

CIRCULAR TÉCNICA

196

Pelotas, RS
Dezembro, 2018

Eficiência Agronômica de Novos Fertilizantes Nitrogenados na Cultura de Arroz Irrigado

Walkyria Bueno Scivittaro
Thaís Antolini Veçozzi
Thaís Murias Jardim
Anderson Dias Silveira
José Maria Barbat Parfitt
Rute Caroline Becker Treptow
Cristina Moreira da Silveira
Rogério Oliveira de Sousa



Eficiência Agronômica de Novos Fertilizantes Nitrogenados na Cultura de Arroz Irrigado¹

A atividade agrícola gera alimentos e matérias-primas fundamentais à humanidade, mas se depara com importantes desafios, com destaque para o atendimento das demandas da crescente população, sobrecarregando a produção agrícola, que precisa ser aprimorada a partir dos mesmos e limitados recursos: solo e água. Em decorrência, o uso de fertilizantes tem aumentado significativamente, visando elevar o rendimento das culturas.

O uso crescente e indiscriminado de fertilizantes na agricultura afeta a qualidade do solo e, devido à elevada solubilidade das fontes utilizadas, proporciona, também, perdas elevadas de nutrientes, reduzindo sua contribuição para a produção vegetal e agravando questões ambientais (Trenkel, 2010). O desperdício de fertilizantes resulta, ainda, em importantes perdas econômicas. Conjuntamente, esses aspectos refletem-se negativamente sobre a sociedade como um todo, sendo alvo de preocupação tanto de países desenvolvidos, que têm buscado atingir sustentabilidade, quanto daqueles em desenvolvimento, que estão se esforçando para ser produtivos (Lateef et al., 2016).

O Brasil figura entre os principais consumidores mundiais de fertilizantes. Nas duas últimas décadas, a quantidade de fertilizantes NPK consumida no País cresceu exponencialmente a uma taxa geométrica de 5,8% (Anda, 2013). Destaca-se que, das cerca de 35 milhões de toneladas de fertilizantes consumidos anualmente, mais de 75% são importados (GlobalFert, 2017), fato que posiciona o Brasil em uma situação frágil de dependência da importação

¹ Walkyria Bueno Scivittar, engenheira-agrônoma, doutora em Ciências, pesquisadora da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS; Thaís Antolini Veçozzi, gestora ambiental, mestre em Agronomia, doutoranda em Manejo e Conservação do Solo e da Água, bolsista da Embrapa/Capes, Pelotas, RS; Thaís Murias Jardim, graduanda em Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, bolsista Pibic do CNPq, Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS; Anderson Dias Silveira, engenheiro-agrônomo, doutoranda Manejo e Conservação do Solo e da Água, bolsista da Embrapa/Capes, Pelotas, RS; José Maria Barbat Parfitt, engenheiro agrícola, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS; Rute Caroline Becker Treptow, graduanda em Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, bolsista Pibic do CNPq, Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS; Cristina Moreira da Silveira, química, mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos, analista da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS; Rogério Oliveira de Sousa, engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, professor da Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS.

desses insumos. Além disso, parte considerável dos nutrientes aplicados via fertilizantes não é aproveitada pelas culturas, indicando baixa eficiência no uso desses insumos, risco de poluição ambiental e a necessidade de melhorias no manejo.

O cenário descrito cria uma clara oportunidade de inovação tecnológica para o setor de fertilizantes que, nos últimos anos, tem investido em tecnologias, as quais, agregadas aos fertilizantes convencionais, visam aumentar sua eficiência. Há diferentes produtos já sendo comercializados no Brasil, além de pesquisas em desenvolvimento, e a tendência é de aumento na oferta de novos fertilizantes, sobretudo nitrogenados, com características de eficiência aumentada. As possibilidades disponíveis incluem fertilizantes de liberação controlada e lenta, bem como fertilizantes granulados ou pastilhados mistos ou multinutrientes.

Como forma de uniformizar a denominação desses fertilizantes, a Associação Americana de Agentes para o Controle de Nutrientes de Plantas (AAPFCO, sigla em inglês) adotou o termo *enhanced-efficiency fertilizers* – fertilizantes de eficiência aumentada, para denominar os fertilizantes com produtos químicos e físicos adicionados aos grânulos (Timilsena et al., 2015). Esses fertilizantes caracterizam-se por agregarem tecnologias para melhorar a eficiência no uso do nitrogênio (N) pelas plantas, reduzir as perdas do nutriente e as operações de aplicação do fertilizante, melhorar a disponibilização às plantas e, conseqüentemente, aumentar a produtividade das culturas (Trenkel, 2010; Fan; Mylavarapu, 2010; Timilsena et al., 2015).

Os fertilizantes de eficiência aumentada podem ser classificados em fertilizantes estabilizados e de liberação lenta ou controlada (Timilsena et al., 2015; Guelfi, 2017). Os fertilizantes estabilizados são geralmente solúveis em água e recobertos com aditivos que têm a capacidade de alterar ou inibir os processos enzimáticos e microbianos do solo, como os fertilizantes estabilizados com inibidores de urease e/ou de nitrificação (Trenkel, 2010). Os inibidores de urease são compostos ou recobrimentos adicionados ao fertilizante convencional, visando diminuir a atividade da enzima urease, retardando a hidrólise da ureia, principal fonte mineral de N na atualidade. O inibidor NBPT [N-(n-butil) triamida tiofosfórica] é um dos produtos mais eficazes para retardar a ação da urease no solo. Além do NBPT, os aditivos químicos hidroquinona, cobre, boro e enxofre figuram como principais moléculas/ ele-

