M.; Oliveira, A.C.; Bacarim, M.A.; Características da fluorescência da clorofila em cultivares de arroz com ciclo precoce, médio e tardio. *Revista Brasileira de Biociências*, v.5, n.2, p.579-581, 2007.
- Fidelis, R.R.; Miranda, G.V.; Erasmo, E.A.L. Seleção de populações base de milho sob alta e baixa dose de fósforo em solo de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.39, n.4, p.285-293, 2009.
- Freitas, J.G.; Cantarella, H.; Salmon, M.V.; Malavolta, V.M.A.; Castro, L.H.S.M.; Gallo, P.B.; Azzini, L.E. Produtividade de cultivares de arroz irrigado resultante da aplicação de doses de nitrogênio. *Bragantia*, v.66, n.2, p.317-325, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052007000200016>
- Gama, E.E.G.; Marriel, I.E.; Guimarães, P.E.O.; Parentoni, S.N.; Santos, M.X.; Pacheco, C.A.P.; Meireles, W.F.; Ribeiro, P.H.E.; Oliveira, A.C. Combining ability for nitrogen use in a selected set of inbred lines from a tropical maize population. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.1, n.3, p. 68-77, 2002.
- Heinemann, A.B. Caracterização dos padrões de estresse hídrico para a cultura do arroz (ciclo curto e médio) no estado de Goiás e suas consequências para o melhoramento genético. *Ciência e Agrotecnologia*, v.34, n.1, p.29-36, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542010000100003>
- Kerbaudy, G. B. *Fisiologia Vegetal*. São Paulo: Guanabara Koogan, 2004. 452p.
- Kischel, E.; Fidelis, R.R.; Santos, M.M. dos; Brandão, D.R.; Cancellier, E.L.; Nascimento, I.R. do. Efeito do nitrogênio em genótipos de arroz cultivados em várzea úmida do Estado do Tocantins. *Revista Ceres*, v.58, n.1, p.84-89, 2011.
- Pit, L.L.; Silva, L.S.; Pocojeski, E.; Graupe, F.A.; Rossi, J.B. Adubação nitrogenada na cultura do arroz irrigado por alagamento monitorada pelo clorofilômetro. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 31., 2007, Gramado. Anais... Gramado: SBCS, 2007. CD Rom.
- Pocojeski, E. Estimativa do estado nutricional de arroz irrigado por alagamento. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2007. 97p. Dissertação Mestrado.
- Secretaria da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Estado do Tocantins - Seagro. Evolução da Produção do Arroz. <http://central2.to.gov.br/arquivo/14/100>. 01 jun. 2010.
- Taiz, L.; Zeiger, E. *Fisiologia Vegetal*. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 721p.