

Cientific Paper

Ureia e nitrogenado de liberação lenta em trigo inoculado com *Azospirillum*

Resumo

É conhecido que a aplicação a lanço de fontes nitrogenadas de liberação lenta é mais eficiente em solo com baixa umidade, sendo semelhante à ureia em condições de umidade adequada no solo. Assim objetivou-se avaliar o comportamento da cultura de trigo inoculado com *Azospirillum brasilense* cultivado com diferentes doses de nitrogênio (N) em cobertura fornecidos por ureia e fertilizante de liberação lenta (FLLN) em diferentes ambientes. Para isso foi desenvolvido um experimento sob delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 2 x 4. O primeiro fator foram as fontes de nitrogênio (ureia e FLLN) e o segundo pelas doses de N em cobertura (0,0; 60,0; 120,0 e 180,0 kg ha⁻¹), sendo conduzido em dois ambientes Marechal Cândido Rondon - PR (MCR) e Corbélia - PR (COR). Na maturação da cultura foi avaliado: massa e número de grãos por espiga, comprimento de espigas, número de espiguetas, massa de mil grãos, produtividade, umidade de grãos, peso hectolitro e índice de colheita. Os resultados mostraram que as fontes promoveram aumento na massa e número de grãos por espiga e massa de mil grãos. Considerando que a cultura de trigo em ambos locais foi inoculada com *Azospirillum brasilense*. As doses de 102 kg ha⁻¹ de N e 118,56 kg ha⁻¹ de N promoveram máximo número de grãos por espiga e massa de mil grãos, no ambiente COR. No ambiente MCR, uso de 142,49 kg ha⁻¹ de N e 163,33 kg ha⁻¹ de N proporcionou máxima produtividade e umidade de grãos, respectivamente. Em COR, uso de 118,56 kg ha⁻¹ de N na fonte ureia proporcionou máxima produtividade enquanto a fonte com liberação lenta incrementou linearmente a produtividade até dose de 180 kg ha⁻¹ de N. Em MCR ambas as fontes elevaram a produtividade até a dose de 142,5 kg ha⁻¹ de N.

Palavras chave: *Triticum aestivum*; adubação nitrogenada em cobertura; inibidor de uréase; bactérias diazotrófica.

Abstract

Urea and slow-release nitrogen in wheat grown inoculated with *Azospirillum*

It is known that the broadcast application of slow-release nitrogen sources are more efficient in soil with low humidity, similar to urea in adequate moisture conditions in the soil. Thus aimed to evaluate the behavior of the crop of wheat grown inoculated *Azospirillum brasilense* with different levels of nitrogen (N) coverage provided by urea and slow-release fertilizer (SRF) in different environments. For this experiment was carried out in a randomized block design in a factorial 2 x 4. The first factor were the sources of nitrogen (urea and SRF) and the second by N rates covering (0.0; 60.0; 120.0 and 180.0 kg ha⁻¹), being conducted in two environments Marechal Cândido Rondon - PR (MCR) and Corbélia - PR (COR). In the culture maturation

Received at: 10/01/2017

Accepted for publication at: 03/08/2017

¹ Eng. Agrônomo. Doutorando Programa de Pós-graduação. Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Unioeste - Centro de Ciências Agrárias, Marechal Cândido Rondon - PR, 85960-000. Email: lucas_bulegon@yahoo.com.br; andre_battistus@hotmail.com

² Eng. Agrônomo. Dr. Prof. Adjunto. Depto. Agronomia. Universidade Estadual do Centro Oeste - UNICENTRO - Rua Simeão Camargo Varela de Sá, 03, Bairro Cascavel, Guarapuava - PR, 85040-080. Email: rampimleandro@yahoo.com.br

³ Eng. Agrônomo. Prof. Associado. Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Unioeste - Centro de Ciências Agrárias, Marechal Cândido Rondon - PR, 85960-000. Email: vandeirfg@yahoo.com.br

⁴ Biólogo. Pesquisador Científico. Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Unioeste - Centro de Ciências Agrárias, Marechal Cândido Rondon - PR, 85960-000. Email: deborakestring@yahoo.com.br

was evaluated: mass and number of grains per spike, spike length, number of spikelets, thousand grain weight, yield, grain moisture, hectolitre weight and harvest index. The results showed that the sources have provided increase in the mass and number of grains per spike and thousand grain weight. Considering that the wheat crop in both sites was inoculated with *Azospirillum brasilense*. Doses of 102 kg ha⁻¹ N and 118.56 kg ha⁻¹ N promoted maximum number of grains per spike and thousand grain weight, the COR environment. The environment MCR, use of 142.49 kg ha⁻¹ N and 163.33 kg ha⁻¹ N resulted in maximum productivity and grain moisture, averages, respectively. In COR, use of 118.56 kg ha⁻¹ N in urea source provided maximum productivity while SRF source linearly increased productivity up to 180 kg ha⁻¹ of N. Already in MCR both sources increase productivity up to a dose of 142.5 kg ha⁻¹ of N.

Key words: *Triticum aestivum*; Nitrogen fertilization covering; Urease inhibitor; diazotrophic.

Resumen

Urea y nitrógeno de liberación lenta en trigo inoculado con *Azospirillum*

Es conocido que la aplicación a lance de fuentes nitrogenadas de liberación lenta es más eficiente en suelo con baja humedad, siendo semejante a la urea en condiciones de humedad adecuada en el suelo. Así se objetivó evaluar el comportamiento del cultivo de trigo inoculado con *Azospirillum brasilense* cultivado con diferentes dosis de nitrógeno (N) en cobertura suministrada por urea y fertilizante de liberación lenta (FLLN) en diferentes ambientes. Para ello se desarrolló un experimento en delineamiento en bloques casualizados com esquema factorial 2 x 4. El primer factor fueron las fuentes de nitrógeno (urea y FLLN) y el segundo por las dosis de N en cobertura (0,0, 60, 120 y 180 kg ha⁻¹), siendo conducido en dos ambientes: Marechal Cândido Rondon - PR (MCR) y Corbélia - PR (COR). En la maduración de la cultura se evaluó: masa y número de granos por espiga, longitud de espigas, número de espiguetas, masa de mil granos, productividad, humedad de granos, peso hectolitro e índice de cosecha. Los resultados mostraron que las fuentes proporcionaron aumento en la masa y número de granos por espiga y masa de mil granos. Considerando que el cultivo de trigo en ambos lugares fue inoculado con *Azospirillum brasilense*. Las dosis de 102 kg ha⁻¹ de N y 118,56 kg ha⁻¹ de N promovieron el máximo número de granos por espiga y masa de mil granos, en el ambiente COR. En el ambiente MCR, el uso de 142,49 kg ha⁻¹ de N y 163,33 kg ha⁻¹ de N han proporcionado máxima productividad y humedad de granos, respectivamente. En COR, el uso de 118,56 kg ha⁻¹ de N de la fuente urea proporcionó máxima productividad mientras que la fuente con liberación lenta incrementó linealmente la productividad hasta dosis de 180 kg ha⁻¹ de N. En MCR ambas fuentes elevaron la productividad hasta la dosis de 142,5 kg ha⁻¹ de N.

