



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

ANDRÉ MATEUS PRANDO

**INOCULAÇÃO COM *AZOSPIRILLUM BRASILENSE* E
ADUBAÇÃO NITROGENADA DE COBERTURA NO TRIGO**

Londrina
2013

ANDRÉ MATEUS PRANDO

**INOCULAÇÃO COM *AZOSPIRILLUM BRASILENSE* E
ADUBAÇÃO NITROGENADA DE COBERTURA NO TRIGO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós
Graduação em Agronomia da Universidade Estadual
de Londrina como requisito para obtenção do título
de Doutor.

Orientador: Prof. Claudemir Zucareli
Co-Orientador: Adilson de Oliveira Júnior

Londrina
2013

**Catálogo elaborado pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da
Universidade Estadual de Londrina.**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

P899i	<p>Prando, André Mateus. Inoculação com <i>Azospirillum brasilense</i> e adubação nitrogenada de cobertura no trigo/ André Mateus Prando. – Londrina, 2013. 75 f.: il.</p> <p>Orientador: Claudemir Zucareli. Coorientador: Adilson de Oliveira Junior. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2013. Inclui bibliografia</p> <p>1. Trigo – Adubação – Teses. 2. Fertilizantes nitrogenados – Teses. 3. <i>Azospirillum</i> – Teses. 4. Microorganismos fixadores de nitrogênio – Teses. 5. Plantas – Efeito do nitrogênio – Teses. I. Zucareli, Claudemir. II. Oliveira Junior, Adilson de. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.</p> <p>CDU 633.11</p>
-------	---

ANDRÉ MATEUS PRANDO

**INOCULAÇÃO COM *AZOSPIRILLUM BRASILENSE* E ADUBAÇÃO
NITROGENADA DE COBERTURA NO TRIGO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina como requisito para obtenção do título de Doutor.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Claudemir Zucareli
UEL – Londrina – PR

Dr. Alvadi Antônio Balbinot Júnior
Embrapa Soja – Londrina – PR

Prof. Dr. Gustavo A. de Freitas Fregonezi
UEL – Londrina – PR

Dr. José Salvador Simoneti Foloni
Embrapa Soja – Londrina – PR

Prof. Dr. Marco Antônio Nogueira
UEL – Londrina – PR

Londrina, 15 de março de 2013.

Dedico este trabalho aos meus pais, Carmelindo e Dorivalda, que me educaram e sempre me apoiaram.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida, por cada dia, por todas as belas manhãs, pela saúde e força para enfrentar momentos difíceis, mostrando que com esperança, dedicação, amor e com fé é possível superar as dificuldades.

Ao Professor Dr. Claudemir Zucareli pela orientação, amizade e confiança.

Ao co-orientador Dr. Adilson de Oliveira Júnior e aos membros da banca: os pesquisadores da Embrapa: Dr. Alvadi Balbinot, Dr. Marco Antonio Nogueira, Dr. José Salvador Foloni, e ao professor Dr. Gustavo Fregonezi pela colaboração neste trabalho, os quais contribuíram para o meu crescimento profissional e pessoal.

Aos pesquisadores Dr. Adônis Moreira, Dr. Fábio Alvares de Oliveira e Dr. Manoel Carlos Bassoi.

Aos professores da Universidade Estadual de Londrina, pelos conhecimentos transmitidos.

A Universidade Estadual de Londrina e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela oportunidade da realização do doutorado.

A Embrapa Soja pelo estágio e pela parceria na realização dos experimentos.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

Aos técnicos da Embrapa Soja: Miguel, Ademar, Zuca, Claudinei, Joviano, Mariana, Sandro, Roberval, Rubson e respectivas equipes de trabalho pelos conhecimentos e pela boa convivência, assim como muitos outros amigos da Embrapa. E a todos os funcionários da Embrapa Soja que com muita disposição transmitiram algum ensinamento e me auxiliaram quando precisei.

Aos funcionários da UEL: Geraldo, Bié e João, e aos colegas: Diogo, Thiago, Wagner, Felipe, João Vitor, João Vinicius, Allan, Glauco, Danilo, Débora, Raphael Rossi, Rafael Toda e Rafael Tomonaga pelo auxílio e parceria nas avaliações.

A Renata Gonçalves pelo amor, carinho e parceria.

Aos meus irmãos pelo compreensão e apoio na distância. E a toda a minha família pelo amor e carinho.

Aos amigos Denis Piazzoli, Marta, Eliege, César Sbrussi, Cristian Rafael, João Miguel, aos amigos do futebol, do reiki e muitos outros que me acompanharam em momentos difíceis e alegres, que muito me ajudaram, me distraíram e tornaram meus dias mais felizes, durante o tempo longe de casa.

Também agradeço a todas as pessoas, que com certeza foram muitas, que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho e o cumprimento do curso, agradeço.

PRANDO, André Mateus. **Inoculação com *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada de cobertura no trigo.** 2013. 75 f. Tese de Doutorado em Agronomia – Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR, 2013.

RESUMO

A adubação nitrogenada é bastante onerosa, e seu uso adequado é importante para proporcionar maior retorno econômico. A utilização de rizobactérias pode substituir ou reduzir a necessidade de aplicação desse nutriente, além de diminuir estresses bióticos e abióticos e aumentar a produtividade das cultivares. O objetivo do trabalho é avaliar o efeito da inoculação de sementes de trigo com *Azospirillum brasilense* estirpes Ab-V5 e Ab-V6 e de doses de nitrogênio em cobertura no desenvolvimento e no desempenho agrônômico da cultura do trigo em semeadura direta após a cultura da soja e do milho. Os experimentos foram realizados em Londrina (2010 e 2011) em sucessão à soja e ao milho e Ponta Grossa (2010) em sucessão à soja, avaliando a inoculação de sementes de trigo com *Azospirillum brasilense* estirpes Ab-V5 e Ab-V6 (com e sem) e cinco doses de nitrogênio em cobertura (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹), aplicadas no perfilhamento na forma de nitrato de amônio. O delineamento experimental foi de parcelas subdivididas em Londrina com quatro repetições e em blocos casualizados em Ponta Grossa, com seis repetições. Foram avaliados: índice de vegetação e de clorofila, massa seca da parte aérea, teor de nitrogênio da folha bandeira e do grão, altura de plantas, número de espigas, produtividade e peso do hectolitro. Os dados foram submetidos à análise de variância, correlação e à análise de regressão para as doses de nitrogênio. As médias de inoculação e sucessão de culturas foram comparadas pelo teste de Tukey a 5%. O cultivo de trigo em sucessão à cultura da soja necessita de menor quantidade de adubo nitrogenado em cobertura que o cultivo em sucessão ao milho para atingir a máxima eficiência técnica produtiva. A inoculação com *Azospirillum* não influencia o desempenho agrônômico da cultura do trigo. O incremento de doses de nitrogênio aplicadas em cobertura favorece a produtividade, teor de nitrogênio na folha bandeira e no grão com resposta variável em função do ano de cultivo e cultura anterior. O índice de vegetação por diferença normatizada (NDVI) possui correlação positiva significativa com a produtividade de grãos e teor de nitrogênio da folha do trigo, enquanto o índice de clorofila não se correlacionou com essas características.