mentos utilizados na estabilização do N por meio da inibição da atividade da urease no solo (Guelfi, 2017). Por sua vez, os inibidores de nitrificação são aditivos químicos utilizados na formulação de fertilizantes nitrogenados, que têm a capacidade de retardar a conversão do amônio (NH_4^+) em nitrito (NO_2^-), inibindo temporariamente a atividade de bactérias nitrosomonas envolvidas no processo de nitrificação, etapa intermediária do processo de nitrificação (Trenkel, 2010). Os principais compostos químicos utilizados como inibidores de nitrificação adicionados aos fertilizantes são o DMPP (fosfato de 3,4-dimetilpirazol), DCD (dicianodiamida), tiosulfato de amônio e nitrapirin (2-cloro-6-piridina) (Guelfi, 2017).

Recentemente, outro tipo de fertilizante nitrogenado com capacidade inibidora de nitrificação foi desenvolvido a partir da combinação da ureia ao mineral zeólita, podendo ser formulado com zeólitas naturais em sua composição ou por meio do recobrimento da superfície dos grânulos de ureia (Werneck et al., 2012). A zeólita é um aluminossilicato que apresenta elevada área superficial e capacidade de troca de cátions, podendo reter cátions trocáveis, como o NH_4^+ (Yamamoto, 2014). Assim, a adição de zeólita à ureia diminui a concentração do NH_4^+ na solução do solo e evita sua conversão em nitrato (NO_3^-), permanecendo em uma forma mais estável no solo.

Por sua vez, os fertilizantes de liberação controlada (FLC) são fertilizantes minerais convencionais recobertos ou encapsulados por polímeros orgânicos termoplásticos ou resinas, ou ainda por materiais inorgânicos, como o enxofre elementar (Shaviv, 2005). Em função de apresentarem recobrimento físico, os FLC são formulados para serem menos suscetíveis a variações em atributos do solo, como pH, temperatura, salinidade e potencial redox (Eh), bem como à atividade microbiana (Trenkel, 2010). No entanto, a taxa de liberação do N do interior dos grânulos depende do material, espessura e qualidade do revestimento e da umidade do solo, uma vez que a liberação do N se dá pela penetração de água no interior do grânulo, com aumento da pressão osmótica e posterior difusão do N para solo pelos poros do revestimento (Timilsena et al., 2015; Guelfi, 2017).

A princípio, os adubos nitrogenados de liberação controlada devem permitir a liberação do nutriente no solo de forma sincronizada com a demanda das culturas, evitando, assim, concentrações elevadas de N no solo e reduzindo a formação de óxido nitroso (N_2O) (Timilsena et al., 2015). Assim, os benefícios

advindos do uso dos fertilizantes de liberação controlada estão vinculados a aspectos agronômicos e ambientais (Shaviv, 2000).

O arroz irrigado é uma das culturas agrícolas com maior potencial de utilização dos fertilizantes de eficiência aumentada, considerando o elevado potencial de perdas de N da cultura, associado ao complexo e dinâmico sistema de solo inundado onde é produzido.

Na região Sul do Brasil, principal produtora de arroz do País, o setor produtivo mostra-se bastante receptivo à introdução de novas tecnologias à lavoura, que vêm sendo supridas pela oferta massiva de novos fertilizantes, muitos dos quais sem a comprovação científica de sua real eficácia e impacto ao meio ambiente. Esse fato pode levar ao descrédito do setor produtivo, prejudicando que tecnologias inovadoras e eficientes sejam utilizadas como alternativas no suprimento de nutrientes ao setor produtivo. Nesse contexto, a Embrapa tem o papel fundamental de gerar informações e orientar o setor produtivo na tomada de decisão, indicando as condições edafoclimáticas, sistemas de produção e práticas de manejo que promovam o melhor desempenho dessas tecnologias, em comparação com os fertilizantes convencionais disponíveis no mercado.

Há alguns anos, a Embrapa Clima Temperado vem realizando estudos para avaliar novas fontes de nitrogênio (fertilizantes de eficiência aumentada) para a cultura do arroz irrigado nas condições de cultivo do Sul do Brasil, estabelecendo sua eficiência agronômica, bem como indicações de condições de uso.

Esta publicação contém a síntese dos resultados de pesquisa relativos à avaliação do desempenho e viabilidade técnica do uso de fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada na cultura de arroz irrigado nas condições de cultivo da região Sul do Brasil.

Material e Métodos

O experimento foi desenvolvido sob condições de campo nas safras agrícolas 2015/2016 e 2016/2017, em Planossolo Háplico Eutrófico típico (Cunha; Costa, 2013), na Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, em Capão do Leão, RS. Em ambas as safras, anteriormente à

implantação do experimento, procedeu-se à amostragem do solo das áreas experimentais, para avaliação da fertilidade do solo.

Os resultados da análise química do solo (camada de 0-20 cm de profundidade) das áreas experimentais na primeira e segunda safras são apresentados na Tabela 1. A interpretação dos resultados revela teor baixo de matéria orgânica (M.O.) e alto de fósforo disponível (P), em ambas as safras, e teor médio e baixo de potássio extraível (K), nas safras 2015/2016 e 2016/2017, respectivamente.

Tabela 1. Resultados da análise química de solo¹ das áreas experimentais nas safras 2015/2016 e 2016/2017.