Palabras clave: *Triticum aestivum*; fertilización nitrogenada en cobertura; inhibidor de la urea; bacterias diazotróficas.

Introdução

O Trigo (*Triticum aestivum* L.) é um dos cereais mais importante e cultivado representando cerca de 30 % da produção de grãos no mundo com 725 milhões de toneladas, a produtividade brasileira representa 6,30 milhões de toneladas, desse total (USDA, 2016). No território brasileiro, a região Sul se destaca como maior produtora, com cultivo realizado no inverno (VIOLA et al., 2013), podendo ocorrer chuvas mal distribuídas e temperaturas negativas, que favorecem a incidência de geadas.

Outra limitação da cadeia produtiva está relacionada ao manejo da fertilidade do solo,

principalmente o nitrogênio (N), pois esse é o nutriente que mais onera os custos produtivos (RODRIGUES et al., 2014; VIOLA et al., 2013). Em adição, outra limitação está relacionada à fonte ureia utilizada, a qual apresenta elevadas perdas de N, principalmente devido ao processo de volatilização, que pode representar mais de 50 % do total de N contido no grânulo (COSTA et al., 2003).

Assim, é constante a busca de novas tecnologias que incrementem a produtividade da cultura, e que diminuam os impactos ambientais. Uma opção é o uso de fontes de N mais eficientes e que apresentem menores perdas (PRANDO et al., 2013) facilitando o uso de doses corretas (COSTA

et al., 2013). Os fertilizantes nitrogenados como de liberação lenta possuem em sua formulação um inibidor da conversão de amônio em nitrato, pela a inibição das bactérias nitrosomonas, que impedem a conversão do N amoniacal em nitrato. Prando et al. (2013), relatam ausência de diferenças entre fontes de liberação lenta e ureia para a produtividade do trigo. Contudo, respostas positivas na produtividade são observadas ao incrementar a dose de N na forma de liberação lenta (LANGE et al., 2014).

Portanto, faz-se necessário trabalhos para avaliar o desempenho das fontes de liberação lenta e suas doses, pois, segundo Benin et al. (2012), é de suma importância estudos da adaptabilidade e respostas a adubação nitrogenada com cultivares distintas e locais diferentes, devido variações edafoclimáticas, e evolução do sistema produtivo devido crescente uso de tecnologias biológicas.

Desta forma, objetivou-se avaliar o comportamento da cultura de trigo inoculado com *Azospirillum brasilense* cultivado com diferentes doses de nitrogênio (N) em cobertura fornecidos por ureia e fertilizante de liberação lenta em diferentes ambientes.

Material e métodos

O presente estudo foi conduzido em dois ambientes, no primeiro ambiente MCR (Marechal Cândido Rondon-PR) o experimento foi conduzido na Estação Experimental Prof. Antônio Carlos dos Santos Pessoa, na Universidade Estadual do Oeste do Paraná-Unioeste, Campus Marechal Cândido Rondon, situada a 24° 33' 22" S e 54° 03' 24" W, e altitude de 400 m. No segundo ambiente COR (Corbélia-PR) o experimento foi conduzido numa área de produção de grãos situada a 24° 50' 231" S e 53° 14' 557" W. Os dados climáticos do período experimental para o ambiente MCR estão demonstrados na Figura 1a e os referentes ao ambiente COR na Figura 1b.

O solo dos experimentos foram classificados como Latossolo Vermelho Eutrófico (LVE) para o ambiente MCR e como Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) para o ambiente COR (BHERING et al., 2007), ambos apresentavam textura muito argilosa (EMBRAPA, 2013). As características físicas e químicas determinadas em amostragem realizada anteriormente à implantação do experimento na camada de 0-20 cm estão apresentadas na Tabela 1.

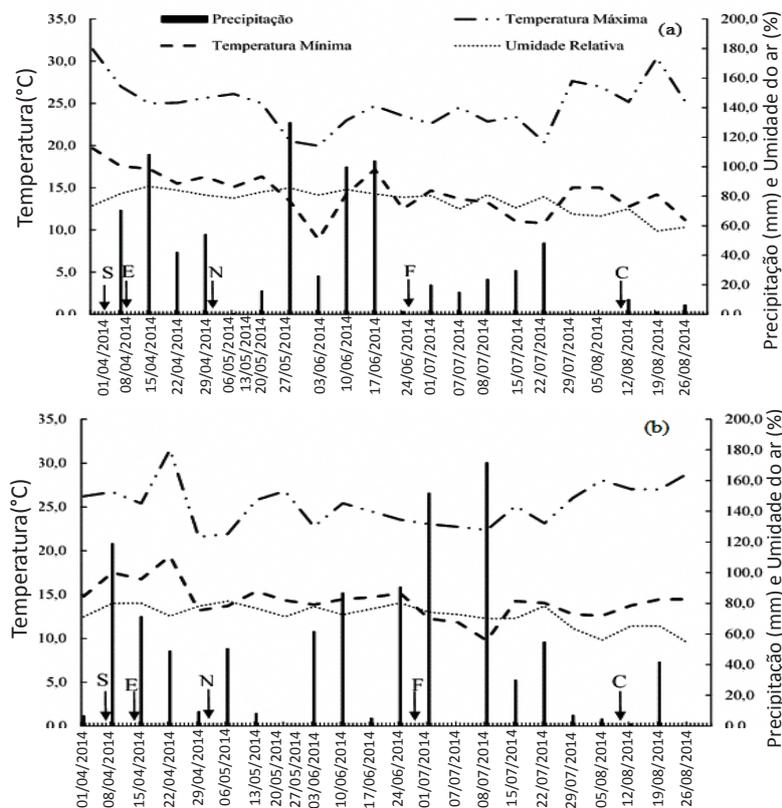


Figura 1: Condições de precipitação (barras verticais), temperatura e umidade relativa do ar (linhas) semanalmente durante a condução dos experimentos em Marechal Cândido Rondon-MCR (A) e Corbélia-COR (B). S: Semeadura; E: Emergência; N: Aplicação de N em cobertura; F: Florescimento; C: Colheita.

