

Resposta do trigo BRS Guamirim à aplicação de *Azospirillum*, nitrogênio e substâncias promotoras do crescimento¹

Response of 'BRS Guamirim' wheat to the application of *Azospirillum*, nitrogen and growth-promoting substances

Sérgio Ricardo Silva^{2*} e João Leonardo Fernandes Pires²

RESUMO - Substâncias e microrganismos promotores do crescimento vegetal têm sido disponibilizados aos produtores rurais visando aumentar o rendimento das culturas. Este trabalho objetivou avaliar doses de nitrogênio e produtos contendo microrganismos e/ou substâncias promotoras do crescimento sobre os componentes de rendimento e produtividade da cultivar de trigo BRS Guamirim; bem como avaliar se a adição complementar de N, com ureia, é eficaz na manutenção de maior rendimento de trigo inoculado com *Azospirillum brasilense* e se esta inoculação pode substituir total ou parcialmente a adubação nitrogenada do trigo. O experimento foi conduzido em Coxilha/RS, na safra de 2014. O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com quatro repetições. Nove tratamentos compuseram o estudo: uma testemunha; quatro produtos (*Azospirillum brasilense*, hormônio vegetal sintético, estimulador vegetal mineral e biofertilizante); um tratamento com uso simultâneo dos quatro produtos; e três doses adicionais de nitrogênio (0, 40 e 120 kg ha⁻¹) associadas com *Azospirillum*. A cultivar de trigo foi avaliada quanto ao rendimento de grãos, componentes do rendimento, índice de colheita aparente, peso hectolítrico, matéria seca e conteúdo de N na parte aérea, e índice de vegetação. Os produtos avaliados, contendo microrganismos e/ou substâncias promotoras do crescimento, não alteram o rendimento de grãos de trigo na ausência de deficiências hídrica e nutricional. O *Azospirillum brasilense* não substitui total ou parcialmente a adubação nitrogenada da cultivar de trigo BRS Guamirim.

Palavras-chave: *Triticum aestivum* L.. Hormônios vegetais sintéticos. Estimuladores vegetais minerais. Biofertilizante.

ABSTRACT - Substances and microorganisms that promote plant growth have been made available to rural farmers to increase crop yields. This work aimed to evaluate nitrogen doses and products containing microorganisms, growth promoting substances or both, on the yield and production components of the 'BRS Guamirim' wheat cultivar, as well as evaluate whether the complementary addition of N by urea is effective in maintaining a higher yield in wheat inoculated with *Azospirillum brasilense*, and whether such inoculation can totally or partially replace nitrogen fertilisation in wheat. The experiment was conducted in Coxilha in the State of Rio Grande do Sul, Brazil, in the 2014 season. The experimental design was of randomised blocks with four replications. The study comprised nine treatments: one control; four products (*Azospirillum brasilense*, synthetic plant hormone, mineral plant stimulator and biofertiliser); one treatment with the simultaneous use of the four products; and three additional doses of nitrogen (0, 40 and 120 kg ha⁻¹) together with *Azospirillum*. The wheat cultivar was evaluated for grain yield, yield components, apparent harvest index, hectolitre weight, shoot dry matter and N content, and vegetation index. The evaluated products, containing microorganisms and/or growth promoting substances, do not alter wheat grain yield in the absence of water or nutritional deficiency. *Azospirillum brasilense* does neither totally nor partially replace nitrogen fertilisation in the 'BRS Guamirim' wheat cultivar.

Key words: *Triticum aestivum* L.. Synthetic plant hormones. Mineral plant stimulators. Biofertilizer.

DOI: 10.5935/1806-6690.20170073

*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 27/10/2015; aprovado em 04/01/2017

¹Pesquisa financiada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)

²Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, Embrapa, Passo Fundo-RS, Brasil, sergio.ricardo@embrapa.br, joao.pires@embrapa.br

INTRODUÇÃO

Em escala global, o trigo é a segunda mais importante fonte de calorias para a alimentação humana (LONG; ORT, 2010). Nas últimas cinco décadas a produção mundial deste cereal cresceu de 200 para mais de 650 milhões de toneladas (CANZIANI; GUIMARÃES, 2009). No Brasil, a triticultura tem apresentado significativa evolução tecnológica nas últimas décadas, o que pode ser caracterizado com base nos dados da CONAB (2016). Na safra de 1977 foram cultivados 3,15 milhões de hectares de trigo, com produtividade média nacional de 655 kg ha⁻¹, ao passo que na safra de 2015 a área tritícola foi reduzida para 2,45 milhões de hectares, contudo, a produtividade saltou para 2.260 kg ha⁻¹, ou seja, houve redução de 22% na área explorada com o cereal e incremento de 245% da produtividade de trigo neste período.

Vários insumos foram desenvolvidos recentemente no mercado brasileiro para a cultura do trigo, destacando-se fertilizantes com novas formulações e produtos contendo microrganismos e/ou substâncias promotoras do crescimento vegetal. No entanto, são crescentes as dúvidas de técnicos e agricultores quanto à eficiência agrônômica destas substâncias, devido à carência de informações técnicas com acurácia científica.