Safra	pH água	Índice SMP	M.O.	P	K	Ca+Mg	Al	Argila
			g dm ⁻³	mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³		g dm ⁻³
2015/2016	5,6	6,2	2,2	14,3	43	3,2	0,0	15
2016/2017	5,6	6,5	1,1	78	32	1,8	0,0	15

¹Tedesco et al. (1995).

A recomendação de adubação para o arroz foi estabelecida com base nos resultados da análise de solo e considerando uma expectativa alta de resposta da cultura à adubação (Reunião..., 2014, 2016). Na semeadura, aplicaram-se 300 e 350 kg ha⁻¹ da formulação 5-25-25, nas safras 2015/2016 e 2016/2017, respectivamente. Esse fertilizante foi aplicado de forma localizada no sulco de semeadura do arroz. Em ambas as safras, complementou-se a adubação potássica, com a aplicação do nutriente em cobertura em R0 (15 kg ha⁻¹ de K₂O, como cloreto de potássio).

Em ambas as safras, os tratamentos compreenderam associações de fontes (ureia comum granulada (45% N), ureia pastilhada com 5% de zeólita (44,45% N); ureia pastilhada com 10% de zeólita (42,5% N), ureia pastilhada com 15% de zeólita (40,4% N); Nitro Mais® (44% N), Nitro Gold® (37% N e 16% S)) e doses de nitrogênio para o arroz irrigado (0; 0,5 1,0 e 1,5 vez a dose recomendada de N para o arroz – 120 kg ha⁻¹ de N). As ureias pasti-

lhadas com zeólita são fertilizantes experimentais, constituídos por misturas solidificadas de ureia e zeólita, homogêneas em nível de grânulo, com formato de calota torisférica. As fontes Nitro Mais® e Nitro Gold® são comerciais, pertencentes à empresa Fertilizantes Heringer. O Nitro Mais® é uma ureia revestida com 0,15% Cu e 0,4% B (100% solúveis), visando evitar perdas de N por volatilização de amônia, e o Nitro Gold® é uma ureia revestida com enxofre elementar (16% de S). Com exceção das fontes Nitro Mais® e Nitro Gold®, que foram testados apenas na dose recomendada de nitrogênio (DRN) para a cultura (120 kg ha⁻¹ de N), estabelecida a partir dos resultados da análise química do solo e considerando expectativa alta de resposta do arroz irrigado à adubação (Reunião..., 2014; 2016), os demais fertilizantes foram avaliados também em doses correspondentes a 50% e 150% da dose recomendada de nitrogênio (DRN), ou seja, 60 e 180 kg ha⁻¹ de N. Como tratamento adicional, uma testemunha com omissão da adubação nitrogenada em cobertura. Os tratamentos foram dispostos em delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições. As unidades experimentais apresentaram as seguintes dimensões: 3,6 m x 6,0 m, sendo individualizadas por taipas, para evitar a contaminação entre os tratamentos.

As fontes de nitrogênio em avaliação foram aplicadas em cobertura, parceladas em duas aplicações iguais nos estádios de quatro folhas (V4) e iniciação da panícula (R0). Independentemente da dose N, deduziu-se da dose de N em cobertura a quantidade do nutriente fornecida pela adubação básica de semeadura. A primeira cobertura com N foi realizada em solo seco, com três dias de antecedência do início da irrigação por inundação do solo, de forma a possibilitar que as fontes de N de eficiência aumentada pudessem expressar seu potencial em reduzir perdas de N. Já a segunda cobertura com N foi feita sobre uma lâmina de água não circulante. Em ambas as safras, a primeira cobertura com N foi realizada com solo bastante úmido (próximo à saturação), devido à ocorrência de chuva intensa no período imediatamente anterior à aplicação dos fertilizantes nitrogenados.

Nas duas safras avaliadas, semeou-se o arroz cultivar Puitá INTA CL em sistema convencional de cultivo, adotando-se espaçamento entre linhas de 20 cm e densidade de semeadura de 100 kg ha⁻¹, na safra 2015/2016, e de 110 kg ha⁻¹, na safra 2016/2017. Para o acompanhamento dos estádios de desenvolvimento da planta de arroz, utilizou-se, como referência, a escala de

Counce et al. (2000). O controle de plantas daninhas e demais tratamentos culturais seguiram as indicações técnicas da pesquisa para a cultura (Reunião..., 2014; 2016).

A avaliação dos tratamentos incluiu avaliações do nível de N na planta de arroz, estatura de plantas, produtividade de grãos, produção de matéria seca e quantidade de N acumulada na parte aérea das plantas de arroz e eficiência de uso do N dos fertilizantes nitrogenados.

O nível de N na planta de arroz foi avaliado pelas variáveis teor de N e índice relativo de clorofila na folha bandeira, amostrada por ocasião do florescimento pleno (mais de 50% das plantas no estágio R4 – antese). A determinação do teor de N na folha foi realizada seguindo método descrito em Freire (2001), utilizando-se amostra constituída pela folha bandeira de 48 plantas coletadas ao acaso de cada parcela experimental. O índice relativo de clorofila foi medido com clorofilômetro SPAD 502 – Minolta na folha bandeira de 20 plantas de cada unidade experimental. Na maturação de colheita, avaliou-se, em cada parcela experimental, a estatura de 20 plantas e a coleta da parte aérea das plantas de arroz estabelecidas em duas linhas de 0,5 m de comprimento, para determinação da produção de matéria seca (colmos, folhas e grãos). O material vegetal colhido foi seco em estufa até massa constante, pesado, moído e submetido a análise química para determinação do teor de N no tecido vegetal. Com base nos dados de produção de matéria seca da parte aérea e de concentração de N no tecido vegetal, determinou-se a quantidade de N acumulado na parte aérea das plantas de arroz.