Palavras-chave: *Triticum aestivum* L. *Azospirillum brasilense*. Rizobactéria. Nitrogênio. Índice de vegetação. Índice de clorofila.

PRANDO, André Mateus. *Azospirillum brasilense* inoculation and nitrogen fertilization in top dressing in wheat. 2013. 75 p. Doctorate Thesis in Agronomy – Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR, 2013.

ABSTRACT

Nitrogen fertilization is quite costly, and its proper use is important to provide greater economic returns. The use of rhizobacteria can replace or reduce the need for application of this nutrient, besides reducing biotic and abiotic stresses and increase cultivars yield. The objective is to evaluate the effect of inoculation of wheat seeds with *Azospirillum brasilense* strains Ab-V5 and Ab-V6 and nitrogen levels in top dressing in the development and agronomic performance of wheat crop in no-till system. The experiments were conducted at two sites (Londrina and Ponta Grossa, Paraná State, Brazil) evaluating the inoculation of wheat seeds with *Azospirillum brasilense* strain Ab-V5 and Ab-V6 (with and without) and five nitrogen levels (0; 30; 60; 90 and 120 kg ha⁻¹) applied at tillering in the source ammonium nitrate. The experimental design was split plot in Londrina with four replications and a randomized block in Ponta Grossa with six replications. We evaluated: vegetation and chlorophyll index, shoot dry mass, nitrogen content of flag leaf and grain, plant height, number of ears, yield and test weight. Data were subjected to analysis of variance and regression analysis for the nitrogen levels, the treatment means with or without inoculation were compared by Tukey test at 5%. The cultivation of wheat in succession to soybean requires less amount of nitrogen fertilizer in top dressing than cultivation in corn succession to reach the yield maximum technical efficiency. The seed inoculation with *Azospirillum* not influence the agronomic performance of wheat. The increment of nitrogen applied in top dressing favors yield, nitrogen content in flag leaf and grain with the response varies according to the year of cultivation and previous crop. The normalized difference vegetation index (NDVI) has significant positive correlation with grain yield and nitrogen content of wheat leaf, while the chlorophyll index did not correlate with these characteristics.

Key words: *Triticum aestivum* L. *Azospirillum brasilense*. Rhizobacteria. Nitrogen. Vegetation index. Chlorophyll index.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO A

- Figura 1** – Temperatura média diária (°C) e precipitação pluvial (mm) em Londrina-PR, no período de 01/05/2010 à 19/09/2010 e 01/05/2011 à 19/09/2011. S: semeadura, N: adubação nitrogenada de cobertura, E: Espigamento, C: colheita 45
- Figura 2** – Produtividade, Teor de nitrogênio foliar e teor de nitrogênio no grão em 2010 e 2011 avaliadas em trigo em função de doses de nitrogênio aplicadas em cobertura e da cultura anterior, em Londrina-PR. * e ** significativo a 5% e a 1% pelo teste t..... 46

ARTIGO B

- Figura 1** – Temperatura média diária (°C) e precipitação pluvial (mm) em Londrina-PR, no período de 01/05/2010 à 19/09/2010 e 01/05/2011 à 19/09/2011. S: semeadura, E: emergência, N: adubação nitrogenada de cobertura, E: Espigamento, C: colheita..... 60
- Figura 2** – Índice de vegetação avaliado no perfilhamento (NdviP) e no espigamento (NdviEL) e índice de clorofila no espigamento (ICES) em trigo em função de doses de nitrogênio aplicadas em cobertura, em Londrina-PR. * e ** significativo à 5 e 1 % pelo teste t; P. máx: ponto de máximo e R²: coeficiente de determinação 61
- Figura 3** – Índice de vegetação (NDVI) avaliado no espigamento em trigo em função de doses de N aplicadas em cobertura e da cultura anterior, em Londrina-PR, na safra 2011. ** significativo a 1% pelo teste t; P. máx: ponto de máximo e R²: coeficiente de determinação; DMS: diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 5% de significância..... 61

ARTIGO C

- Figura 1** – Temperatura média diária (°C) e precipitação pluvial (mm) em Ponta Grossa, PR, no período de 21/06/2010 à 21/11/2010. S: semeadura, N: adubação nitrogenada de cobertura, E: Espigamento, C: colheita 74
- Figura 2** – Teor de nitrogênio na folha bandeira e no grão, Índice de clorofila e de vegetação no espigamento avaliadas em trigo em função de doses de nitrogênio aplicadas em cobertura, em Ponta Grossa, PR na safra 2010. * e ** significativo a 5% e a 1% pelo teste t 74

LISTA DE TABELAS

ARTIGO A

- Tabela 1** –Resumo da análise de variância (prob. > F) para as características avaliadas em trigo, em função da cultura anterior, da inoculação de sementes com *Azospirillum* e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura, em Londrina-PR, na safra 2010 e 2011 43
- Tabela 2** –Valores médios das características avaliadas em trigo, em função da cultura anterior (milho ou soja), em Londrina-PR, na safra 2010 e 2011 43
- Tabela 3** –Valores médios das características avaliadas em trigo, em função da interação da cultura anterior e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura, em Londrina-PR 44
- Tabela 4** –Valores médios das características avaliadas em trigo, em função da inoculação com *Azospirillum*, em Londrina-PR, na safra 2010 e 2011 44

ARTIGO B

- Tabela 1** –Resumo da análise de variância (Prob. > F) para as características avaliadas em trigo, em função da cultura anterior, da inoculação de sementes com *Azospirillum* e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura em Londrina-PR, na safra 2010 e 2011 58
- Tabela 2** –Valores médios dos índices de vegetação (NDVI) e de clorofila (IC) avaliadas em trigo, em função da sucessão de culturas, em Londrina-PR, na safra 2010 e 2011 59
- Tabela 3** –Valores médios dos índices de vegetação (NDVI) e de clorofila (IC) avaliadas em trigo, em função da inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense*, em Londrina-PR, na safra 2010 e 2011 59
- Tabela 4** –Correlação de Pearson (r) entre as características avaliadas na cultura do trigo, em Londrina-PR na safra 2010 e 2011..... 59

ARTIGO C

- Tabela 1** –Resumo da análise de variância (Prob. > F) para as características avaliadas em trigo, em função da inoculação de sementes com *Azospirillum* e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura, em Ponta Grossa, PR, na safra 2010..... 73
- Tabela 2** –Valores médios das características avaliadas em trigo, em função da inoculação de sementes com *Azospirillum*, em Ponta Grossa, PR, na safra 2010 73
- Tabela 3** –Correlação de Pearson (r) da produtividade e teor foliar de N com as características avaliadas na cultura do trigo, em Ponta Grossa, PR na safra 2010 73