Trabalhos sobre eficiência de microrganismos promotores do crescimento de plantas de trigo foram realizados nas últimas décadas, com destaque para bactérias fixadoras de nitrogênio, como *Azospirillum* sp. No entanto, os resultados obtidos com a inoculação desta bactéria são contraditórios, com relatos positivos sobre o rendimento de grãos (DALLA SANTA *et al.*, 2008; HUNGRIA *et al.*, 2010; SALA *et al.*, 2007;) ou ausência de resposta (DIDONET *et al.*, 2000; DIDONET; RODRIGUES; KENNER, 1996; DOBBELAERE *et al.*, 2002; ÖGUT *et al.*, 2005; RODRIGUES *et al.*, 2000; SALA *et al.*, 2008; SALANTUR; OZTURK; AKTEN, 2006). Na maioria dos relatos de incremento na produtividade de trigo em resposta à inoculação com *Azospirillum* sp. houve ausência ou baixa dose de adubação nitrogenada, e os rendimentos de grãos foram inferiores aos tratamentos que receberam adequado suprimento de nitrogênio (N). Devido a este fato, Kennedy, Choudhury e Kecskés (2004) sugerem a hipótese de que a suplementação de N, via ureia, é uma alternativa para manter maiores rendimentos de trigo inoculado com *Azospirillum*. No entanto, de acordo com Hartmann (1988), a eficiência da fixação biológica em *Azospirillum* sp. é rapidamente reduzida, ou mesmo inibida, na presença de altas concentrações de compostos nitrogenados no solo, especialmente de amônio, que causa a rápida inibição da atividade da nitrogenase na bactéria, sendo esta enzima responsável pela conversão do nitrogênio atmosférico (N₂) em forma assimilável pelas plantas.

Bioreguladores ou reguladores vegetais comercializados para agricultura são substâncias químicas sintéticas que, aplicadas exogeneamente, apresentam efeito sobre o metabolismo vegetal, agindo de forma similar aos hormônios vegetais naturais. No Brasil, um insumo contendo fitohormônios do grupo químico citocinina+giberilina+ácido indolcanóico é registrado como regulador de crescimento de plantas. Deste modo, na maioria dos trabalhos publicados em periódicos científicos há relatos do seu uso, principalmente com a cultura da soja (*Glycine max*) (BERTOLIN *et al.*, 2010; CASTRO *et al.*, 2008; KLAHOLD *et al.*, 2006), feijão (*Phaseolus vulgaris*) (LANA *et al.*, 2009) e girassol (*Helianthus annuus* L.) (SANTOS *et al.*, 2013), não sendo encontrados relatos científicos do uso deste insumo em trigo. No entanto, Cai *et al.* (2014) obtiveram incrementos de rendimento de grãos de trigo com a aplicação individual dos hormônios vegetais ácido indol-3-acético (AIA), zeatina e ácido giberélico (GA₃).

“Estimuladores vegetais” é um termo aplicado a substâncias que promovem o crescimento de plantas, por meio do estímulo ao desenvolvimento radicular e consequente aumento da tolerância a estresses hídricos e térmicos. No Brasil, há um produto de fabricação regional, recentemente disponibilizado ao consumidor, composto por mistura de extratos minerais selecionados de rocha, que contem estimuladores vegetais, indicado pelo fabricante para várias culturas, inclusive trigo.

Biofertilizantes são insumos promotores do crescimento vegetal que contêm substâncias ou microrganismos vivos que podem atuar como controladores de parasitas, além de outros elementos orgânicos que atuam como fitohormônios, fortificantes e promotores do desenvolvimento (PAULUS; MÜLLER; BARCELLOS, 2000). Na última década, diversos trabalhos avaliaram biofertilizantes nas culturas do arroz (*Oriza sativa*) (BELLINI; SCHMIDT FILHO; MORESKI, 2013), feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) (GALBIATTI *et al.*, 2011) e milho (*Zea mays* L.) (BEZERRA *et al.*, 2008), dentre outras.

Para o que pôde ser contemplado na presente revisão bibliográfica, não foram encontrados relatos científicos de trabalhos avaliando estimuladores vegetais e biofertilizantes para a cultura do trigo.

Os objetivos deste trabalho foram: i) avaliar a resposta do trigo à aplicação de quatro produtos contendo microrganismos e/ou substâncias promotoras do crescimento de plantas: reguladores vegetais hormonais, estimuladores vegetais minerais, biofertilizante e *Azospirillum brasilense*; ii) avaliar se a suplementação de N, via adubação nitrogenada com ureia, é eficaz na manutenção de maior rendimento de trigo inoculado

com *Azospirillum*; iii) avaliar se a inoculação de bactérias *Azospirillum brasilense* pode substituir total ou parcialmente a adubação nitrogenada do trigo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em Coxilha (28°15' S, 52°24' W; altitude de 684 m), região norte do estado do Rio Grande do Sul, na safra 2014. O relevo da região é composto por coxilhas suavemente onduladas e o solo da área experimental é um Latossolo Vermelho distrófico, com as seguintes características na camada de 0-10 cm: pH em água de 5,6; 530 g kg⁻¹ de argila; 1,63 dag kg⁻¹ de carbono orgânico total; 21,7 mg dm⁻³ de P disponível/Mehlich-1; 216 mg dm⁻³ de K trocável; 4,47 cmol_c dm⁻³ de Ca²⁺ trocável; 3,16 cmol_c dm⁻³ de Mg²⁺ trocável; saturação por bases de 60%. O clima regional, de acordo com a classificação de Köppen, é subtropical úmido (Cfa). A Figura 1 contém as variáveis meteorológicas mais importantes registradas durante o período experimental.

Nove tratamentos compuseram o estudo, conforme descrito a seguir:

T1 (testemunha) = sementes tratadas com inseticida Imidacloprido (1,0 mL kg⁻¹ de semente) e fungicida Triadimenol (2,5 mL kg⁻¹ de semente), no dia anterior à semeadura. A adubação nitrogenada em cobertura de 80 kg ha⁻¹ de N (na forma de ureia) foi parcelada, 50% da dose no estágio de afilamento pleno e 50% no início do alongamento, de acordo com as indicações para a cultura do trigo (CBPTT, 2013).