Também na maturação de colheita (estádio R9), procedeu-se à colheita do arroz, para avaliação da produtividade de grãos (oito linhas de plantas com 4 m de comprimento), cujos resultados foram convertidos para 130 g kg^{-1} de umidade. A partir dos dados de N acumulado nas plantas de arroz, determinou-se a eficiência de uso de N das fontes nitrogenadas, considerando-se a dose recomendada de N para a cultura (120 kg ha^{-1} de N).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e, quando significativa, compararam-se as médias dos tratamentos de manejo da adubação nitrogenada pelo teste de Tukey em nível de 5%.

Resultados e Discussão

Em ambas as safras, determinou-se efeito do manejo da adubação nitrogenada (fontes e doses de N) sobre o nível de nitrogênio nas plantas de arroz (Tabela 2). De forma geral, os teores de N na folha do arroz aumentaram proporcionalmente à dose do nutriente utilizada, demonstrando a sensibilidade desse parâmetro à variação na disponibilidade do nutriente no sistema solo-planta e refletindo a resposta da planta à adubação nitrogenada. Esse efeito foi bem claro na safra 2015/2016. Na safra seguinte, porém, para todas as fontes de N, o uso da maior dose de N (180 kg ha^{-1}) proporcionou ligeiro decréscimo nos teores foliares de N, relativamente à dose de 120 kg ha^{-1} de N, o que é indicativo da ocorrência de efeito de diluição, ou seja, o aumento na dose de N favoreceu o crescimento das plantas de arroz, diluindo a concentração do nutriente no tecido vegetal (Fontes, 2001). Com relação à comparação entre fontes de N, vale destacar, que, em ambas as safras, o tratamento com uso do fertilizante nitrogenado de eficiência melhorada Nitro Mais®, que é uma ureia revestida com cobre e boro, proporcionou maior teor absoluto de N no tecido vegetal, sugerindo apresentar um diferencial positivo quanto ao fornecimento de N para o arroz irrigado, possivelmente relacionado à redução nas perdas de N do sistema solo-planta. As fontes contendo zeólita, assim como Nitro Gold®, apresentaram desempenho estatisticamente semelhante ao da ureia comum, muito embora se observe tendência de aumento no teor de N no tecido foliar quando do uso das fontes contendo o mineral zeólita em sua composição ou revestida com enxofre (Nitro Mais®). Em razão da área superficial e capacidade de troca de cátions elevadas, a zeólita pode reter cátions, como o NH_4^+ (Yamamoto, 2014) liberado pela hidrólise da ureia, evitando sua oxidação a NO_3^- , permanecendo em forma mais estável no solo e acessível às plantas de arroz.

Também a variável índice relativo de clorofila na folha (IRC) mostrou-se sensível ao manejo da adubação nitrogenada, particularmente pelas variações nas doses de N. As variações observadas foram ainda mais intensas que as determinadas para o teor foliar de N; de forma geral, os valores medidos aumentaram com a dose de N fornecida ao arroz. Na comparação entre fontes, considerando-se a dose recomendada de N para o arroz, verifica-se semelhança entre os fertilizantes de eficiência aumentada e a ureia comum, exceção feita para o Nitro Mais® que, na safra 2015/2016, proporcionou menor índice IRC que as demais fontes. A equiparação no desempenho da ureia comum em relação ao de ureias acrescidas de zeólita sobre o índice SPAD

confirma dados de Manikandan e Subramanian (2016), obtidos com a cultura do milho.

O índice relativo de clorofila (IRC) correlaciona-se fortemente com a concentração de nitrogênio na folha, (Schadchina; Dmitrieva, 1995). Essa relação é atribuída, principalmente, ao fato de 50% a 70% do N total das folhas ser integrante de enzimas associadas aos cloroplastos (Chapman; Barreto, 1997). Esse índice tem a vantagem de não ser influenciado pelo consumo de luxo de N pela planta (Blackmer; Schepers, 1995). A baixa sensibilidade do medidor de clorofila ao consumo de luxo de N pelas plantas é atribuída à forma com que esse nutriente se encontra na folha. Quando absorvido em excesso, acumula-se como nitrato. Nessa forma, o N não se associa à molécula de clorofila, não sendo quantificado pelo medidor de clorofila.

Os resultados obtidos no presente estudo indicam a possibilidade de uso da variável IRC para se estimar o nível de N na planta de arroz, possibilitando estabelecer a adequação do manejo da adubação para a cultura.

Tabela 2. Teor de nitrogênio (N) e índice relativo de clorofila (IRC) na folha bandeira do arroz por ocasião da floração, em função de fontes e doses de nitrogênio. Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS, safras 2015/2016 e 2016/2017.