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1	A CULTURA DO TRIGO	16
2.2	ADUBAÇÃO NITROGENADA	17
2.2.1	Assimilação do Nitrogênio	18
2.2.2	Nitrogênio e sua Importância	19
2.2.3	Doses de Nitrogênio na Produtividade do Trigo	20
2.2.4	Cultura Antecessora	21
2.3	FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO	22
2.3.1	<i>Azospirillum brasilense</i>	24
2.3.2	Fatores de Interferência na Associação entre Plantas e Rizobactérias	25
2.4	INDICADORES DE NITROGÊNIO NAS PLANTAS	26
2.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28
3	ARTIGO A: INOCULAÇÃO COM <i>AZOSPIRILLUM</i> E ADUBAÇÃO NITROGENADA DE COBERTURA NO DESEMPENHO DO TRIGO EM SUCESSÃO À SOJA E AO MILHO	33
3.1	INTRODUÇÃO	34
3.2	MATERIAL E MÉTODOS	35
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
3.4	CONCLUSÕES	40
3.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
4	ARTIGO B: INOCULAÇÃO COM <i>AZOSPIRILLUM BRASILENSE</i> E ADUBAÇÃO NITROGENADA DE COBERTURA NOS ÍNDICES DE CLOROFILA E DE VEGETAÇÃO DO TRIGO EM SUCESSÃO À SOJA E AO MILHO	47
4.1	INTRODUÇÃO	48
4.2	MATERIAL E MÉTODOS	49
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.4	CONCLUSÕES	55

4.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
5	ARTIGO C: DESEMPENHO PRODUTIVO E ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E CLOROFILA DO TRIGO EM RESPOSTA À INOCULAÇÃO COM <i>AZOSPIRILLUM</i> E ADUBAÇÃO NITROGENADA DE COBERTURA.....	62
5.1	INTRODUÇÃO.....	63
5.2	MATERIAL E MÉTODOS	65
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
5.4	CONCLUSÕES.....	70
5.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
	CONCLUSÕES GERAIS	75

1 INTRODUÇÃO

Embora apresente grande potencial agrícola, o Brasil não é autossuficiente na produção de trigo (*Triticum aestivum* L.), com isso mais da metade do trigo consumido é importada. A produtividade média do trigo no Brasil ainda é baixa e, uma das causas é que a maioria dos produtores brasileiros a considera como cultura de risco e não como atividade importante para o sistema de produção e rentável para cultivo no inverno. Assim, deixam de investir em pontos básicos como genética, adubação equilibrada, sementes de qualidade, entre outros fatores relacionados ao sucesso do cultivo.

O trigo vem perdendo área de cultivo para outras culturas nos últimos anos. Para reverter esse processo, é fundamental o desenvolvimento e emprego de tecnologias que possibilitem aumentar a produtividade, reduzir os custos de produção ou, a combinação destes benefícios visando a maior lucratividade da cultura. A adubação corresponde ao maior custo da lavoura e dentre os nutrientes o nitrogênio é o mais oneroso. Portanto, o manejo correto deste nutriente pode contribuir para o aumento da rentabilidade da lavoura de trigo.

Embora o cultivo do trigo no Brasil venha de longa data, a consolidação do sistema de plantio direto, bem como o lançamento de novas cultivares e tecnologias de produção demandam estudos contínuos para determinação de doses de nitrogênio adequadas ao cultivo nas diversas condições edafoclimáticas brasileiras. A exigência de nitrogênio para a produção de trigo é de 17 à 26 kg por tonelada de grãos (MALAVOLTA, 2006; PRANDO et al., 2012a). Assim, a adubação nitrogenada de cobertura é uma das mais importantes práticas de manejo, pois favorece o crescimento e o desenvolvimento das plantas, melhorando a sua produtividade (SANGOI et al., 2007).

A cultura anterior também deve ser considerada no manejo da adubação nitrogenada do trigo. Em geral, as leguminosas possuem menor relação C/N, disponibilizam o nitrogênio mais rapidamente e favorecem o cultivo do trigo em sequência. Segundo Braz et al. (2006) as leguminosas além da fixação simbiótica de nitrogênio, possuem maior velocidade de decomposição da palhada com conseqüente liberação de nutrientes, fornecendo nitrogênio mineral para o trigo e por isso há menor resposta ao nutriente que o cultivo após gramíneas.

A exigência da cultura por nitrogênio é alta, os custos são elevados e o aproveitamento é baixo. Assim, técnicas como a inoculação de sementes com bactérias têm demonstrado resultados promissores para gramíneas, dentre elas o trigo. O uso de bactérias promotoras de crescimento de plantas, como o *Azospirillum brasilense*, pode substituir ou reduzir a necessidade de aplicação de alguns insumos químicos, diminuir estresses bióticos e

abióticos e aumentar a produtividade da cultura. Inoculantes contendo *Azospirillum* além de fixar nitrogênio atmosférico produzem fitormônios que favorecem o crescimento radicular e, conseqüentemente, a absorção de água e nutrientes, aumentando a resistência à seca, o vigor e a produção das plantas (HUNGRIA, 2011).

O sucesso da inoculação de bactérias promotoras de crescimento depende de vários fatores como clima, solo, planta e da própria bactéria. É portanto importante estudar e avaliar o desempenho da cultura do trigo sob inoculação em diferentes locais e diferentes níveis de adubação nitrogenada.

O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da inoculação de *Azospirillum brasilense* estirpes Ab-V5 e Ab-V6 em sementes de trigo e de doses de nitrogênio em cobertura no desenvolvimento e no desempenho agrônômico da cultura do trigo em sistema de semeadura direta após a cultura da soja e do milho.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A CULTURA DO TRIGO

Desde a antiguidade o trigo é utilizado como alimento. Existem muitos relatos, inclusive trechos bíblicos, citando a importância desse grão para a alimentação humana (GUARIENTI; DEL DUCA, 2002). O trigo originou-se nas regiões montanhosas do Sudoeste Asiático, por volta de 10.000 anos a. C., sob clima temperado. Na Grécia, já eram cultivados diversos tipos de trigo 300 anos a. C. às margens do Mar Mediterrâneo (ROSSI e NEVES, 2004).

No Brasil, a cultura foi introduzida em 1534 por Martim Afonso de Souza, na Capitania de São Vicente, de onde se expandiu ao Planalto de Piratininga, no atual Estado de São Paulo. Posteriormente foi levada a outras regiões pelo deslocamento dos missionários religiosos e colonos portugueses, mas em virtude da menor adaptação às condições edafoclimáticas o cultivo foi limitado. Em 1737, com a colonização açoriana no Rio Grande do Sul, iniciou-se o cultivo desse cereal com sucesso, chegando até a exportar para Portugal parte de sua produção. Porém, em 1811, com o aparecimento da ferrugem do trigo os agricultores praticamente abandonaram a cultura e a partir de 1908 o governo percebeu a importância de produzir esse cereal e passou a incentivar o cultivo e a indústria (FORNASIERI FILHO, 2008).