Em ambos os ambientes, a cultura antecessora era soja e a contagem de bactérias diazotróficas no solo antes da semeadura indicou $2,00 \times 10^{-6}$ unidades formadoras de colônia (UFC) g^{-1} de solo.

Para ambos os experimentos se utilizou o delineamento experimental em blocos ao acaso, em esquema fatorial 2x4, com quatro repetições. O primeiro fator foram duas fontes de nitrogênio Ureia (45 % N) e fonte de liberação lenta com inibidor de uréase (45 % N) e o segundo foi representado por quatro doses de N em cobertura (0,0; 60; 120 e 180 $kg\ ha^{-1}$). Destaca-se que segundo (REUNIÃO..., 2013) a recomendação para a cultura do trigo nos dois ambientes estudados é de 60 $kg\ ha^{-1}$ de N em cobertura. A área das parcelas experimentais foram

de 10,8 m^2 .

A semeadura da cultura do trigo foi realizada no dia 04/04/2014 para o ambiente MCR, com cultivar CD 150 ciclo precoce, exigente por fertilidade do solo, resistente ao acamamento e classificada como trigo melhorador e população de 420 mil plantas ha^{-1} (COODETEC, 2014).

No ambiente COR a implantação da cultura ocorreu em 07/04/2014 com CD 108 ciclo superprecoce, moderadamente exigente em fertilidade do solo, resistente ao acamamento, trigo pão e 420 mil plantas ha^{-1} (COODETEC, 2014). Em ambos ambientes, foi utilizado 270 $kg\ ha^{-1}$ do formulado 8-15-15 durante a semeadura em espaçamento entre linhas de 0,17 m.

Tabela 1: Características químicas e físicas na camada de 0 – 20 cm de um Latossolo Vermelho Eutrófico (LVe), em Marechal Cândido Rondon (MCR) e de um Latossolo Vermelho distrófico (LVd).

Local	P	MO	pH	H+Al	Al ³⁺	K+	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	CTC	V	Areia	Silte	Argila
	mg dm^{-3}	g dm^{-3}	CaCl ₂	-----cmol _c . dm^{-3}			-----			%	-----g kg^{-1} -----			
MCR	13,7	2,9	4,2	6,3	0,05	0,5	4,9	2,2	7,6	13,9	54,7	54,0	114,8	831,2
COR	13,6	4,1	4,5	5,9	0,3	0,4	2,9	0,5	3,5	10,5	45,0	54,2	117,6	828,2

P e K (Mehlich⁻¹); Ca, Mg e Al³⁺ (KCl 1 mol); Al+H (acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹); Areia, Silte e argila (EMBRAPA, 1997)

As sementes receberam inoculação com *Azospirillum brasilense* estirpes AbV5+AbV6, com concentração de $2,00 \times 10^{-8}$ UFC mL^{-1} , 30 min antes da semeadura, utilizando 100 mL de inoculante para 25 kg de sementes.

A aplicação das fontes de N e suas respectivas doses foram realizadas a lanço quando a cultura se encontrava no momento do perfilhamento (25 dias após a semeadura), com solo em condição friável e com elevada umidade relativa do ar, no início da manhã.

A cultura foi constantemente monitorada e quando necessário foram realizados os tratamentos culturais de acordo com a recomendação para o trigo no estado do Paraná (IAPAR, 2013). Foi necessário: uma aplicação de herbicida no início do desenvolvimento, para controle de invasoras (Metasulfuron metílico, 3,0 $g\ ha^{-1}$ i.a.); duas aplicações de fungicidas para a prevenção de doenças foliares realizadas no emborrachamento e no início do espigamento (Azoxistrobina + Ciproconazol, 60 e 24 $g\ ha^{-1}$ i.a., respectivamente) e uma aplicação de inseticida para o controle do pulgão verde dos cereais durante o enchimento dos grãos (Clorpirifós 240 $g\ ha^{-1}$ i.a.).

Na maturação da cultura do trigo, foi realizada a colheita em 11/08/2014 no ambiente MCR e em 09/08/2014 no ambiente COR, com área útil por parcela de 5 m^2 para ambos ambientes, segundo recomendação de Neto et al. (2004). Após a colheita foram selecionadas 10 espigas ao acaso de cada parcela, para a determinação do número de espiguetas por espiga (NE) e comprimento de espigas (CE, em cm) pela medida entre a base e a ponta da espiga, as quais foram submetidas a trilha manual para a determinação do número de grãos por espiga (NGE) e da massa de grãos por espiga (MGE, em g), e massa de mil grãos (MMG, em g).

O restante do material foi submetido a trilha mecânica para determinação da produtividade de grãos (PRO), corrigido para 13 % de umidade e extrapolado para a produtividade por hectare. Amostras de cada parcela foram utilizadas para determinação da umidade em base úmida (U%), pelo método de secagem em estufa (BRASIL, 2009) e determinação do peso hectolitro (PH), realizada em balança específica de PH com capacidade de 250 mL de volume e altura de queda padronizada. Por fim, foi determinado índice de colheita (IC) com três plantas de cada parcela, obtida pela relação da

massa de matéria seca de grãos dividida pela massa de matéria seca total acima do solo produzida pela planta (GIFFORD et al., 1984).

Os dados foram tabulados e submetidos a análise de variância no software SISVAR 5.1 (FERREIRA, 2011), e quando pertinente as médias foram submetidas ao teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro para as fontes de N e análise de regressão para as doses dos fertilizantes.

Resultados e Discussão

Os resultados demonstram que no ambiente MCR a fonte de N foi efetiva apenas na massa de grãos por espiga ($p \leq 0,05$) e as doses de N em cobertura foram efetivas apenas produtividade e umidade de grãos ($p \leq 0,05$). Nas demais variáveis não ocorreram interações significativas entre os tratamentos estudados ($p > 0,05$).

Na massa de grãos por espiga foi verificado incremento de 14,35% ao utilizar o fertilizante de liberação lenta em relação ao uso da ureia no ambiente MCR (Figura 2). Contudo, tal resultado

não foi suficiente para ocorrer diferença na massa de 1.000 grãos e na produtividade da cultura ao usar a fonte com liberação lenta.