Fonte/Dose N ¹	Safrá 2015/2016		Safrá 2016/2017	
	Teor de N (%)	IRC	Teor de N (%)	IRC
Testemunha	2,14 c	32,5 de	2,44 bc	32,9 bcde
Ureia 60	2,45 bc	33,4 cde	2,28 c	31,9 def
Ureia 120	2,46 bc	34,4 abcde	2,60 ab	34,3 ab
Ureia 180	2,75 abc	36,5 a	2,52 ab	34,1 abcd
Ureia 5% zeólita/60	2,59 bc	33,1 cde	2,28 c	31,0 ef
Ureia 5% zeólita/120	2,60 bc	36,2 ab	2,53 ab	35,3 a
Ureia 5% zeólita/180	2,65 bc	34,4 abcde	2,28 c	33,9 abcd
Ureia 10% zeólita/60	2,39 bc	34,8 abcde	2,18 c	32,0 cdef
Ureia 10% zeólita/120	2,52 bc	35,0 abc	2,54 ab	35,2 a
Ureia 10% zeólita/180	2,68 bc	34,7 abcde	2,57 ab	34,9 ab
Ureia 15% zeólita/60	2,48 bc	34,6 abcde	2,22 c	30,5 f
Ureia 15% zeólita/120	2,72 abc	34,9 abcd	2,45 bc	34,2 abc
Ureia 15% zeólita/180	2,83 ab	36,5 a	2,41 bc	35,0 ab
Nitro Mais®/120	3,31 a	32,4 e	2,69 a	34,5 ab
Nitro Gold®/120	2,70 abc	33,8 bcde	2,57 ab	35,4 a
CV (%)	9,2	2,8	5,5	2,7

¹Dose de N expressa em kg ha⁻¹.

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Também a variável estatura de planta foi significativamente influenciada pela variação nas fontes e doses de nitrogênio aplicadas ao arroz (Tabela 3). As maiores diferenças entre os tratamentos estiveram associadas à dose de N fornecida à cultura, sendo que a omissão da adubação nitrogenada, bem como o uso de metade da dose recomendada de N para a cultura comprometeram, de certa forma, seu crescimento e, portanto, a estatura das plantas. De outra forma, o uso de dose correspondente a 1,5 vezes a recomendada para a arroz (180 kg ha^{-1} de N) pouco acrescentou em termos desenvolvimento da planta de arroz, independentemente da fonte de N utilizada (Tabela 3). A estatura de planta é considerada uma variável indicadora do crescimento das plantas, sendo normalmente sensível à adubação nitrogenada (Manikandan; Subramanian, 2016).

Tabela 3. Estatura de planta e produtividade de grãos de arroz em função de fontes e doses de nitrogênio. Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS, safras 2015/2016 e 2016/2017.

Fonte/Dose N ¹	Safrá 2015/2016		Safrá 2016/2017	
	Estatura (cm)	Produtividade (kg ha ⁻¹)	Estatura (cm)	Produtividade (kg ha ⁻¹)
Testemunha	69,0 b	6488 c	68,4 bc	6397 g
Ureia 60	76,0 ab	8339 abc	72,5 abc	9726 a
Ureia 120	78,7 a	8571 abc	78,8 ab	8923 abcd
Ureia 180	77,8 ab	8976 abc	79,8 a	9833 a
Ureia 5% zeólita/60	69,2 b	8382 abc	71,5 abc	9494 ab
Ureia 5% zeólita/120	76,7 ab	10531 a	78,3 ab	9153 abc
Ureia 5% zeólita/180	75,8 ab	8181 abc	76,0 ab	8856 abcde
Ureia 10% zeólita/60	75,2 ab	8047 abc	72,8 abc	7785 ef
Ureia 10% zeólita/120	76,0 ab	9852 ab	76,5 ab	8160 cdef
Ureia 10% zeólita/180	78,1 a	8526 abc	72,3 abc	9118 abc
Ureia 15% zeólita/60	76,5 ab	7128 bc	64,9 c	7199 fg
Ureia 15% zeólita/120	77,2 ab	9261 abc	76,7 ab	7752 ef
Ureia 15% zeólita/180	76,9 ab	8602 abc	79,0 ab	7847 def
Nitro Mais®/120	75,7 ab	9248 abc	78,3 ab	8136 cdef
Nitro Gold®/120	77,4 ab	9664 ab	76,2 ab	8493 bcde
CV (%)	4,6	13,0	5,5	15,2

¹Dose de N expressa em kg ha⁻¹.

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Com relação à produtividade de grãos do arroz, o efeito da adubação nitrogenada foi bastante marcante em ambas as safras agrícolas. Mesmo a aplicação de metade da dose recomendada de N para a cultura (60 kg ha^{-1} de N) propiciou grande incremento na produtividade do arroz (Tabela 3). Esse resultado demonstra a importância do suprimento de nitrogênio para o desempenho produtivo do arroz (Snyder; Slaton, 2001). Na safra 2015/2016, o efeito do aumento na dose de N foi crescente para a ureia comum e combinada com zeólita (5% e 10%). Porém, o uso da dose recomendada de N para o arroz (120 kg ha^{-1} de N) proporcionou maior produtividade de grãos que a dose superior (180 kg ha^{-1} de N). De forma geral, os resultados obtidos indicam adequação da atual recomendação de adubação para o arroz irrigado no Sul do Brasil (Reunião..., 2016), garantindo rendimento satisfatório à cultura, não se justificando, portanto, o aumento na dose de N em relação à recomendação vigente, especialmente para cultivares de ciclo precoce, como a Puitá INTA CL, visto que cultivares precoces apresentam, em média, menor potencial de produtividade que as cultivares de ciclo médio ou longo. Na safra 2016/2017, quando o desempenho produtivo do arroz foi pouco menor que na safra anterior, destacou-se o efeito da ureia comum em relação às demais fontes de N, proporcionando maior produtividade de grãos, mesmo na dose de 60 kg ha^{-1} de N. Nessa safra, o desempenho das ureias misturadas com zeólita, especialmente nas duas maiores proporções desse mineral (10% e 15% de zeólita), foi inferior ao das demais fontes de N (Tabela 3). A adição de zeólita à ureia visa, basicamente, reduzir a conversão do amônio a nitrato (nitrificação) e, dessa forma, minimizar as perdas de N como óxido nitroso (N_2O), que é produto intermediário dos processos de nitrificação e desnitrificação (Reddy; Delaune, 2008). No entanto, como o potencial de perdas de N_2O da lavoura de arroz é reduzido sob cultivo irrigado por inundação contínua (Zschornack, 2011), o efeito desse aditivo é restringido nessa condição de cultivo.