Desde 1937, quando o governo determinou que os moinhos beneficiassem pelo menos 5% de produto nacional, até os anos 90, muitas políticas foram tomadas buscando incentivar a produção de trigo nacional. Assim, em 1991 acabou o sistema de cotas e o monopólio da União na compra e venda de trigo, finalizando os subsídios e a intervenção do Estado na comercialização. Além disso, com a criação do Mercado Comum do Cone Sul (MERCOSUL), em 1991, e a conseqüente extinção das barreiras tarifárias entre os países membros, os tricultores brasileiros passaram a concorrer diretamente com os argentinos, que em função da alta fertilidade natural dos solos e melhores condições climáticas, produzem trigo com menor custo (ROSSI; NEVES, 2004; FORNASIERI FILHO, 2008).

O trigo ocupa a maior área de cultivo do mundo e, é a segunda cultura em quantidade de grãos produzida, sendo superada apenas pelo milho. Os principais produtores mundiais de trigo são: a China com cerca de 16% do total, seguido pelos países da União Europeia, a Índia, os Estados Unidos e a Rússia. A produção brasileira é muito pequena, considerando o potencial agrícola e o consumo interno brasileiro. No ano agrícola de 2012, a

produção foi de 4,3 milhões de toneladas, sendo insuficiente para abastecer o consumo interno que é de 10,5 milhões de toneladas. A área nacional cultivada com trigo em 2012 foi de 1,9 milhões de hectares distribuídos em três regiões e oito Estados da federação, sendo mais de 90% nos três Estados da região Sul do Brasil (COMPANIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2013).

O Brasil está entre os maiores importadores de trigo. O déficit de trigo no Brasil em 2012 é de 6,2 milhões de toneladas, o que nos torna dependente das importações para manter o abastecimento do país e garantir segurança alimentar à população (CONAB, 2013).

A produtividade média das lavouras de trigo brasileiras foi de aproximadamente 2.672 kg ha⁻¹ na safra 2011 e 2.269 kg ha⁻¹ na safra 2012, enquanto alguns Estados, como Goiás e Distrito Federal, apresentam produtividades em torno de 5.000 kg ha⁻¹, porém sob irrigação. A cultura do trigo no Paraná vem perdendo espaço para o milho segunda safra, com redução de 25% na última safra, com isso deixou de ter a maior área cultivada, perdendo para o Rio Grande do Sul (CONAB, 2013).

O potencial do Brasil para a produção de trigo é alto, pois o país tem condições de solo, clima, materiais genéticos, tradição agrícola e tecnologia disponível para cultivar mais de 10 milhões de hectares, com produtividades significativamente superiores às obtidas atualmente (FORNASIERI FILHO, 2008). Embora o Brasil tenha condições de alcançar a autossuficiência na produção de trigo, a expansão da lavoura tritícola está estagnada por problemas como: descapitalização dos produtores; dificuldade de acesso ao crédito oficial de custeio; dificuldade no escoamento da produção do Sul do Brasil; disponibilidade de armazéns; entre outros (CONAB, 2009).

A pequena área cultivada e a baixa produtividade média contribuem para o déficit anual da produção de trigo. Assim, são necessárias tecnologias e um aperfeiçoamento constante do sistema produtivo de modo a contribuir para o aumento da produtividade, e consequentemente, melhorar a competitividade do trigo nacional.

2.2 ADUBAÇÃO NITROGENADA

A adubação nitrogenada de cobertura é uma das mais importantes práticas de manejo, pois afeta o crescimento e o desenvolvimento das plantas, melhorando a sua produtividade (SANGOI et al., 2007). Segundo Stewart (2003), a adubação nitrogenada é

responsável por até 62% do rendimento de grãos, ou seja sem essa prática, a produtividade de trigo seria drasticamente limitada.

O manejo adequado da adubação nitrogenada é necessário para que a produtividade agrícola seja satisfatória e com um menor custo. Além do incremento da produtividade, a adubação deve ser racional buscando o máximo de aproveitamento do produto aplicado e o mínimo de contaminação ambiental (FERNANDES, 2006).

O nitrogênio pode ser adicionado ao solo pela fertilização mineral, restos orgânicos, água da chuva e pela fixação biológica. A fertilização mineral pode ser feita por meio de nitrogênio obtido de fontes naturais, como o salitre (NaNO_3), que são rochas ricas em nitrogênio e a maior parte, por meio do nitrogênio sintético, na forma amídica (NH_2), nítrica (NO_3^-) ou amoniacal (NH_4^+) (MALAVOLTA, 2006). Entre essas, a ureia (forma amídica) é a mais utilizada, por apresentar o menor custo por kg de nitrogênio.

O Brasil ocupa uma posição de destaque no cenário internacional do setor de fertilizantes, como um dos maiores consumidores e importadores. As culturas do trigo, milho e arroz consomem aproximadamente 60% do total de fertilizantes nitrogenados utilizados no mundo (LADHA et al., 2005).

2.2.1 Assimilação do Nitrogênio

O nitrogênio é o único entre os nutrientes minerais, que pode ser absorvido pelas plantas tanto na forma de ânion (NO_3^-), como na de cátion (NH_4^+). Contudo, devido a instabilidade pelo fato de bactérias oxidarem rapidamente o amônio em nitrato nos solos bem arejados, o nitrato (NO_3^-) é a forma predominantemente absorvida pelas plantas (FORNASIERI FILHO, 2008).

A maioria das plantas que não realiza associação com organismos fixadores absorve o nitrogênio do solo sob a forma de NO_3^- . Para ser incorporado na planta, o NO_3^- passa por um processo de redução, que culmina na formação de NH_4^+ , no qual duas enzimas estão envolvidas: a nitrato redutase (enzima citoplasmática) e a nitrito redutase (enzima existente nos plastídeos ou cloroplastos) (MORGANTE, 2010).

Inicialmente, o NO_3^- é reduzido a nitrito (NO_2^-) pela ação da nitrato redutase e, em seguida, esse é reduzido a NH_4^+ pela ação da nitrito redutase. Uma vez produzido o NH_4^+ , este é assimilado pelas enzimas, a glutamina sintetase (GS) e a glutamato sintase (GOGAT). Essas enzimas são responsáveis pela conversão do NH_4^+ em aminoácidos, pois o NH_4^+ é tóxico para as plantas. Assim, logo que é absorvido, esse íon é assimilado pelas

enzimas GS e GOGAT, formando os aminoácidos glutamina e glutamato, este último principalmente nas leguminosas, e então é exportado para os tecidos vegetais, a fim de ser incorporado nas moléculas nitrogenadas (MALAVOLTA, 2006).

O NO_3^- é a forma de nitrogênio mais disponível no solo para as plantas, contudo, é também responsável pelas maiores perdas no solo, pois está suscetível à lixiviação e desnitrificação. Ambas perdas são significativas e causam sérios problemas ambientais. Segundo Ladha et al. (2005) apenas 30 a 50% do nitrogênio aplicado é aproveitado pela cultura em que recebeu a aplicação, enquanto o restante permanece no solo ou é perdido por lixiviação. Apenas uma pequena parte fica disponível para a cultura subsequente. Em função disso, o manejo adequado da adubação nitrogenada como: momento de aplicação, quantidade, forma de aplicação e fonte mais adequada é importante para a redução de custos e aumento da produtividade, bem como a redução dos impactos ambientais.