T2 = T1 + inoculante sólido turfoso [8 g kg⁻¹ (inoculante/semente), segundo recomendação do fabricante], contendo culturas puras de bactérias *Azospirillum brasilense* (Estirpes AbV5 e AbV6, com 2x10⁸ ufc g⁻¹), aplicado às sementes no dia da semeadura.

T3 = T2, porém sem adubação nitrogenada em cobertura (0 kg ha⁻¹ de N);

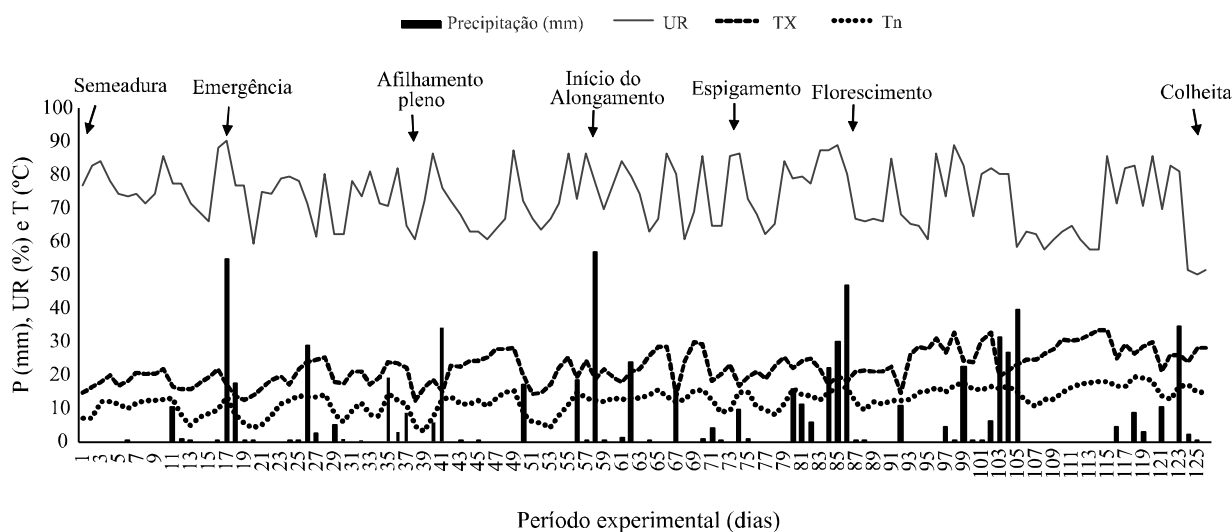
T4 = T2, porém com 50% da dose de N em cobertura (40 kg ha⁻¹ de N, parcelado como em T1);

T5 = T2, porém com 150% da dose de N em cobertura (120 kg ha⁻¹ de N, parcelado como em T1);

T6 = T1 + produto contendo reguladores vegetais hormonais (composição: 0,09 g L⁻¹ de cinetina; 0,05 g L⁻¹ de ácido giberélico; 0,05 g L⁻¹ de ácido 4-indol-3-ilbutírico; 999,8 g L⁻¹ de ingredientes inertes). A aplicação do produto foi realizada em três etapas: no tratamento de sementes (7,5 mL kg⁻¹ de sementes) no dia da semeadura; no sulco de semeio (1,0 L ha⁻¹) imediatamente após a semeadura; e em pulverização foliar (0,5 L ha⁻¹ do produto, que foi diluído em água e aplicado com 150 L ha⁻¹ de calda) na fase de afilamento pleno;

T7 = T1 + produto contendo estimulador vegetal composto por mistura de extratos minerais selecionados de rocha [teores totais de nutrientes, em g kg⁻¹: 4,47 de P; 3 de Ca; 1 de Mg; 0,6 de Fe; 0,075 de Zn; 0,065 de Cu; 0,365 de Mn; e 0,04 de B; obtidos por meio de análises químicas (BRASIL, 2014) do insumo utilizado no ensaio]. A aplicação do produto, conforme recomendação do fabricante, foi realizada em três etapas: no tratamento de sementes (5 g kg⁻¹ de sementes) no dia da semeadura; e em pulverização foliar (375 g ha⁻¹ do produto, que foi

Figura 1 - Precipitação pluviométrica (P), umidade relativa do ar (UR), temperaturas máxima (TX) e mínima (Tn) do ar durante o ciclo do trigo BRS Guamirim no período experimental (08/07 a 10/11/2014 = 126 dias)



diluído em água e aplicado com 150 L ha⁻¹ de calda) em dois estádios de desenvolvimento: afilhamento pleno e início do alongamento;

T8 = T1 + biofertilizante líquido [teores totais de nutrientes, em mg L⁻¹: 600 de N; 260 de P; 100 de Ca; 100 de Mg; 16,8 de Fe; 0,35 de Zn; 0,64 de Cu; 0,76 de Mn; 6,03 de B; obtidos por meio de análises químicas (BRASIL, 2014) do insumo utilizado no ensaio], contendo esterco bovino fresco e um produto biológico contendo microrganismos (bactérias, fungos, leveduras e actinomicetos), nutrientes (macro e micronutrientes) e metabólitos secundários (terpenos, compostos fenólicos e alcalóides). O biofertilizante foi aplicado em quatro etapas: em toda superfície do solo (150 L ha⁻¹), após a emergência das plântulas; em pulverização foliar (4,5 L ha⁻¹ do produto, que foram diluídos em água e aplicados com 150 L ha⁻¹ de calda) em três estádios: afilhamento pleno, início do alongamento e florescimento;

T9 = T1 + *Azospirillum brasilense* + reguladores vegetais hormonais + estimuladores vegetais minerais + biofertilizante, com as doses e métodos de aplicação dos tratamentos T2, T6, T7 e T8, respectivamente. A finalidade deste tratamento exploratório é evidenciar a existência de algum efeito sinérgico ou antagônico com o uso simultâneo dos quatro produtos.