Os resultados obtidos corroboram observações de Delgado e Mosier (1995), Alves et al. (2013) e Veçozzi et al. (2017), que constataram pequenas variações na produtividade de arroz irrigado adubado com ureia e fontes nitrogenadas de eficiência aumentada.

Em ambas as safras, a produção de matéria seca da parte aérea (colmos, folhas e grãos) foi favorecida pelo aporte de nitrogênio mineral, via adubação.

Nota-se grande variabilidade entre fontes e doses de N, mas de forma geral a acumulação de matéria seca na parte aérea foi proporcional à dose de nitrogênio fornecida à cultura (Tabela 4). Atribui-se esse comportamento ao fato de o nitrogênio ser um dos nutrientes minerais requeridos em maior quantidade pelas plantas e o que mais limita o crescimento, visto ser constituinte de proteínas, ácidos nucleicos e muitos outros componentes celulares, incluindo membranas e diversos hormônios vegetais (Souza; Fernandes, 2006). As eventuais variações entre fontes não apresentaram tendência definida, variando entre as doses avaliadas, devendo estar associadas na disponibilidade de N no meio de cultivo devido ao menor potencial de perdas das fontes de eficiência aumentada (Manikandan; Subramanian, 2016).

Veçozzi et al. (2017) também não determinaram diferença na produção de matéria seca de arroz ao compararem o uso de ureia comum com fertilizante de liberação controlada (ureia recoberta com polímero) em distintas formas de aplicação na cultura de arroz irrigado.

Acompanhando os resultados de produção de matéria seca, a acumulação de nitrogênio na parte aérea das plantas de arroz também foi favorecida pela adubação nitrogenada; os incrementos verificados foram, de maneira geral, proporcionais à dose de N aplicada (Tabela 4). Na comparação entre fontes, verifica-se tendência de aumento na acumulação de N nas plantas, associada ao uso de fontes de eficiência aumentada, em relação a ureia comum, possivelmente devido à redução de perdas do sistema solo-planta. É interessante notar, ainda, que a acumulação de N pelo arroz também foi considerável no tratamento testemunha com omissão da adubação nitrogenada em cobertura, indicando grande contribuição do meio de cultivo no fornecimento de nitrogênio para o arroz irrigado. Esses resultados indicam, ainda, a importância da fixação biológica de N, possivelmente associada a organismos de vida livre ou endobactérias, no fornecimento de N para o arroz, como já constatado para outras gramíneas (Spolaor et al., 2016).

Tabela 4. Produção de matéria seca dos colmos e folhas (MSCF), grãos (MSGr.) e parte aérea (MSPA) das plantas de arroz, em função de fontes e doses de nitrogênio. Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS, safra 2015/2016.

Fonte/Dose N ¹	Safrá 2015/2016		Safrá 2016/2017	
	MSPA (kg ha ⁻¹)	NPA (kg ha ⁻¹)	MSPA (kg ha ⁻¹)	NPA (kg ha ⁻¹)
Testemunha	11257 e	86,8 d	10502 f	79,3 d
Ureia 60	16363 abcde	121,9 bcd	14692 e	107,8 bcd
Ureia 120	18797 abc	141,6 bcd	18142 cd	148,6 ab
Ureia 180	19222 abc	165,9 ab	19934 abc	132,1 abc
Ureia 5% zeólita/60	13886 cde	97,0 d	15126 e	95,5 cd
Ureia 5% zeólita/120	15900 bcde	139,3 bcd	17787 d	140,5 ab
Ureia 5% zeólita/180	20281 ab	172,3 ab	18606 abcd	130,7 abc
Ureia 10% zeólita/60	12540 de	97,7 cd	14363 e	94,6 cd
Ureia 10% zeólita/120	17511 abcd	140,9 bcd	18728 abcd	143,7 ab
Ureia 10% zeólita/180	14968 bcde	126,4 bcd	18671 abcd	132,8 abc
Ureia 15% zeólita/60	17036 abcde	133,2 bcd	11056 f	78,1 d
Ureia 15% zeólita/120	18627 abcd	161,7 abc	17726 d	141,7 ab
Ureia 15% zeólita/180	22216 a	213,4 a	18257 bcd	156,7 a
Nitro Mais®/120	14438 bcde	128,3 bcd	19961 ab	153,6 a
Nitro Gold®/120	18392 abcd	140,4 bcd	20314 a	159,1 a
CV (%)	14,4	18,6	14,2	13,8

¹Dose de N expressa em kg ha⁻¹.

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Apenas na safra 2015/2016 houve diferença entre as fontes de nitrogênio quanto à eficiência de utilização de nitrogênio pelo arroz irrigado, destacando-se a ureia combinada com zeólita na proporção de 15%, que foi superior às demais fontes (solúvel – ureia comum e de eficiência aumentada), que não diferiram entre si (Figura 1a). Segundo Villarreal-Núñez (2015), a adição de 15 % de zeólita à ureia pode elevar a eficiência de uso de N por arroz de sequeiro, permitindo, após cultivos subsequentes, a redução da dose de N para a cultura. Na safra seguinte, não houve diferenças entre as fontes de N quanto à eficiência de uso de N pelo arroz irrigado (Figura 1b). A semelhança entre fontes nitrogenadas N solúvel e de eficiência aumentada foi observada anteriormente por Fageria et al. (2014), que estabeleceram eficiência agrônômica semelhante para ureia revestida com polímero e ureia comum em cultivos de arroz irrigado e de terras altas estabelecidos na região tropical do Brasil. Também Veçozzi et al. (2017) encontraram resultado semelhante, ao

compararem ureia comum e protegida por resina em cultivo de arroz irrigado no Sul do Brasil.