2.2.2 Nitrogênio e sua Importância

O nitrogênio é um nutriente essencial para as plantas, pois participa de uma série de rotas metabólicas-chave em sua bioquímica, sendo constituinte de paredes celulares, proteínas de armazenamento, ácidos nucleicos, enzimas e importantes biomoléculas, tais como ATP, NADH, NADPH, clorofila (HARPER, 1994). A deficiência deste nutriente causa amarelecimento nas folhas, devido à redução no conteúdo de clorofila (BREDEMEIER, 2010). Por outro lado, o excesso favorece a síntese de proteínas e formação de novos tecidos com gasto energético, com isso a planta apresenta uma coloração verde-escura e consistência mais tenra, o que aumenta a suscetibilidade ao acamamento e às doenças (FORNASIERI FILHO, 2008).

Segundo Golik et al. (2003), o nitrogênio é essencial para obtenção de alta produtividade e qualidade do trigo. O fornecimento em quantidades adequadas na fase vegetativa contribui para o incremento da produtividade, pois influencia a emissão, o desenvolvimento e a sobrevivência dos perfilhos (ALMEIDA et al., 2002; PRANDO 2010). Já a aplicação tardia no florescimento favorece o incremento de nitrogênio nos grãos, no entanto, sem necessariamente alterar a qualidade industrial dos grãos de trigo (BASSOI; FOLONI, 2011).

O nitrogênio é o nutriente exigido em maior quantidade pelas plantas. A exportação média de nitrogênio pela colheita é de 29 kg por tonelada da planta inteira e de 17 à 26 kg por tonelada de grão (FORNASIERI FILHO, 2008; PRANDO et al., 2012a). Além

disso, deve-se considerar, que existem perdas, e assim nem todo o nitrogênio aplicado no solo é aproveitado pela planta. Segundo Ernani, (2003) o nitrogênio é o nutriente mais difícil de ser manejado nos solos de regiões tropicais e subtropicais, em virtude das reações a que está sujeito e à sua alta instabilidade no solo.

2.2.3 Doses de Nitrogênio na Produtividade do Trigo

O trigo, assim como outras gramíneas, demanda grande quantidade de nitrogênio. Segundo as indicações técnicas para a cultura do trigo no Estado do Paraná, devem ser utilizados em cobertura de 30 à 60 kg de nitrogênio por hectare após a cultura da soja ou de 30 à 90 kg de nitrogênio por hectare após a cultura do milho. É sugerida, também, a aplicação de maiores doses de nitrogênio em cobertura para cultivares resistentes ao acamamento e com alto potencial de rendimento, quando se pretende obter altas produtividades (REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 2010).

As doses de nitrogênio indicadas para a cultura do trigo no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina também variam de acordo com a cultura precedente. Além disso, considera-se o teor de matéria orgânica do solo e a expectativa de rendimento de grãos. As doses de nitrogênio podem chegar a 80 kg ha⁻¹ quando o trigo é cultivado após a soja e 100 kg ha⁻¹ quando cultivado após o milho, enquanto, a dose aplicada na semeadura deve ser de 15 a 20 kg ha⁻¹ (REUNIÃO..., 2010).

A dose de nitrogênio a ser utilizada também deve ser baseada na tolerância ao acamamento de plantas e na fertilidade do solo. Doses menores limitam a produtividade e altas doses podem causar acamamento, dificultando a colheita e reduzindo a produtividade (ZAGONEL et al., 2002).

Muitos trabalhos de pesquisa têm sido realizados estudando o efeito de doses de nitrogênio na cultura do trigo. Trindade et al. (2006), em experimento de trigo irrigado no cerrado, com as cultivares EMBRAPA 22 e EMBRAPA 42, após a soja em semeadura direta, obtiveram resposta quadrática da produtividade em função da adubação nitrogenada de cobertura, sendo a máxima produtividade média estimada de 6.370 kg ha⁻¹ na dose de 173 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Contudo, considerando a 90% da produtividade, a máxima eficiência econômica foi a dose de 73 kg ha⁻¹. Zagonel et al. (2002) observaram que a produtividade de grãos de trigo aumentou com o aumento da dose de nitrogênio até 90 kg ha⁻¹, em função do aumento do número de espigas por metro quadrado, uma vez que o número

de espiguetas por espiga e a massa de 1000 grãos não foram afetados pela aplicação do nutriente. Prando et al. (2012a) observaram aumento linear da produtividade e Prando et al. (2012b) do teor de nitrogênio na semente de trigo com o aumento das doses até 120 kg ha^{-1} de nitrogênio. No entanto, Prando (2010) constataram que em condições meteorológicas de maior volume de precipitação, o aumento de doses de nitrogênio aumentou a porcentagem de acamamento de plantas, com redução da produtividade.

Freitas et al. (1994) constataram aumento da produtividade do trigo com o incremento das doses de nitrogênio até 120 kg ha^{-1} na média de oito cultivares. Contudo, o aumento na produção foi de apenas 40 kg ha^{-1} nas doses de 60 à 120 kg ha^{-1} de nitrogênio. Os mesmos autores observaram um acréscimo na altura das plantas e do acamamento com o incremento das doses de nitrogênio, porém as cultivares com porte médio a baixo, não apresentaram acamamento. Segundo Zagonel (2002) e Prando (2010), em condições de maior precipitação pluviométrica o incremento de doses de nitrogênio pode reduzir a produtividade de grãos, devido a ocorrência de acamamento de plantas.

2.2.4 Cultura Antecessora

A cultura anterior também deve ser considerada no manejo da adubação nitrogenada e na produtividade do trigo. Embora grande quantidade de nitrogênio possa existir na parte aérea das culturas, a quantidade real que será aproveitada pela cultura em sucessão irá depender do sincronismo entre a mineralização e a demanda da cultura (BRAZ et al., 2006).

A qualidade de palhada remanescente de culturas anteriores, como o milho, pode resultar na imobilização temporária de nitrogênio, diminuindo a sua disponibilidade para a cultura sucessora (WENDLING et al., 2007). Em geral, as leguminosas disponibilizam maior teor de nitrogênio e favorecem a cultura do trigo cultivada em sequência (BRAZ et al., 2006).

O cultivo de trigo em sucessão à soja é um sistema já consagrado na agricultura brasileira. Esse sistema é utilizado principalmente em áreas de semeadura direta onde o objetivo, entre outros, é o aproveitamento dos nutrientes contidos nos restos culturais e no solo, como resíduos das adubações da cultura anterior. Segundo Fornasieri Filho, (2008) o nitrogênio disponibilizado pela cultura da soja de alta produtividade, é aproximadamente 40 kg ha^{-1} , e um solo com 3% de matéria orgânica fornece aproximadamente 60 kg ha^{-1} de nitrogênio. Assim, em um solo bem manejado, o trigo cultivado após a soja pode apresentar baixa resposta ao nitrogênio na produtividade.