A adubação de base foi aplicada no sulco de semeadura com 300 kg ha⁻¹ do adubo 05-25-25 (N-P₂O₅-K₂O). Plantas daninhas, pragas e doenças foram controladas de acordo com as indicações para a cultura do trigo (CBPTT, 2013).

O ensaio foi conduzido em delineamento com blocos casualizados, com quatro repetições. Cada parcela experimental foi composta por 9 linhas de semeadura com 6,5 m de comprimento, espaçadas 0,17 m entre si, totalizando 9,95 m². A área útil da parcela foi composta por 7 linhas centrais de 5 m de comprimento, resultando em 5,95 m². A cultivar de trigo BRS Guamirim foi semeada em 08/07/2014 sobre resteva de azevém, em densidade de semeadura objetivando-se uma população inicial de 300 plantas m⁻².

Para avaliação do N absorvido, plantas de trigo (exceto raízes) foram colhidas no estádio de florescimento [69 dias após emergência (DAE)] em duas linhas de plantas com 0,5 m de extensão (0,17 m²). O conteúdo de N na parte aérea (CNPA) das plantas foi estimado a partir do teor total de N (método de Kjeldahl) e da matéria seca da parte aérea. O florescimento foi escolhido para esta avaliação devido ser o estádio com maior conteúdo de N absorvido pela planta, apresentando, portanto, maior contribuição para a formação e rendimento de grãos.

O índice de vegetação NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) foi avaliado por meio do uso do equipamento GreenSeeker® (marca Trimble) nos estádios de início do alongamento (40 DAE), espigamento (55 DAE), florescimento (69 DAE) e maturação fisiológica (108 DAE), sendo obtidas em cada avaliação 32 leituras de NDVI com o sensor óptico ao longo de 5 m de comprimento em cada parcela, cuja média foi utilizada no trabalho.

O rendimento de grãos foi estimado pela colheita da área útil das parcelas, registrando-se o peso de grãos após ajuste da umidade para 13%. Esta amostra também foi utilizada para cálculo do peso de 1.000 grãos, peso hectolítrico e número de grãos m⁻².

Plantas de trigo foram colhidas no estádio de maturação fisiológica em uma linha de plantas com 1,0 m de extensão (0,17 m²), para avaliar os seguintes componentes: matéria seca de palha (MSP) (colmos, folhas, glumas, aristas e ráquis), matéria seca de grãos (MSG), número de grãos por espiga, peso de grãos por espiga, número de espiguetas por espiga, comprimento de espiga (desconsiderando as aristas) e número de espigas m⁻². O índice de colheita aparente (ICa) foi estimado a partir da MSP e MSG (Equação 1):

$$ICa = \frac{MSG}{MSG + MSP} \quad (1)$$

onde: ICa expresso em kg kg⁻¹, MSG e MSP em kg ha⁻¹.

Os resultados experimentais foram analisados utilizando o software estatístico GENES® (CRUZ, 2013). Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de variáveis de Lilliefors e ao teste de homogeneidade de variâncias de Bartlett. Coeficientes de assimetria e curtose também foram avaliados. Atendidas todas as pressuposições requeridas para análise de variância (ANOVA), esta foi realizada até o nível de significância de 5%. As médias dos tratamentos qualitativos T2, T6, T7, T8 e T9 foram comparadas com T1 (testemunha) pelo teste de Dunnett, a 5% de significância. As médias dos tratamentos quantitativos com doses de N (T2, T3, T4 e T5), foram submetidas à análise de regressão por meio do software SAEG® (EUCLYDES, 1997), para ajuste dos modelos linear e quadrático que melhor se ajustam biologicamente aos resultados experimentais. Para escolha dos modelos, os coeficientes das equações foram testados pelo teste F a 1 e 5% de significância. Finalmente, para dois modelos com coeficientes significativos, a seleção foi feita com base no maior coeficiente de determinação (R²). Adicionalmente, foi realizada análise de correlação de Pearson (a 1 e 5% de significância, pelo teste t) entre o rendimento de grãos e as demais variáveis avaliadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre as variáveis estudadas, observou-se significância dos tratamentos sobre o rendimento de grãos, conteúdo de N na parte aérea e índice de vegetação NDVI nos estágios de alongamento, espigamento, florescimento e maturação fisiológica (Tabela 1).

Após desdobramento dos resultados, constatou-se que o teste de Dunnett não foi sensível em apontar diferença entre a testemunha (somente com uso de inseticida e fungicida nas sementes) e os tratamentos qualitativos (Tabela 2), mesmo para as variáveis em que, anteriormente, observou-se significância do teste F (Tabela 1). Estes resultados demonstraram que a adição de produtos contendo *Azospirillum brasilense*, reguladores vegetais hormonais, estimuladores vegetais minerais, biofertilizante, ou a associação destes quatro produtos, não resultou em incremento nos componentes de rendimento e na produtividade do trigo, já que, considerando o material genético utilizado (BRS Guamirim), as características do solo e as condições meteorológicas durante o período experimental, foram obtidas altas produtividades já no tratamento testemunha.

O rendimento médio de grãos do ensaio foi 3.668 kg ha⁻¹, 76% superior à média histórica (10 anos) do RS (2.089 kg ha⁻¹). Pela análise dos dados meteorológicos (Figura 1), verifica-se que houve boa distribuição de chuvas no período experimental, sem ocorrência de estresse por déficit hídrico. Também verifica-se que o solo apresentava teores satisfatórios dos principais nutrientes, que associados às fertilizações de base (300 kg ha⁻¹ de 05-

25-25) e nitrogenada de cobertura (80 kg ha⁻¹ de N), foram suficientes para nutrir adequadamente a cultura. Desta forma, a aplicação dos produtos contendo substâncias promotoras do crescimento de raízes (para aumentar a aquisição de água e nutrientes) não expressou seus efeitos nesta situação de ausência de deficiências hídrica e nutricional.