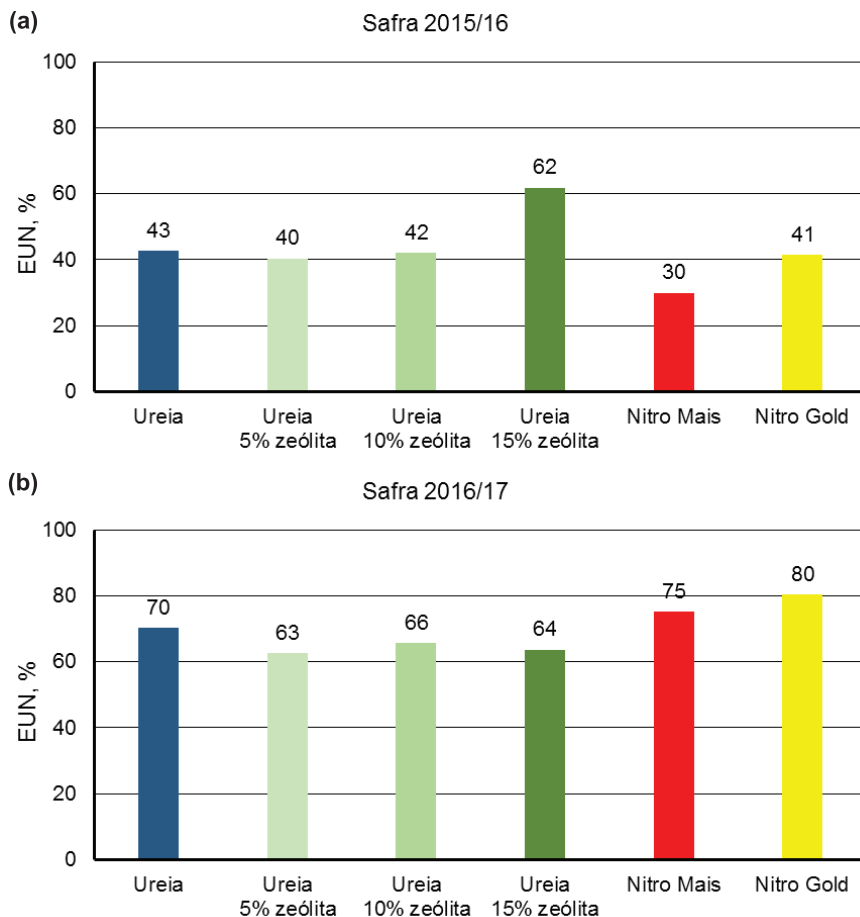


Figura 1. Eficiência de uso de nitrogênio de fertilizantes nitrogenados pelo cultura de arroz irrigado nas safras agrícolas 2015/2016 (a) e 2016/2017 (b). Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS.

Conclusões

A adubação nitrogenada com fonte solúvel e de eficiência aumentada otimiza o desempenho agrônômico e produtivo da cultura de arroz irrigado.

Independentemente da fonte de nitrogênio, a expectativa de resposta alta à adubação é obtida com a utilização das doses recomendadas do nutriente para a cultura de arroz irrigado.

A adição de zeólita à ureia, na proporção de 15%, proporciona aumento da eficiência de uso de N do fertilizante no cultivo de arroz irrigado.

Referências

ALVES, K. D.; SANTOS, A. B.; FAGERIA, N. K. Aplicação de nitrogênio em cobertura no arroz irrigado monitorada com o uso do sensor portátil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 8., 2013, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: SOSBAL, 2013. v. 2, p. 1284-1287.

ANDA (Associação Nacional para Difusão de Adubos). **Estatísticas**. Disponível em: <<http://www.anda.org.br/index.php?mpg=03.01.00&ver=por>>. Acesso em: 10 set. 2013.

BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J. S. Use of chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. **Journal of Production Agriculture**, v. 8, n. 1, p. 56-60, 1995.

CHAPMAN, S. C.; BARRETO, H. J. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. **Agronomy Journal**, v. 89, n. 4, p. 557-562, 1997.

COUNCE, P. A.; KEISLING, T. C.; MITCHELL, A. J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, v. 40, p. 436-443, 2000.

CUNHA, N. G.; COSTA, F. A.. **Solos da Estação Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2013. 6 p. (Embrapa Clima Temperado. Circular Técnica, 152).

DELGADO, J. A.; MOSIER, A. R. Mitigation alternatives to decrease nitrous oxides emissions and urea-nitrogen loss and their effect on methane flux. **Journal of Environmental Quality**, v. 25, n. 5, p. 1105-1111, 1995.

FAGERIA, N. K.; CARVALHO, M. C. S.; SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; PAIXÃO, M. R. R. Eficiência agrônômica de ureia revestida com polímero em arroz de terras altas e de várzea irrigado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 31.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 15.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 13.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 10., 2014, Araxá. **Anais...** Araxá: Núcleo Regional Leste da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2014. 1 CD-ROM.