Segundo trabalhos realizados por Wendling et al. (2007), a cultura do trigo respondeu economicamente até a dose de 35 kg ha⁻¹ de nitrogênio após a soja, com produtividade em torno de 3.100 kg ha⁻¹ e após a cultura do milho até a dose de 30 kg ha⁻¹, atingindo produtividade em torno de 2.100 kg ha⁻¹. Essa vantagem proporcionada pelo cultivo em sucessão às leguminosas deve-se à fixação simbiótica de nitrogênio e também pela menor relação C/N, com maior velocidade de decomposição e consequente liberação de nitrogênio e outros nutrientes, com menor probabilidade de resposta ao nitrogênio que no cultivo após gramíneas (BRAZ et al., 2006).

Wendling et al. (2007) e Prando (2010) observaram pequena resposta ao incremento de doses de nitrogênio em cobertura. Mesmo na ausência da adubação nitrogenada de cobertura, a produtividade foi satisfatória quando cultivado após a soja. Wendling et al. (2007) observaram que a utilização de doses acima de 80 kg ha⁻¹ de nitrogênio em cobertura no trigo em sucessão ao milho não foi suficiente para proporcionar boas produtividades, pois outros fatores podem ser mais limitantes.

2.3 FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO

O ar atmosférico possui cerca de 78% de nitrogênio molecular ou dinitrogênio (N₂). No entanto, os organismos eucariontes são incapazes de absorver o N₂ e convertê-lo a uma forma assimilável. Assim, o N₂ move-se para dentro da planta através dos estômatos, da mesma forma como entra nos pulmões, saindo logo em seguida, sem que seja utilizado (MORGANTE, 2010).

A maioria das plantas obtém o nitrogênio do solo sob a forma de íon NO₃⁻, havendo algumas que o absorvem sob a forma de íon amônio (NH₄⁺). O nitrogênio é um nutriente crítico porque seu suprimento no solo é limitado e, além disso, é também utilizado pelos microrganismos do solo (FORNASIERI FILHO, 2008).

O processo industrial contribui com cerca de 30% do nitrogênio atmosférico colocado no solo, enquanto que os processos naturais se encarregam de obter os 70% restantes (SCHLESINGER, 1997). Portanto, a fixação biológica é de suma importância para o aporte de nitrogênio nos solos.

Os átomos do nitrogênio atmosférico encontram-se unidos de uma maneira estável na molécula e, para que o N₂ possa ser convertido a uma forma assimilável pela fixação industrial são necessários temperatura e pressão elevadas. A fixação industrial do N₂, chamada de processo de Haber-Bosch, utiliza temperaturas em torno de 200 °C e pressão em

torno de 200 atm, e a presença de um metal catalizador, sendo considerada dispendiosa do ponto de vista energético (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Entretanto, a fixação biológica realiza o processo em pressão e temperatura ambiente, por meio de um sistema enzimático apropriado (MORGANTE, 2010). A fixação biológica do nitrogênio ocorre graças ao complexo enzimático, denominado nitrogenase, presente apenas em alguns organismos procariontes. Esses organismos também denominados de bactérias diazotróficas ou fixadoras de nitrogênio podem ser classificadas como bactéria associativas, endofíticas ou simbióticas (HUNGRIA et al., 2007).

Do ponto de vista energético, a fixação biológica de nitrogênio também é dispendiosa para o organismo que a realiza (MORGANTE, 2010). Na prática, para produzir 100 kg de amônia, as bactérias fixadoras de nitrogênio necessitam a energia equivalente a 750 kg de açúcar (HUERGO et al., 2008). No entanto, a reação ocorre em temperatura ambiente e pressão atmosférica na seguinte sequência: $N_2 + 16 \text{ ATP} + 8 \text{ e}^- + 8\text{H}^+ \rightarrow 2\text{NH}_3 + \text{H}_2 + 16 \text{ ADP} + 16 \text{ P}_i$ (e^- = elétron e P_i = fosfato inorgânico) (TAIZ; ZEIGER, 2009).

A reação caracteriza-se pela redução do N_2 a 2NH_3 . Para que a reação ocorra, é necessário que haja um transporte de elétrons, mediado pela enzima nitrogenase, que é formada por duas unidades protéicas, a Ferro-proteína (Fe-proteína) e a Molibdênio-Ferro-proteína (MoFe-proteína), ambas capazes de transportar elétrons. Durante a redução do N_2 , a nitrogenase é auxiliada por uma terceira molécula transportadora de elétrons, a ferredoxina (TAIZ; ZEIGER, 2009).

A maior contribuição da fixação biológica de nitrogênio ocorre pela associação simbiótica entre plantas da família das leguminosasa (Fabaceae) e bactérias pertencentes à diversos gêneros que são comumente chamados de rizóbios (HUNGRIA, 2011). A simbiose entre rizóbios e leguminosasa proporciona taxas de até 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de nitrogênio fixado na soja, conseguindo suprir as necessidade da planta (HUNGRIA et al., 2007).

As gramíneas também podem desenvolver relações com organismos fixadores de nitrogênio. Algumas gramíneas de interesse econômico, como milho, arroz, trigo e cana-de-açúcar podem estar associadas a bactérias do gênero *Azospirillum*. Outros exemplos importantes seriam a associação entre bactérias do gênero *Beijerinckia* com cana-de-açúcar, *Azotobacter paspali* com a grama batatais (*Paspalum notatum*) e determinados cultivares de trigo com espécies do gênero *Bacillus* (MORGANTE, 2010).

Nessa associação não ocorre visivelmente a invasão dos tecidos vegetais pela bactéria e nem a formação de uma estrutura especializada para a fixação do nitrogênio

como o nódulo. As plantas liberam produtos da fotossíntese pelas raízes, sendo absorvidos pelas bactérias que habitam a rizosfera que em troca fixam o nitrogênio e disponibilizam o NH_4^+ para a planta (MORGANTE, 2010). Ao contrário das bactérias simbióticas como os rizóbios que secretam praticamente todo o nitrogênio fixado quando em simbiose, as bactérias diazotróficas de vida livre ou associativas têm uma limitada, porém significativa capacidade de secretar ou transferir nitrogênio fixado para a planta associada (HUERGO et al., 2008).

A fixação biológica de nitrogênio em gramíneas tem se apresentado como uma alternativa econômica e efetivamente viável para suprir parte do nitrogênio utilizado. Além disso, devem ser considerados os benefícios por menor poluição ambiental que resulta da produção e utilização de fertilizantes nitrogenados, bem como pela redução na emissão de gases de efeito estufa (HUNGRIA, 2011).

2.3.1 *Azospirillum Brasilense*

Azospirillum brasilense pertencem a um grupo de rizobactérias promotoras de crescimento de plantas que podem fixar nitrogênio, são aeróbicas, α -Proteobactéria, Gram negativos, móveis, com flagelo polar em meio líquido e cílios laterais em meios sólido. Essas bactérias são quimiorganotróficas, com hidrogenase positiva, capazes de produzir fitormônios como auxinas, citocininas e giberellins, fixar N_2 , podem colonizar os tecidos de milho, trigo, arroz, sorgo, cana-de-açúcar e em plantas não-gramíneas como endófitos facultativos (DÖBEREINER; PEDROSA, 1987).