Alguns relatos na literatura afirmam que os efeitos de microrganismos e/ou substâncias promotoras do crescimento são mais proeminentes em condições ambientais mais restritivas ao crescimento de plantas, principalmente sob estresses hídricos e nutricionais. Dobbelaere *et al.* (2002) relatam que os efeitos positivos da inoculação de *Azospirillum sp.* em plantas de trigo e milho foram mais pronunciados quando em associação com baixo ou intermediário nível de fertilização, sendo que estes resultados foram atribuídos mais à promoção do desenvolvimento radicular estimulado pelas bactérias do que à fixação de N atmosférico. De acordo com estes autores, os benefícios de *Azospirillum* no crescimento das plantas são principalmente devido a mudanças morfológicas e fisiológicas de raízes inoculadas, permitindo maior absorção de água e nutrientes. De acordo com Bashan, Holguin e de-Bashan (2004) e Hungria *et al.* (2010), os efeitos positivos das bactérias promotoras do crescimento de plantas devem-se à associação de vários fatores, como a síntese de hormônios vegetais que estimulam o crescimento de raízes e a absorção de água e nutrientes, o que conduz ao aumento da tolerância a estresses diversos, como hídrico e salino, resultando em plantas mais vigorosas e produtivas.

Tabela 1 - Resumo da análise de variância dos componentes do rendimento de grãos, índice de colheita, rendimento de grãos, matéria seca e conteúdo de nitrogênio da parte aérea e índice de vegetação de plantas de trigo em resposta à aplicação de produtos contendo *Azospirillum brasilense*, reguladores vegetais hormonais, estimuladores vegetais minerais, biofertilizante e doses de nitrogênio associadas com *Azospirillum*

FV ⁽¹⁾	GL ⁽²⁾	Quadrado médio							
		Espigas/Área	Espiguetas/Espiga	Grãos/área	Grãos/ espiga	Peso de grãos/Espiga	Comp. espiga	Peso de mil grãos	PH ⁽⁴⁾
Tratam.	8	9351 ^{ns}	0,12 ^{ns}	5826719 ^{ns}	22,9 ^{ns}	0,023 ^{ns}	0,26 ^{ns}	7,68 ^{ns}	1,27 ^{ns}
Bloco	3	2411 ^{ns}	0,026 ^{ns}	1604434 ^{ns}	2,1 ^{ns}	0,0057 ^{ns}	0,31 ^{ns}	7,93 ^{ns}	0,72 ^{ns}
Resíduo	24	7170	0,16	625507	17,5	0,019	0,14	4,39	0,69
CV (%) ⁽³⁾		14	3,5	8,7	23,4	22,9	6,2	6,1	1,0

FV ⁽¹⁾	GL ⁽²⁾	Quadrado médio							
		ICa ⁽⁵⁾	Rend. grãos	MSPA Floresc. ⁽⁶⁾	CNPA Floresc. ⁽⁶⁾	NDVI Along. ⁽⁷⁾	NDVI Espig. ⁽⁷⁾	NDVI Flor. ⁽⁷⁾	NDVI Mat. Fisiol. ⁽⁷⁾
Tratam.	8	0,00064 ^{ns}	650486***	1547599 ^{ns}	888**	0,0066***	0,00499***	0,0039***	0,0177***
Bloco	3	0,00033 ^{ns}	43353 ^{ns}	1201570 ^{ns}	647 ^{ns}	0,0013 ^{ns}	0,00017 ^{ns}	0,00016 ^{ns}	0,00189 ^{ns}
Resíduo	24	0,00046	48809	792445	263	0,0011	0,00016	0,00027	0,0034
CV (%) ⁽³⁾		5,9	6,3	11,7	15,4	4,7	1,6	2,1	12,2

⁽¹⁾FV = fontes de variação; ⁽²⁾GL = graus de liberdade; ⁽³⁾CV = coeficiente de variação; ⁽⁴⁾PH = peso hectolétrico; ⁽⁵⁾ICa = índice de colheita aparente; ⁽⁶⁾Matéria seca da parte aérea (MSPA) e conteúdo de nitrogênio na parte aérea (CNPA) de plantas de trigo no início do florescimento; ⁽⁷⁾NDVI = índice de vegetação por diferença normalizada, mensurado em quatro estádios fenológicos (início do alongamento, espigamento, florescimento e maturação fisiológica); ns = não significativo; ** e *** = significativo a 1 e 0,1% pelo teste F, respectivamente

Tabela 2 - Componentes do rendimento de grãos, índice de colheita, rendimento de grãos, matéria seca e conteúdo de nitrogênio da parte aérea, e índice de vegetação de plantas de trigo em resposta à aplicação de produtos contendo *Azospirillum brasilense* (A), reguladores vegetais hormonais (R), estimuladores vegetais minerais (E) e biofertilizante (B)