Na produtividade da cultura do trigo, para o ambiente MCR, foi observado máxima produtividade com dose de 142,49 kg ha⁻¹ de N, representando 2641,68 kg ha⁻¹, independente da utilização da fonte ureia ou liberação lenta (Figura 3a). Para umidade dos grãos no momento da colheita foi constatado valor máximo de 19,06 ao aplicar 163,33 kg ha⁻¹ de N, o que não é desejado, visto que isso dificulta a colheita e interfere na qualidade dos grãos (Figura 3b).

Quanto ao ambiente COR, os resultados demonstram que foi observado efeito das doses de N e das fontes estudadas para número de grãos por espiga e massa de mil grãos ($p \leq 0,05$). Foi observado interação entre as doses de N e fontes aplicadas (ureia e liberação lenta) para produtividade e umidade de grãos em trigo inoculado com *A. brasilense* ($p \leq 0,05$). Nas demais variáveis não ocorreram interações significativas entre os tratamentos estudados ($p > 0,05$).

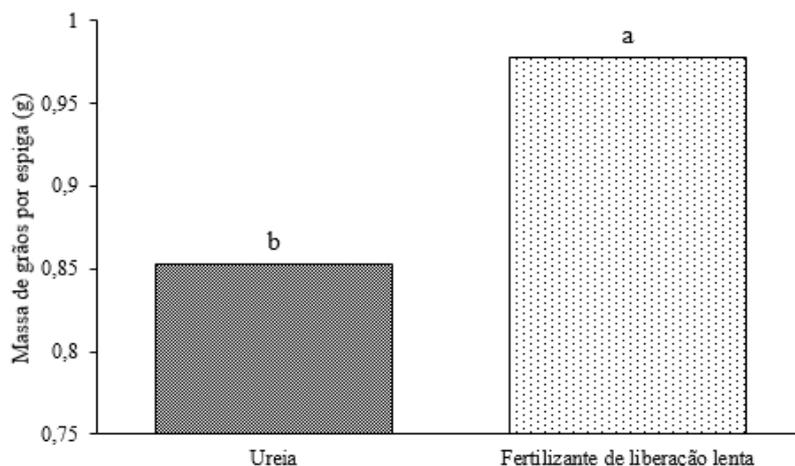


Figura 2: Massa de grãos por espiga da cultura do trigo inoculadas com *A. brasilense* submetida a diferentes doses das fontes nitrogenadas ureia e fertilizante de liberação lenta, Marechal Cândido Rondon, 2014. Letras minúsculas indicam diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

No ambiente COR, a aplicação da fonte de disponibilidade lenta apresentou 5,39 % de superioridade no número de grãos por espigas (NGE) em relação a ureia (Figura 4a), sendo observado maior número de grãos por espiga (21,99) com dose de 146,66 kg ha⁻¹ de N (Figura 4a). O mesmo efeito foi encontrado para massa de mil grãos (MMG), com fonte de liberação lenta sendo 10,83 % superior em

relação a ureia (Figura 4b) e máxima MMG (26,19 g) com 102 kg ha⁻¹ de N, independente da fonte.

Com os resultados mostrados anteriormente, foi possível observar interferência das doses de N na produtividade, semelhante ao ocorrido no ambiente MCR, contudo, neste ambiente houve interação entre dose e fontes. Na produtividade foi obtida diferença para as fontes na dose de 60,0 kg ha⁻¹ de N,

onde foi detectado superioridade de 24,83% da ureia em relação a fonte de liberação lenta. A aplicação de 118,98 kg ha⁻¹ de N com ureia proporcionou máxima produtividade (2579,26 kg ha⁻¹). Para fonte de liberação lenta, foi obtido incremento contínuo da produtividade até a dose máxima avaliada de 180 kg ha⁻¹ de N (Figura 5a).

Para a umidade dos grãos no momento da

colheita, na dose de 60 kg ha⁻¹ de N, a fonte ureia proporcionou 24,03% de superioridade sobre a fonte de liberação lenta. De forma que, a aplicação de 56,66 kg ha⁻¹ de N com ureia repercutiu em máxima umidade (17,19% b.u.) no momento da colheita, enquanto o uso de 162,00 kg ha⁻¹ de N com a fonte de liberação lenta alcançou máxima umidade (16,44% b.u) (Figura 5b).

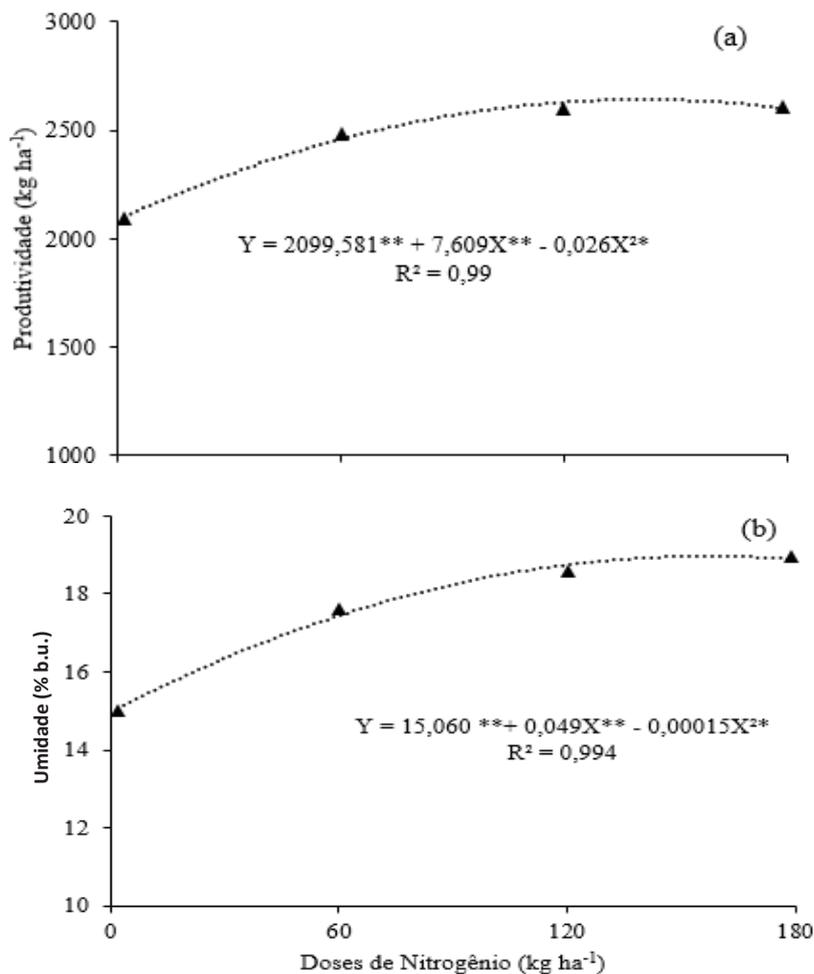


Figura 3: Produtividade de grãos (A) e umidade de grãos (B) no momento da colheita da cultura do trigo inoculadas com *A. brasilense* submetida a diferentes doses das fontes nitrogenadas ureia e fertilizante de liberação lenta. Marechal Cândido Rondon, 2014. ** e * significativo a 1% e 5% pelo teste t, respectivamente.