A *Azospirillum brasilense* pertence ao grupo denominado bactérias promotoras de crescimento das plantas (HUNGRIA, 2011), pois podem estimular o crescimento vegetal por diversas maneiras, dentre as principais, a fixação biológica de nitrogênio (HUERGO et al., 2008); aumento na atividade da redutase do nitrato quando crescem endofiticamente (CASSÁN et al., 2008); produção de hormônios como auxinas, citocininas (TIEN et al., 1979), giberilinas (BOTTINI et al., 1989), e solubilização de fosfato (RODRIGUEZ et al., 2004).

Resultados de ensaios realizados por mais de 20 anos por Okon e Labandera-Gonzales (1994) mostram que em 60 a 70 % dos experimentos foram obtidos incrementos na produtividade devido à inoculação de *Azospirillum*, com aumentos estatisticamente significativos na ordem de 5 a 30 % na produtividade de grãos de cereais.

Dobbelaere et al. (2002) observaram que a inoculação de *Azospirillum* influenciou o desenvolvimento radicular da planta, matéria seca de raízes, produção de grãos

e a eficiência de absorção de nitrogênio. O efeito da inoculação foi mais acentuado a níveis baixos e intermediários de adubação nitrogenada.

Em estudo realizado por Díaz-Zorita e Fernandez Canigia (2008) em 273 experimentos na Argentina, com produtividades de trigo entre 850 e 8.050 kg ha⁻¹, observaram que em 76% dos locais foram detectados aumentos de rendimento acima de 50 kg ha⁻¹ e resposta média de 258 kg ha⁻¹ com a inoculação de sementes com *Azospirillum*. A frequência mais elevada de resposta significativas foram nas produtividades acima de 2.000 kg ha⁻¹, sugerindo que o efeito é complementar.

No Brasil, a comercialização de inoculantes é recente, embora as pesquisas básicas com *Azospirillum* tenham iniciado desde a década de 70 e estudos que resultaram no registro do primeiro inoculante contendo *Azospirillum* foram iniciados em 1996 (HUNGRIA, 2011). Ensaio realizado por Hungria et al. (2010) avaliando o efeito da inoculação de sementes com diferentes estirpes de *Azospirillum brasilense* resultaram em incremento médios na produtividade do trigo de 13 a 18 % na cultura do trigo e de 24 a 30 % na cultura do milho, em relação ao controle não inoculado. As estirpes Ab-V5 e Ab-V6 foram disponibilizadas, sem custo tecnológico, para as indústrias de inoculantes por serem mais eficazes com as culturas do milho e do trigo (HUNGRIA, 2011).

2.3.2 Fatores de Interferência na Associação entre Plantas e Rizobactérias

O sucesso da inoculação de bactérias diazotróficas depende da pesquisa interdisciplinar envolvendo o solo, a planta e a bactéria. Segundo Bashan e Bashan (2008), estudos básicos das interações entre *Azospirillum* e plantas, principalmente cereais, são complexas, devido às múltiplas funções dos tecidos vegetais, com as diversas interações possíveis com as raízes das plantas e da interferência com a matriz do solo.

A associação entre *Azospirillum* e as raízes das plantas depende da capacidade de sobrevivência da bactéria e de sua adequada proliferação, o que sugere que um número ideal de bactérias deve ser inoculado para a colonização eficiente nas raízes das plântulas (FALLIK; OKON, 1996). Fatores edáficos podem dificultar a colonização e o estabelecimento de bactérias inoculadas, que enfrentam microrganismos competidores e predadores melhor adaptados a determinado ambiente de cultivo. Além disso, temperaturas extremas e estresse hídrico, muitas vezes atuando juntos, podem limitar a fixação biológica do N₂, afetando as etapas da associação (BASHAN; BASHAN, 2010).

A cultivar utilizada é outro fator que pode afetar a colonização de bactérias promotoras do crescimento vegetal. Sala et al. (2005) observaram que a interação do genótipo da planta e a adubação nitrogenada influenciou a quantidade de microrganismos diazotróficos endofíticos nas raízes do trigo. Porém, Sala et al. (2007), em experimentos realizados no campo, não observaram especificidade de genótipos de trigo com as bactérias endofíticas.

Além dos fatores ambientais e de especificidade entre genótipos, os níveis de macro e micronutrientes devem estar adequados, sabendo-se que doses elevadas de nitrogênio podem afetar a associação e conseqüentemente a fixação biológica de nitrogênio. Sala et al. (2007) observaram aumento significativo na produtividade, com a inoculação no cultivar IAC-370, e esse benefício pela inoculação ocorreu mesmo em altas doses de fertilizante nitrogenado, possivelmente, porque o cultivar é altamente responsivo à adição de nitrogênio e apresenta alta produtividade média de grãos em condições favoráveis.

2.4 INDICADORES DE NITROGÊNIO NAS PLANTAS

Vários métodos podem ser utilizados para determinação do estado nutricional da cultura visando a definição de doses de nitrogênio a serem aplicadas. Esses métodos devem ser práticos, rápidos e realizados antes da fase reprodutiva, pois ao final do perfilhamento, as plantas já absorveram quase um terço do nitrogênio utilizado em todo o seu ciclo e, quando ocorre uma adequada absorção de nitrogênio até esta fase, as plantas pouco respondem à aplicação de nitrogênio em cobertura (BREDEMEIER, 2010).

A análise do tecido vegetal é uma importante ferramenta no monitoramento do estado nutricional das plantas. Ela é baseada na premissa de que a quantidade de certo nutriente na planta relaciona-se com a disponibilidade daquele nutriente no solo (BREDEMEIER, 2010). Normalmente, com o teor de nitrogênio na folha é possível detectar deficiências, mas também possibilita demonstrar o consumo de luxo, em que o teor de nitrogênio continua aumentando e o rendimento de grãos fica estável com a aplicação de doses altas desse nutriente, sendo considerado como adequado o teor de 20 a 34 g kg⁻¹ desse nutriente (FORNASIERI FILHO, 2008). Contudo, essa análise é destrutiva, onerosa e não é um método rápido, pois da coleta da folha até o resultado final são necessários alguns dias, que podem ser demasiados para a utilização na determinação da quantidade de nitrogênio aplicada em cobertura.

Alguns métodos como o índice de clorofila, de reflectância e de vegetação, demonstram vantagens por serem rápidos, não destrutivos e fáceis de serem obtidos.

Segundo Bredemeier (2010) existe uma correlação positiva significativa entre o nitrogênio foliar e o aparato fotossintético. Assim, medir o teor de clorofila é uma forma indireta de medir a absorção de nitrogênio, que é de fundamental importância para a produtividade das culturas. O teor de nitrogênio pode ser analisado por métodos laboratoriais (destrutivos) ou por reflectância de comprimento de onda, realizado por equipamentos não destrutivos como o Clorofilog[®] ou o Spad[®] que fornecem o resultado não em teor absoluto, mas em forma de índice de clorofila que podem ser utilizados para determinar o estado nutricional das plantas.