Tratamento	Espigas	Espiguetas	Grãos/ área	Grãos/ espiga	Peso de grãos	Comp. espiga	Peso de mil grãos	PH ⁽¹⁾
	(espigas m ⁻²)	(espiguetas espiga ⁻¹)	(grãos m ⁻²)	(grãos espiga ⁻¹)	(g espiga ⁻¹)	(cm)	(g)	(kg hL ⁻¹)
Azospirillum (A) ⁽²⁾	574 ^{ns}	11,5 ^{ns}	9590 ^{ns}	20,8 ^{ns}	0,69 ^{ns}	6,4 ^{ns}	33,3 ^{ns}	78,9 ^{ns}
Regul. veg. (R)	629 ^{ns}	11,5 ^{ns}	9614 ^{ns}	14,9 ^{ns}	0,51 ^{ns}	6,2 ^{ns}	33,3 ^{ns}	78,8 ^{ns}
Estim. veg. (E)	574 ^{ns}	11,6 ^{ns}	8937 ^{ns}	18,1 ^{ns}	0,61 ^{ns}	6,4 ^{ns}	36,2 ^{ns}	78,4 ^{ns}
Biofertil. (B)	616 ^{ns}	11,7 ^{ns}	9851 ^{ns}	16,6 ^{ns}	0,56 ^{ns}	6,0 ^{ns}	33,1 ^{ns}	79,3 ^{ns}
A+R+E+B ⁽³⁾	615 ^{ns}	11,4 ^{ns}	9567 ^{ns}	18,7 ^{ns}	0,62 ^{ns}	5,9 ^{ns}	33,0 ^{ns}	79,0 ^{ns}
Testemunha	588	11,4	9479	16,4	0,55	6,1	34,3	78,8
DMS (5%) ⁽⁴⁾	182	0,9	1556	7,9	0,26	0,7	3,9	1,7

Tratamento	ICa ⁽⁵⁾	Rend. grãos	MSPA Floresc. ⁽⁶⁾	CNPA Floresc. ⁽⁶⁾	NDVI Along. ⁽⁷⁾	NDVI Espig. ⁽⁷⁾	NDVI Flor. ⁽⁷⁾	NDVI Mat. Fisiol. ⁽⁷⁾
	(kg kg ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	–	–	–	–
Azospirillum (A) ⁽²⁾	0,37 ^{ns}	3664 ^{ns}	7652 ^{ns}	106,7 ^{ns}	0,696 ^{ns}	0,827 ^{ns}	0,810 ^{ns}	0,50 ^{ns}
Regul. veg. (R)	0,36 ^{ns}	3676 ^{ns}	8099 ^{ns}	115,5 ^{ns}	0,72 ^{ns}	0,832 ^{ns}	0,813 ^{ns}	0,501 ^{ns}
Estim. veg. (E)	0,37 ^{ns}	3704 ^{ns}	7309 ^{ns}	105,9 ^{ns}	0,715 ^{ns}	0,833 ^{ns}	0,815 ^{ns}	0,506 ^{ns}
Biofertil. (B)	0,37 ^{ns}	3722 ^{ns}	8107 ^{ns}	115,5 ^{ns}	0,719 ^{ns}	0,833 ^{ns}	0,811 ^{ns}	0,523 ^{ns}
A+R+E+B ⁽³⁾	0,39 ^{ns}	3614 ^{ns}	8130 ^{ns}	103,7 ^{ns}	0,675 ^{ns}	0,824 ^{ns}	0,804 ^{ns}	0,465 ^{ns}
Testemunha	0,38	3717	7565	104,3	0,705	0,834	0,813	0,492
DMS (5%) ⁽⁴⁾	0,04	434	1660	32,6	0,062	0,024	0,030	0,111

⁽¹⁾PH = peso hectolítico. ⁽²⁾Resultados do tratamento T2. ⁽³⁾Tratamento com aplicação simultânea dos quatro produtos (T9). ⁽⁴⁾DMS = diferença mínima significativa (ns = não significativo em relação à testemunha pelo teste de Dunnett, $P > 0,05$). ⁽⁵⁾ICa = Índice de colheita aparente. ⁽⁶⁾Matéria seca da parte aérea (MSPA) e conteúdo de nitrogênio na parte aérea (CNPA) de plantas de trigo no início do florescimento. ⁽⁷⁾NDVI = índice de vegetação por diferença normalizada, mensurado em quatro estádios fenológicos (início do alongamento, espigamento, florescimento e maturação fisiológica)

Por meio da análise associativa entre o rendimento de grãos e as demais variáveis avaliadas neste estudo, verifica-se que o índice de vegetação NDVI, nos estádios de início do alongamento, espigamento, florescimento e início da maturação fisiológica, apresentou coeficientes de correlação elevados e positivos com o rendimento de grãos de trigo ($r = 0,94^{**}$; $0,99^{**}$; $0,99^{**}$; e $0,96^{**}$, respectivamente). Desta forma, a avaliação de NDVI apresenta-se como ferramenta útil para predição do rendimento de grãos em trigo.

Outras variáveis também correlacionaram-se bem com o rendimento de grãos, como o número de grãos m⁻² ($r = 0,97^{**}$) e o conteúdo de N na parte aérea da planta no estádio de florescimento ($r = 0,92^{**}$). Didonet *et al.* (2000) e Sangoi *et al.* (2007) também verificaram que o número de grãos por área é o componente que apresenta a maior correlação positiva com o rendimento de trigo, pois integra os efeitos do afilhamento, da sobrevivência de afilhos e do número de espiguetas por espiga, os quais alteram o número de espigas por área e o número de grãos por espiga. Portanto, estas características também são úteis para estimar o rendimento de grãos na triticultura.