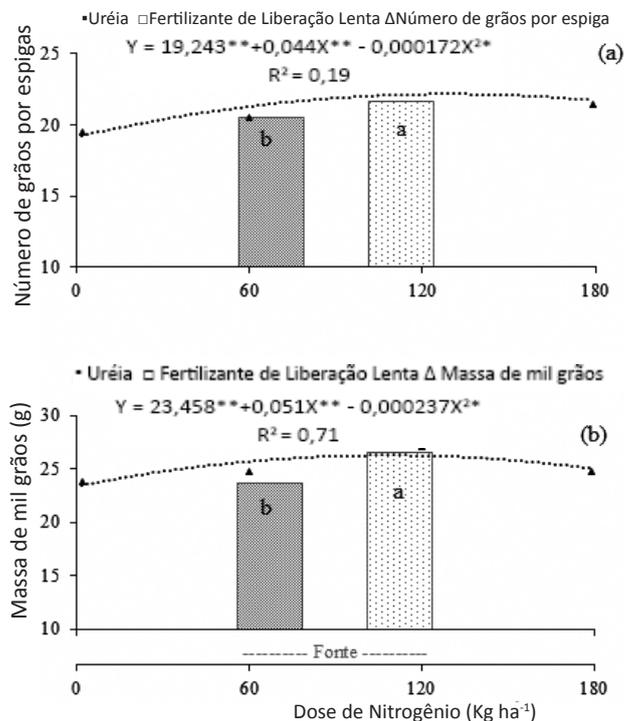


Figura 4: Número de grãos por espiga (A) e massa de mil grãos (B) da cultura do trigo inoculadas com *A. brasilense* submetida a diferentes doses das fontes nitrogenadas ureia e fertilizante de liberação lenta.

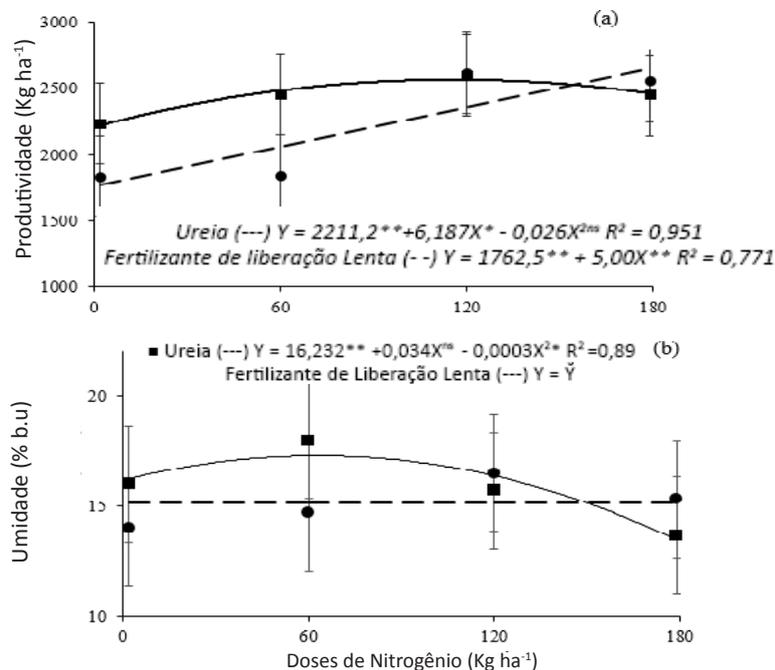


Figura 5: Produtividade de grãos (a) e umidade de grãos (b) no momento da colheita da cultura do trigo inoculadas com *A. brasilense* submetida a diferentes doses das fontes nitrogenadas ureia e fertilizante de liberação lenta, Corbélia, 2014. Barras indicam a diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. ** e * significativo a 1% e 5% pelo teste t, respectivamente, ns indica que o coeficiente não é significativo.

Cabe ressaltar que durante a condução no ambiente MCR não foram obtidas condições climáticas que prejudicassem o desenvolvimento adequado da cultura do trigo inoculado com *A. brasilense* (Figura 1a). Para o ambiente COR, as condições climáticas desfavoreceram o desenvolvimento da cultura, com precipitação elevada na segunda quinzena de junho e primeira de quinzena de julho (Figura 1b), prejudicando florescimento da cultura e conseqüentemente a produtividade (Figura 5a). Entretanto para ambos os ambientes as produtividades médias obtidas ficaram acima da média regional para a safra em questão que foi de 2120 kg ha⁻¹ (CONAB, 2016).

A ausência de efeito das fontes de N no ambiente MCR para as variáveis número de grãos por espiga, número de espiguetas e comprimento de espigas e no ambiente COR para a massa de grãos por espiga, número de espiguetas e comprimento de espiguetas é explicada pela umidade elevada no solo, considerada adequada para aplicação de ureia a lanço. Desta forma, fora aplicada em condições que não permitiram rápida volatilização da ureia, possibilitando ser absorvida e metabolizada pela planta (ROCHA et al., 2014). Martins et al. (2014), identificaram comportamento semelhante quando se aplica ureia convencional e uma fonte de liberação lenta em condições ideais, na cultura do milho. Os mesmos explicam que nas condições de alta umidade no solo tanto a ureia convencional e as fontes de liberação lenta fornecem seu estoque de N rapidamente, cerca de 4,5 minutos, restando apenas as camadas de proteção na fonte de liberação lenta. Desta forma, a fonte de liberação lenta (com inibição da conversão da amônia em nitrato) em solo com condição adequada, apresenta desempenho semelhante à ureia, pois o fertilizante é solubilizado em presença de umidade. Contudo quando em condições de baixa umidade no solo as fontes de liberação lenta, apresentam superioridade, pois sua camadas de inibição, retém o N evitando assim com que ele seja perdido (MARTINS et al., 2014).