FAN, Y.; MYLAVARAPU, R. Effects of irrigation and nitrogen management for potato tuber yield, N recovery and N leaching. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 19., 2010, Brisbane. **Resumos...** Brisbane: IUSS, 2010. p. 154-157.

FONTES, P. C. R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2001. 122 p.

FREIRE, C. J. S. **Manual de métodos de análise de tecido vegetal, solo e calcário**. 2. ed. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2001. 201 p.

GlobalFert. **Demanda mundial de fertilizantes chega a 182 milhões de toneladas**. 2017. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/noticias/demanda-mundial-de-fertilizantes-chega-a-182-milhoes-de-toneladas_398726.html>. Acesso em: 01 out. 2018.

GUELFÍ, D. Fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta ou controlada. **Informações Agronômicas**, v. 157, p. 1-14, 2017.

LATEEF, A.; NAZIR, R.; JAMIL, N.; ALAM, S.; SHAD, R.; KHAN, M. N.; SALEEM, M. Synthesis and characterization of zeolite base nano-composite: an environment friendly slow release fertilizer. **Microporous and Mesoporous Material**, v. 232, p. 174-183, 2016.

MANIKANDAN, A.; SUBRAMANIAN, K. S. Evaluation of zolite based nitrogen nono-fertilizers on maize growth, yield and quality on Inceptisols and Alfisols. **International Journal of Plant & Soil**, v. 9, n. 4, p. 1-9, 2016.

REDDY, K. R.; DeLAUNE, R. D. **Biogeochemistry of wetlands: science and applications**. New York: CRC, 2008. 780 p.

REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 30., 2014, Bento Gonçalves. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Pelotas: SOSBAI, 2014. 192 p.

REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 31., 2016, Bento Gonçalves. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Pelotas: SOSBAI, 2016. 200 p.

SCHADCHINA, T. M.; DMITRIEVA, V. V. Leaf chlorophyll content as a possible diagnostic mean for the evaluation of plant nitrogen uptake from the soil. **Journal of Plant Nutrition**, v. 18, n. 6, p. 1427-1437, 1995.

SHAVIV, A. Controlled release fertilizers. In: IFA INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS, 2005, Frankfurt. **Proceedings...** Paris: International Fertilizer Industry Association, 2005. p. 1-15.

SHAVIV, A. Advances in controlled-release fertilizers. **Advances in Agronomy**, v. 71, p. 1-49, 2000.

SNYDER, C. S.; SLATON, N. A. Rice production in the United States: an overview. **Better Crops**, v. 85, n. 3, p. 1-7, 2001.

SOUZA, S. R.; FERNANDES, M. S. Nitrogênio. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 215-252.

SPOLAOR, L. T.; GONÇALVES, L. S. A.; SANTOS, O. J. A. P.; OLIVEIRA, A. L. M.; SCAPIM, C. A.; BERTAGNA, F. A. B.; KUKI, M. C. Plant growth-promoting bacteria associated with nitrogen fertilization at topdressing in popcorn agronomic performance, **Bragantia**, v. 76, n. 1, p. 33-40, 2016.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p.

TRENKEL, M. E. **Slow-and controlled-release and stabilized fertilizers**: an option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2010. 160 p.

TIMILSENA, Y. P.; ADHIKARI, R.; CASEY, P.; MUSTER, T.; GILL, H.; ADHIKARI, B. Enhanced efficiency fertilisers: a review of formulation and nutrient release patterns. **Journal of Science Food Agriculture**, v. 95, n. 6, p. 1131-1142, Apr. 2015.

VEÇOZZI, T. A.; SCIVITTARO, W. B.; SOUSA, R. O.; SILVEIRA, A. D.; JARDIM, T. M. **Emissões de gases de efeito estufa em cultivo de arroz irrigado**: efeito do manejo da adubação nitrogenada. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2017. 39 p. (Embrapa Clima Temperado. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 259).

VILLARREAL-NÚÑEZ, J. E.; BARAHONA-AMORES, L. A.; CASTILLO-ORTIZ, O. A. Effect of zeolite on the nitrogen fertilizer efficiency in rice crop. **Mesoamerican Agronomy**, v. 26, n. 2, p. 315-321, 2015.

WERNECK, C. G.; BREDÁ, F. A.; ZONTA, E.; LIMA, E.; POLIDORO, J. C.; BALIEIRO, F. C.; BERNARDI, A. C. C. Volatilização de amônia proveniente de ureia com zeólita natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 3, p. 466-470, 2012.

YAMAMOTO, C. F. **Preparação de nanocompósitos baseados na intercalação de argilominerais em matrizes ureia formaldeído para aplicação como fertilizantes de liberação controlada**. 2014. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos

Embrapa Clima Temperado
BR 392, Km 78, Caixa Postal 403
Pelotas, RS - CEP 96010-971
Fone: (53) 3275-8100
www.embrapa.br/clima-temperado
www.embrapa.br/fale-conosco

1ª edição
Obra digitalizada (2018)



Comitê Local de Publicações
Presidente

Ana Cristina Richter Krolow

Vice-Presidente

Enio Egon Sosinski

Secretária-Executiva

Bárbara Chevallier Cosenza

Membros

Ana Luiza Barragana Viegas, Fernando

Jackson, Marilaine Schaun Pelufé,

Sonia Desimon

Revisão de texto

Bárbara Chevallier Cosenza

Normalização bibliográfica

Marilaine Schaun Pelufé

Editoração eletrônica

Nathália Santos Fick (estagiária)

Foto da capa

Paulo Lanzetta

CGPE 14951