Considerando a boa correlação entre o rendimento de grãos e o conteúdo de N na biomassa no estádio de florescimento, evidencia-se a possibilidade de que o

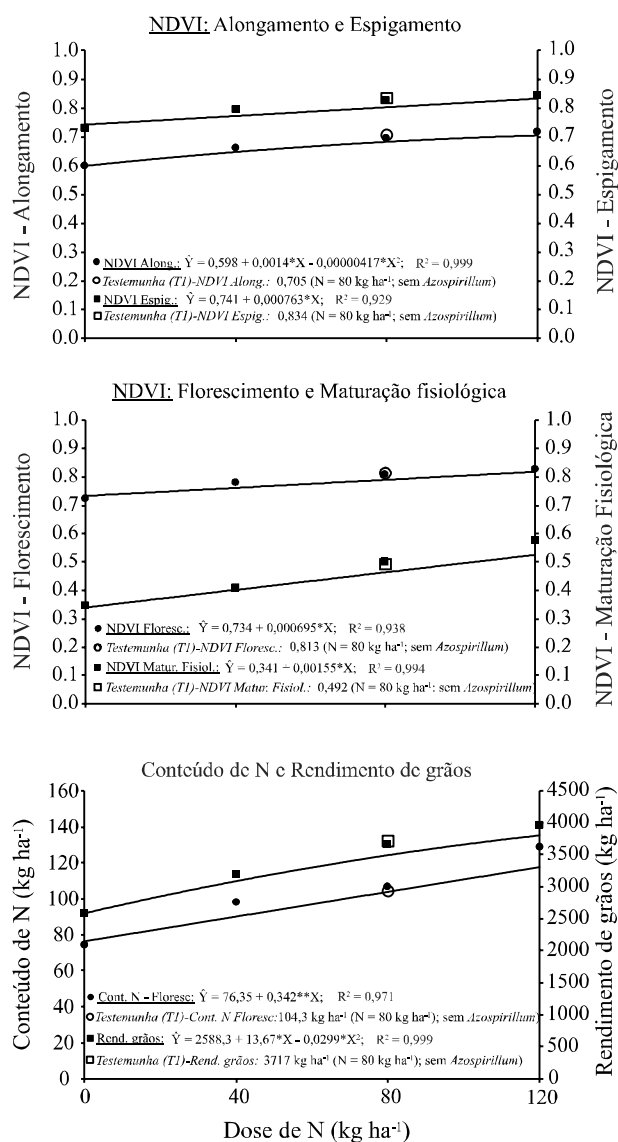
nitrogênio absorvido e acumulado até a antese seja determinante para a formação e enchimento de grãos. Portanto, espera-se que a fertilização nitrogenada proporcione melhores resultados quando realizada antes deste estádio, de tal modo a permitir a máxima acumulação de N até o florescimento. Esta evidência é reforçada por Sangoi *et al.* (2007), que verificaram aumento da massa de grãos associado à maior disponibilidade de N entre a floração e o início do enchimento de grãos.

Para avaliar a hipótese de que a inoculação de bactérias *Azospirillum brasilense* substitui total ou parcialmente a adubação nitrogenada em trigo, foram avaliados os efeitos de doses de N (0; 40; 80 e 120 kg ha⁻¹) associadas com dose única de inoculante turfoso (8 g kg⁻¹ de semente) (Figura 2).

Verifica-se que a inoculação de sementes de trigo com esta bactéria fixadora de N não aumentou o rendimento de trigo nem compensou o uso de doses menores de N. Analisando as curvas de resposta, verifica-se que o rendimento de grãos de trigo no tratamento testemunha (80 kg ha⁻¹ de N, sem inoculação de *Azospirillum*) foi similar ao tratamento inoculado com *Azospirillum* e com mesma dose de N, ou seja, o aumento do rendimento de grãos pode ser atribuído exclusivamente ao aumento da dose de N. Respostas similares ocorreram com o conteúdo de N na parte aérea no florescimento e com o índice de

vegetação NDVI nos quatro estádios fenológicos, ou seja, as respostas positivas relacionam-se ao aumento da disponibilidade de N via adubação e não à inoculação com *Azospirillum brasilense*. Estes resultados corroboram com Dartora *et al.* (2013), que também não observaram influência das doses de N nas bactérias diazotróficas (*Azospirillum brasilense* e *Herbaspirillum seropedicae*), quando em associação com plantas de milho.

Figura 2 - Índice de vegetação NDVI (*normalized difference vegetation index*) em quatro estádios fenológicos (início do alongamento, espigamento, florescimento e maturação fisiológica); conteúdo de nitrogênio na parte aérea da planta no florescimento; e rendimento de grãos de trigo em resposta às doses de nitrogênio associadas com *Azospirillum* (** e *: significância dos coeficientes pelo teste F, respectivamente, $P < 0,01$ e $P < 0,05$)



O índice de vegetação teve curvas de resposta às doses de N muito similares entre os estádios de espigamento e florescimento, que apresentaram os maiores valores médios de NDVI (0,799 e 0,786, respectivamente), seguidos das fases de início do alongamento (0,668) e maturação fisiológica (0,458) (Figura 2). Desta forma, verifica-se que o máximo acúmulo de área foliar verde ocorreu previamente à formação de grãos, de modo a favorecer uma proporcional síntese de carboidratos disponíveis para o enchimento de grãos, sendo, portanto, um período crítico para obtenção de maiores rendimentos de grãos.

CONCLUSÕES

1. A aplicação de produtos contendo microrganismos e/ou substâncias promotoras do crescimento não aumenta o rendimento de grãos da cultivar de trigo BRS Guamirim, em condição de ausência de deficiências hídrica e nutricional;
2. A suplementação de N, via adubação nitrogenada com ureia, não é eficaz para incrementar os efeitos da inoculação com *Azospirillum* sobre o rendimento de trigo BRS Guamirim;
3. A inoculação de trigo BRS Guamirim com bactérias *Azospirillum brasilense* não substitui total ou parcialmente a adubação nitrogenada da cultura.