Os resultados obtidos para as características de espigas, com massa de grãos (MCR) (Figura 2) e número de grãos (COR) (Figura 3a) podem ter ocorrido devido à utilização de *A. brasilense*, o qual afeta a parte aérea das plantas ocorre aumentando a massa de colmo e folhas (BULEGON et al., 2014; COSTA et al., 2013; RODRIGUES et al., 2014), que são locais de acúmulo do N absorvido no trigo, e posteriormente translocado para emissão e formação

da espiga (DIDONET et al., 2000).

Didonet et al. (2000), relatam que inocular sementes e aplicar doses de 60 kg ha⁻¹ de N é suficiente para produtividade adequada do trigo sem detectar diferença entre doses mais elevadas. Essa condição ocorreu devido a *A. brasilense* promover maior partição e resultar em maior acúmulo de N nos grãos e menor na palhada (DIDONET et al., 2000). Essa promoção de crescimento pode ser efeito direto da bactéria em associação com a planta (KUSS et al., 2007) ou ainda relacionado aos fitohormônios produzidos no inoculante pelas bactérias e aplicados na semente durante a inoculação (PERRIG et al., 2007).

Tais condições também explicam ausência de efeito das doses de N e das fontes de N (ureia e fonte de liberação lenta) para o índice de colheita. A ausência de diferença no presente estudo pode estar relacionado ao fornecimento do N em uma única aplicação. Pode-se ainda considerar que devido ao uso de *A. brasilense* a partição dos fotoassimilados tenha sido maximizada. Variações no índice de colheita são relatados quando se trabalhou com épocas de aplicação de N (BREDEMEIER e MUNDSTOCK, 2001), relacionado ao melhor aproveitamento da cultura, e não a maior disponibilidade. O índice de colheita é um fator importante na escolha de cultivares de elevada produtividade, pois quanto maior o índice de colheita, maior é a conversão de massa de matéria acumulada em massa de grãos, conseqüentemente melhor é o aproveitamento dos nutrientes.

Para o número espiguetas por espiga e comprimento de espigas também ressalta-se que ambos são fatores altamente dependente da genética da planta, e apresentam pequena variação independentemente dos tratamentos culturais, sendo mais dependente de fatores externos ligados ao clima. Silva et al. (2015), também não observaram interferências nestas variáveis ao estudarem as mesmas doses de N em sistema milho/trigo e soja/trigo. Tal fato se confirma devido a boa adaptabilidade das cultivares de trigo cultivadas no estado do Paraná (SILVA et al., 2011).

A maior massa de grãos por espigas encontrado no ambiente MCR e de número de grãos por espiga e massa de mil grãos no ambiente COR para os tratamentos que receberam a fonte de liberação, relaciona-se com maior facilidade de absorção e translocação na planta, ocorrendo com predominância da forma amoniacal, que reduz

perdas por volatilização (CATANI e BATAGLIA, 1969). Enquanto a ureia é uma fonte que possui maior concentração de N na forma nítrica e em menor na amídica, elevando as perdas (VITTI et al., 2002). Porém as plantas possuem mecanismos distintos de absorção do N (TAIZ e ZEIGER, 2013), dentre as formas preferíveis se encontra na forma amoniacal (NH_4) no desenvolvimento inicial e nítrica (NO_3) nos demais estádios de desenvolvimento. Portanto, com a aplicação de fonte que mantém a forma amoniacal por maior período, incorpora-se teores mais elevados de N, desprendendo menor gasto energético, proporcionando incremento em MGE, NGE e MMG no ambiente MCR e COR. Em outra Poaceae, em cana de açúcar também foi observado redução da disponibilidade de N amoniacal repercutindo em menor desenvolvimento da cultura ao utilizarem fonte estabilizada de N com constatação de menores perdas de N amoniacal (COSTA et al., 2003).

Contudo, o suprimento apenas na forma amoniacal e/ou nítrica representam efeitos prejudiciais às plantas (ROCHA et al., 2014). Desta forma como a ureia convencional tem grande parte da sua forma amoniacal perdida, cerca de 80% do conteúdo total (TEXEIRA FILHO et al., 2010), ocasiona limitação na absorção de N na forma nítrica pela planta, representando maior gasto energético em conversão, devido ao transporte interno ser ativo (TAIZ e ZEIGER, 2013).

Quando se observa o efeito das doses de N sobre as características de NGE e MMG no ambiente COR, pode estar relacionado ao N desempenhar papel primordial na planta, principalmente nas funções estruturais e de divisão celular, visto que é constituinte do DNA e RNA (TAIZ e ZEIGER, 2013). Portanto, a planta que recebeu dose adequada de N teve melhor desenvolvimento e acumulando mais massa e fotoassimilados, que foram convertidos em estruturas reprodutivas. Contudo, como citado as fortes precipitações ocorridas no ambiente COR (Figura 1b), durante o florescimento prejudicaram o potencial produtivo do trigo. Porém, as plantas adequadamente supridas com N, independente da fonte, apresentaram maior capacidade de polinização e conseqüentemente, formação dos grãos. Reforçando, a colocação que as plantas nutridas adequadamente, possivelmente acumularam maiores massa para posterior redistribuição, visto que comportamento da curva de NGE e de MMG foram semelhantes.

Para a produtividade de trigo obtido no ambiente MCR (Figura 3b), mostra que o uso de

N é fundamental no sistema produtivo da cultura, independente da fonte aplicada, pois o incremento em produtividade ocorreu acima da dose atualmente recomendada para a cultura do trigo (120 kg ha^{-1} de N) (APARECIDA et al., 2008; TEXEIRA FILHO et al., 2010). Ressalta, que menor nível matéria orgânica (M.O.) (Tabela 1), necessitando de doses maiores relacionado à demanda da cultura (ARGENTA e SILVA, 1999). O presente resultado se opõe aos encontrado por Nunes et al. (2011), que estudando doses de N na cultura do trigo com leguminosa como cultura antecessora encontraram dose máxima de 120 kg ha^{-1} , em LVd com 2,7% de M.O. Viola et al. (2013), em estudo do potencial de fornecimento de N da cultura antecessora leguminosa, também associou a dose de 120 kg ha^{-1} de N para a máxima produtividade do trigo, em LVd com 4,3% de M.O.

Quando se observa o ambiente COR, a dose de máxima eficiência ficou dentro do padrão de 120 kg ha^{-1} , citado na literatura para a fonte ureia, provavelmente relacionado ao maior teor de M.O. no solo (Tabela 1), disponibilizando N demandado pela cultura devido ao incremento em desenvolvimento, ao inocular sementes de trigo com *A. brasilense*. Porém, quando usou a fonte de liberação lenta não foi possível obter a máxima dose, devido a resposta obtida ter sido linear, ou seja, mesmo com um alto nível de M.O. inicial, que reduziu a dose para a obtenção da máxima produtividade. A fonte de liberação lenta possivelmente foi em grande parte imobilizada, devido fornecer N na forma amoniacal, fonte preferencialmente utilizada por microrganismos do solo que imobilizam o N (ARGENTA e SILVA, 1999). Os mesmos autores relatam que a aplicação de N em milho em solos com alta MO não mostram respostas em produtividade da cultura. MODA et al. (2014), também relatam em seu estudo com a cultura do milho que o alto aporte de M.O. limitam as respostas da cultura quanto a aplicação de N. Resultado semelhante ao da fonte de liberação lenta (Figura 5b) foi encontrado na cultura do milho, em solo arenoso com teor de 2,1 % de M.O., onde as doses de fertilizantes nitrogenados de liberação lenta até 160 kg ha^{-1} elevaram a produtividade, de forma linear (QUEIROZ et al., 2011).

A umidade de grãos no momento da colheita foi influenciada nos ambientes MCR (Figura 3b) e COR (Figura 5b) com desempenho similar, independentemente da fonte ureia e liberação lenta em trigo inoculado com *A. brasilense*. Tal resultado se dá pela condição que a aplicação de N eleva os

níveis de clorofila da planta (QUADROS et al., 2014), elevando período fotossinteticamente ativo das plantas, retardando maturação e consequentemente aumentando valores de umidade. Contudo, são considerados adequados para realização da colheita mecânica, visto que elevação nas perdas são constadas acima de 19% b.u (FIGUEREDO et al., 2013).

Mesmo sendo constatada diferença de umidade de grãos, essa não foi suficiente para afetar o PH dos grãos, mesmo com variação do NGE (Figura 4a). Texeira Filho et al. (2008) e Theago et al (2014), estudando doses e fontes de N também não relataram diferenças entre essas sobre o PH da cultura, associado a duas cultivares, em um LVd, de textura argilosa. Contudo, o aumento da dose de N fez com que o PH dos grãos decrescesse de forma linear em LVd de textura argilosa devido ao aumento do número de grãos por espiga (TRINDADE et al., 2006).

Desta forma, devemos observar constantemente os níveis tecnológicos e as condições que o ambiente nos propiciaram para o cultivo, para que se possa tomar a decisão mais adequada sobre qual o menor manejo da adubação nitrogenada a ser utilizado.

Referências

- ANDREOTTI, M.; NAVA, I. A.; WIMMER NETO, L.; GUIMARÃES, V. F.; FURLANI JUNIOR, E. Fontes de nitrogênio e modos de adubação em cobertura sobre a produtividade de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) na "safra das águas". **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 4, p. 595-602, out./dez., 2005.
- APARECIDA, S.; ARF, O.; BUZETTI, S.; SILVA, M. G. da. Fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo em sistema plantio direto no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. Número Especial, p. 2717-2722, out./dez., 2008.
- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F. Da. Adubação nitrogenada em milho implantado em semeadura direta após aveia preta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 4, p. 745-754, out./dez., 1999.
- BENIN, G.; BORNHOFEN, E.; BECHE, E.; PAGLIOSA, E. S.; SILVA, C. L. Da; PINNOW, C. Agronomic performance of wheat cultivars in response to nitrogen fertilization levels. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá. v. 34, n. 3, p. 275-283, jul./ set., 2012.
- BRASIL. **Regra brasileira de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009.
- BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Estádios fenológicos do trigo para a adubação nitrogenada em cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 317-323, abr./jun., 2001.
- BULEGON, L. G.; KLEIN, J.; RAMPIM, L.; GUIMARÃES, V. F.; BATTISTUS, A. G.; KESTRING, D. Desenvolvimento inicial de plântulas de soja inoculadas e co-inoculadas com *Azospirillum brasilense* e *Bradyrhizobium japonicum*. **Jornal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v. 3, n. 1, p. 26-37, jul./ago., 2014.
- CATANI, R. A.; BATAGLIA, O. C. A determinação direta do nitrogênio nítrico, amoniacal e amídico (uréia) em fertilizantes. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v. 26, p. 9-19, 1969.
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília: Conab, 2016.

Conclusões

A aplicação em cobertura de 142,5 kg ha⁻¹ de N pela fonte ureia e liberação lenta, em Marechal Cândido Rondon, proporciona maior produtividade da cultura do trigo inoculada com *Azospirillum brasilense*.

O uso de 118,98 kg ha⁻¹ de N em cobertura na forma de ureia obtém maior produtividade, enquanto a fonte de liberação lenta apresenta comportamento linear para a produtividade da cultura de trigo inoculada com *Azospirillum brasilense* até a dose de 160 kg ha⁻¹ de N, em Corbélia.

A elevação das doses de N em cobertura intensifica o desenvolvimento da cultura, resultando em elevação na umidade de colheita, sem interferir no PH dos grãos, em trigo inoculada com *Azospirillum brasilense*.

Agradecimentos

À CAPES/PNPD, ao CNPq, ao INCT-FBN, à Secretaria de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior do Estado do Paraná, à Fundação Araucária e à Unioeste/PPGA

COODETEC. **Guia de produtos 2014: região sul**. Cascavel: Coodetec, 2014.

COSTA, M. C. G.; VITTI, G. C.; CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH₃ de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 631-637, jan./ mar., 2003.

COSTA, E. M. Da; NÓBREGA, R. S. A.; CARVALHO, F. De; TROCHMANN, A.; FERREIRA, L. D. V. M.; MOREIRA, F. M. D. S. Promoção do crescimento vegetal e diversidade genética de bactérias isoladas de nódulos de feijão-caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 9, p. 1275-1284, set. 2013.

DIDONET, A. D.; LIMA, O. D. S.; CANDATEN, A. A.; RODRIGUES, O. Realocação de nitrogênio e de biomassa para os grãos, em trigo submetido a inoculação de *Azospirillum*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 2, p. 401-411, fev., 2000.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília/Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez., 2011.