REFERÊNCIAS

- BASHAN, Y.; HOLGUIN, G.; DE-BASHAN, L. E. *Azospirillum*-plant relations physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003). **Canadian Journal of Microbiology**, v. 50, n. 8, p. 521-577, 2004.
- BELLINI, G.; SCHMIDT FILHO, E.; MORESKI, H. M. Influência da aplicação de um fertilizante biológico sobre alguns atributos físicos e químicos de solo de uma área cultivada com arroz (*Oriza sativa*). **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 6, n. 2, p. 325-336, 2013.
- BERTOLIN, D. C. *et al.* Aumento da produtividade de soja com a aplicação de bioestimulantes. **Bragantia**, v. 69, n. 2, p. 339-347, 2010.
- BEZERRA, L. L. *et al.* Avaliação da aplicação de biofertilizante na cultura do milho: crescimento e produção. **Revista Verde**, v. 3, n. 3, p. 131-139, 2008.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos**. 1. ed. Brasília, DF, 2014. 220 p.
- CAI, T. *et al.* Exogenous hormonal application improves grain yield of wheat by optimizing tiller productivity. **Field Crops Research**, v. 155, n. 1, p. 172-183, 2014.

- CANZIANI, J. R.; GUIMARÃES, V. D. A. O trigo no Brasil e no mundo: cadeia de produção, transformação e comercialização. In: CUNHA, G. R. **Oficina sobre trigo no Brasil: bases para a construção de uma nova triticultura brasileira**. 1. ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. cap. 2, p. 29-72.
- CASTRO, G. S. A. *et al.* Tratamento de sementes de soja com inseticidas e um bioestimulante. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 10, p. 1311-1318, 2008.
- COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRICALE. **Informações técnicas para trigo e triticales: safra 2013**. Londrina: Iapar, 2013. 220 p.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Séries históricas de área plantada, produtividade e produção, relativas às safras 1976/77 a 2014/15 de grãos**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 28 dez. 2016.
- CRUZ, C. D. Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.
- DALLA SANTA, O.R. *et al.* Influência da inoculação de *Azospirillum sp.* em trigo, cevada e aveia. **Ambiência**, v. 4, n. 2, p. 197-207, 2008.
- DARTORA, J. *et al.* Adubação nitrogenada associada à inoculação com *Azospirillum brasilense* e *Herbaspirillum seropedicae* na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 10, p. 1023-1029, 2013.
- DIDONET, A. D. *et al.* Realocação de nitrogênio e de biomassa para os grãos em trigo submetido a inoculação de *Azospirillum*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 2, p. 401-411, 2000.
- DIDONET, A. D.; RODRIGUES, O.; KENNER, M. H. Acúmulo de nitrogênio e de massa seca em plantas de trigo inoculadas com *Azospirillum brasilense*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 31, n. 9, p. 645-651, 1996.
- DOBBELAERE, S. *et al.* Effect of inoculation with wild type *Azospirillum brasilense* and *A. irakense* strains on development and nitrogen uptake of spring wheat and grain maize. **Biology and Fertility of Soils**, v. 36, n. 4, p. 284-297, 2002.
- EUCLYDES, R. F. **Manual de utilização do programa SAEG (Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas)**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 150 p.
- GALBIATTI, J. A. *et al.* Desenvolvimento do feijoeiro sob o uso de biofertilizante e adubação mineral. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 1, p. 167-177, 2011.
- HARTMANN, A. Ecophysiological aspects of growth and nitrogen fixation in *Azospirillum* spp. **Plant and Soil**, v. 110, n. 2, p. 225-238, 1988.
- HUNGRIA, M. *et al.* Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant and Soil**, v. 331, n. 1/2, p. 413-425, 2010.
- KENNEDY, I. R.; CHOUDHURY, A. T. M. A.; KECSKÉS, M. L. Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited? **Soil Biology & Biochemistry**, v. 36, n. 8, p. 1229-1244, 2004.
- KLAHOLD, C. A. *et al.* Resposta da soja (*Glycine max* (L) Merrill) à ação de bioestimulante. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 28, n. 2, p. 179-185, 2006.
- LANA, A. M. Q. *et al.* Aplicação de reguladores de crescimento na cultura do feijoeiro. **Bioscience Journal**, v. 25, n. 1, p. 13-20, 2009.
- LONG, S. P.; ORT, D. R. More than taking the heat: crops and global change. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 13, n. 3, p. 241-248, 2010.
- ÖGUT, M. *et al.* Single and double inoculation with *Azospirillum/Trichoderma*: the effects on dry bean and wheat. **Biology and Fertility of Soils**, v. 41, n. 4, p. 262-272, 2005.
- PAULUS, G.; MÜLLER, A. M.; BARCELLOS, L. A. R. **Agroecologia aplicada: práticas e métodos para uma agricultura de base ecológica**. Porto Alegre: Emater-RS, 2000. 86 p.
- RODRIGUES, O. *et al.* Nitrogen translocation in wheat inoculated with *Azospirillum* and fertilized with nitrogen. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 7, p. 1473-1481, 2000.
- SALA, V. M. R. *et al.* Novas bactérias diazotróficas endofíticas na cultura do trigo em interação com a adubação nitrogenada, no campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 1099-1106, 2008.
- SALA, V. M. R. *et al.* Resposta de genótipos de trigo à inoculação de bactérias diazotróficas em condições de campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 6, p. 833-842, 2007.
- SALANTUR, A.; OZTURK, A.; AKTEN, S. Growth and yield response of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) to inoculation with rhizobacteria. **Plant, Soil and Environment**, v. 52, n. 3, p. 111-118, 2006.
- SANGOI, L. *et al.* Características agrônômicas de cultivares de trigo em resposta à época de adubação nitrogenada de cobertura. **Ciência Rural**, v. 37, n. 6, p. 1564-1570, 2007.
- SANTOS, C. A. C. *et al.* Stimulate® na germinação de sementes, emergência e vigor de plântulas de girassol. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 2, p. 605-616, 2013.