FIGUEREDO, A. S. T.; RESENDE, J. T. V. de; MORALES, R. G. F.; MEERT, L.; RIZZARDI, D. A. Influence of moisture grain wheat about quantitative and qualitative losses during mechanised harvesting. **Ambiência**, Guarapuava, v. 9, n. 2, p. 349-357, maio/ago., 2013.

GIFFORD, R. M.; THORNE, J. H.; HITZ, W. D.; GIAQUINTA, R. T. Crop productivity and photoassimilate partitioning. **Science**, v. 225, n. 4664, p. 801-808, ago., 1984.

IAPAR. **Informações técnicas para trigo e triticale - safra 2013**. Londrina: Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de trigo e Triticale, 2013.

KUSS, A. V.; KUSS, V. V.; LOVATO, T.; FLÓRES, M. L. Fixação de nitrogênio e produção de ácido indolacético in vitro por bactérias diazotróficas endofíticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 10, p. 1459-1465, out., 2007.

LANGE, A.; CAIONE, G.; SCHONINGER, E. L.; SILVA, R. G. Produtividade de milho safrinha em consórcio com capim-marandu em função de fontes e doses de nitrogênio em cobertura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 13, n. 1, p. 35-47, jan./abr., 2014.

MARTINS, I. S.; CAZETTA, J. O.; FUKUDA, A. J. F. Condições, modos de aplicação e doses de ureia revestida por polímeros na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 3, p. 271-279, jul./set., 2014.

MODA, L. R.; SANTOS, C. L. R. dos; FLORES, R. A.; BORGES, B. M. M. N.; ANDRIOLI, I.; PRADO, R. de M. Resposta do milho cultivado em sistema de plantio direto à aplicação de doses de nitrogênio e cultivo de plantas de cobertura em pré-safra. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. suplement 1, p. 178-187, jun., 2014.

NETO, D. H.; SEDIYAMA, T.; SOUZA, M. A. De; CECON, P. R.; YAMANAKA, C. H.; SEDIYAMA, M. A. N.; VIANA, A. E. S. Tamanho de parcelas em experimentos com trigo irrigado sob plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 6, p. 517-524, jun., 2004.

NUNES, A. da S.; SOUZA, L. C. F. de; VITORINO, A. C. T.; MOTA, L. H. de S. Adubos verdes e doses de nitrogênio em cobertura na cultura do trigo sob plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 1375-1384, out./dez., 2011.

PERRIG, D.; BOIERO, M. L.; MASCIARELLI, O. A.; PENNA, C.; RUIZ, O. A.; CASSÁN, F. D.; LUNA, M. V. Plant-growth-promoting compounds produced by two agronomically important strains of *Azospirillum* brasilense, and implications for inoculant formulation. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 75, n. 5, p. 1143-50, jul. 2007.

PRANDO, A. M.; ZUCARELI, C.; FRONZA, V.; OLIVEIRA, F. Á. de; JÚNIOR, A. O. Características produtivas do trigo em função de fontes e doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 1, p. 34-41, jan./mar., 2013.

- QUADROS, P. D.; ROESCH, L. F. W.; SILVA, P. R. F.; VIEIRA, V. M.; ROEHRS, D. D.; OLIVEIRA CAMARGO, F. A. Desempenho agrônômico a campo de híbridos de milho inoculados com *Azospirillum*. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 2, p. 209-218, mar./abr., 2014.
- QUEIROZ, A. M.; SOUZA, C. H. E.; MACHADO, V. J.; LANA, R. Q.; KORNDORFER, G. H.; SILVA, A. A. Avaliação de diferentes fontes e doses de nitrogênio na adubação da cultura do milho (*Zea mays* L.). **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 10, n. 3, p. 257-266, set./dez., 2011.
- ROCHA, J. G. da; FERREIRA, L. M.; TAVARES, O. C. H.; SANTOS, A. M. dos; SOUZA, S. R. Cinética de absorção de nitrogênio e acúmulo de frações solúveis nitrogenadas e açúcares em girassol. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 4, p. 381-390, out./dez., 2014.
- RODRIGUES, L. F. O. S.; GUIMARÃES, V. F.; SILVA, M. B.; JUNIOR, A. S. P.; KLEIN, J.; COSTA, A. C. P. R. Características agrônômicas do trigo em função de *Azospirillum brasilense*, ácidos húmicos e nitrogênio em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 1, p. 31-37, jan., 2014.
- SILVA, J. A. G.; ARENHARDT, E. G.; KRÜGER, C. A. M. B.; LUCCHESI, O. A.; METZ, M.; MAROLLI, A. A expressão dos componentes de produtividade do trigo pela classe tecnológica e aproveitamento do nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 1, p. 27-33, jan., 2015.
- SILVA, R. R.; BENIN, G.; DA SILVA, G. O.; MARCHIORO, V. S.; DE ALMEIDA, J. L.; MATEI, G. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de trigo em diferentes épocas de semeadura, no Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 1, p. 1439-1447, jan., 2011.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2013.
- TEXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; ALVAREZ, R. de C. F.; FREITAS, J. G. de; ARF, O.; SÁ, M. E. de. Desempenho agrônômico de cultivares de trigo em resposta a população de plantas e a adubação nitrogenada. **Científica**, Jaboticabal, v. 36, n. 2, p. 97-106, jul./dez., 2008.
- TEXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; BENETT, C. G. S. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo irrigado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 1, p. 797-804, jan., 2010.
- THEAGO, E. Q.; BUZETTI, S.; CARVALHO, M.; TEIXEIRA, M.; ANDREOTTI, M.; MEGDA, M. M.; BENETT, C. G. S. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio influenciando teores de clorofila e produtividade do trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 10, p. 1826-1835, out., 2014.
- TRINDADE, M. G.; STONE, L. F.; HEINEMANN, A. B.; CÁNOVAS, A. D.; MOREIRA, J. A. A. Nitrogen and water as factors of wheat productivity in cerrado region. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 24-29, jan., 2006.
- USDA. **World agricultural supply and demand estimates**. Washington D. C.: United States Department of Agriculture, 2016.
- VIOLA, R.; CASSOL, L. C.; PINNOW, C.; FLORES, M. F.; BORNHOFEN, E. Adubação verde e nitrogenada na cultura do trigo em plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 1, p. 90-100, jan./mar., 2013.
- VITTI, G. C.; TAVARES JR, J. E.; LUZ, P. H. C.; FAVARIN, J. L.; COSTA, M. C. G. Influência da mistura de sulfato de amônio com ureia sobre a volatilização de nitrogênio amoniacal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 5, p. 663-671, jul./set., 2002.