A reflectância possui como vantagem a avaliação do dossel da cultura e não apenas uma parte da folha. Essa técnica consiste no cálculo da razão entre a quantidade de radiação refletida e da radiação incidente (MOLIN, 2001). Para isso são utilizadas faixas do espectro luminoso do vermelho (680-700 nm) e do infravermelho próximo (700-1300 nm). A reflectância da planta na faixa do infravermelho próximo é uma estimativa do acúmulo de biomassa, enquanto na faixa do vermelho possui grande correlação com a concentração de clorofila (BREDEMEIER, 2010). Assim, o estado nutricional das plantas em relação ao nitrogênio pode ser estimado pela modificação da reflectância do dossel, pois o nitrogênio possui relação estreita com o acúmulo de biomassa e de clorofila.

A normalização proposta por Rouse Junior et al. (1973) visou eliminar diferenças sazonais do ângulo do Sol e minimizar os efeitos de atenuação atmosférica observados para dados multitemporais. Assim, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index) é resultado da combinação dos valores de reflectância em dois ou mais intervalos de comprimento de onda e se correlaciona com a vegetação avaliada (BREDEMEIER, 2010). O seu resultado é simplificado e é dado pela equação proposta por Rouse Junior et al. (1973) e varia numericamente entre -1 e +1, conforme a equação:

$$NDVI = (\rho_{nir} - \rho_r) / (\rho_{nir} + \rho_r)$$

onde,

ρ_{nir} : reflectância no infravermelho próximo (770 nm), e

ρ_r : reflectância no vermelho (650 nm).

A medição da reflectância a campo pode ser realizada pelo uso de sensores remotos montados em tratores, como o GreenSeeker[®] e o N-Sensor[®]. Com esse índice é possível realizar a adubação nitrogenada em taxa variável com a vantagem da rapidez de obtenção dos resultados (BREDEMEIER, 2010).

O sensor GreenSeeker[®] foi desenvolvido pela Universidade de Oklahoma (EUA), na década de 1990 e utiliza diodos de emissão de radiação nas faixas do vermelho (650 nm) e infravermelho próximo (770 nm). A leitura de reflectância é calculada por microprocessador interno, fornecendo o NDVI, que é transmitido a um computador portátil adaptado ao sensor (GROSH et al., 2009). Atualmente, esse sensor vem sendo amplamente utilizado para aplicações de nitrogênio em taxa variável em diversos países e possui um grande potencial de crescimento na agricultura brasileira, pois possibilita melhorar o rendimento e a qualidade de grãos, por meio da aplicação localizada de fertilizantes nitrogenados.

2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, M. L.; SANGOI, L.; TRENTIN, P. S.; GÁLIO, J. Cultivares de trigo respondem diferentemente à qualidade da luz quanto à emissão de afixos e acumulação de massa seca. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 3, p. 377-383, 2002.
- BASHAN, L.E.; BASHAN, Y. Bacterias promotoras de crecimiento en plantas y microalgas verdes: un modelo conveniente para el estudio básico de las interacciones Planta-bacteria In: CASSÁN, F.D.; GARCIA DE SALAMONE, I. (Ed.) **Azospirillum sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina**. Argentina: Asociación Argentina de Microbiología, 2008, p. 37-47.
- BASHAN, Y.; BASHAN, L. E. How the Plant Growth-Promoting Bacterium Azospirillum Promotes Plant Growth - A Critical Assessment. **Advances in Agronomy**, v. 108, p. 77-136, 2010.
- BASSOI, M. C.; FOLONI, J. S. S. **Questionamentos sobre adubação nitrogenada em trigo visando qualidade industrial**, 2012. Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/alerta/ver_alerta.php?cod_pagina_sa=227&cultura=2>. Acesso em: 19 mar. 2013.
- BOTTINI, R.; FULCHIERI, M.; PEARCE, D.; PHARIS, R. Identification of gibberelins A₁, A₃, and iso-A₃ in cultures of *A. lipoferum*. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 90, p. 45-47, 1989.
- BRAZ, A. J. B. P.; SILVEIRA, P. M.; KLIEMANN, H. J.; ZIMMERMANN, F. J. P. Adubação nitrogenada em cobertura na cultura do trigo em sistema plantio direto após diferentes culturas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 2, p. 193-198, 2006.
- BREDEMEIER, C. Trigo In: PROCHNOW, L. I. CASARIN, V.; STIPP, S. R. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes** 2010, p 137-159.
- CASSÁN, F.; SGROY, V.; PERRIG, D.; MASCIARELLI, O.; LUNA, V. Producción de fitohormonas por *Azospirillum* sp. Aspectos fisiológicos y tecnológicos de la promoción del crecimiento vegetal. In: CASSÁN, F.D.; GARCIA DE SALAMONE, I. (Ed.) **Azospirillum sp.: cell**

physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina. Argentina: Asociación Argentina de Microbiología, 2008, p. 61-86.

COMPANIA NACIONAL DE ABASTECIMIENTO – CONAB, 2009 **Acompanhamento de safra brasileira:** grãos, décimo segundo levantamento. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/12graos_08.09.pdf>. Acesso em: 02 out. 2009.

COMPANIA NACIONAL DE ABASTECIMIENTO – CONAB, 2013. **Acompanhamento de safra brasileira:** grãos, quinto levantamento. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=>>>. Acesso em: 26 fev. 2013.

DÍAZ-ZORITA, M.; FERNANDEZ CANIGIA, M.V. Análisis de la producción de cereales inoculados con *Azospirillum brasilense* en la República Argentina. In: CASSÁN, F.D.; GARCIA DE SALAMONE, I. (Ed.) ***Azospirillum sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina.*** Argentina: Asociación Argentina de Microbiología, 2008, p.155-166.

DOBELLAERE, S.; CROONENBORGHS, A.; THYS, A.; PTACEK, D.; OKON, Y.; VANDERLEYDEN, J. 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**, Berlin, v. 36, p. 284–297, 2002.

DÖBEREINER, J.; PEDROSA, F. O. **Nitrogen-fixing bacteria in non leguminous crop plants.** New York: Science Tech, Springer-Verlag, 1987, 155p.

ERNANI, P. R. **Disponibilidade de nitrogênio e adubação nitrogenada para a macieira.** Lages: Graphel, 2003. 76p.

FALLIK, E.; OKON, Y. The response of maize (*Zea mays*) to *Azospirillum* inoculation in various types of soils in the field. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, Oxford, v. 12, p. 511-515, 1996.

FERNANDES, F. C. S. **Dinâmica do nitrogênio na cultura do milho (*Zea mays* L.), em cultivo sucessivo com aveia preta (*Avena strigosa*) sob implantação do sistema plantio direto.** 2006, 198p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do trigo.** Jaboticabal: Funep, 2008. 338p.

FREITAS, J. G.; CAMARGO, C. E. O.; PEREIRA FILHO, A. W. P. Produtividade e resposta de genótipos de trigo ao nitrogênio. **Bragantia**, Campinas, v. 53, n. 2, p. 281-290, 1994.

GOLIK, S. I.; CHIDICHIMO, H. O.; PÉREZ, D.; PANE, L. Acumulación, removilización, absorción postantesis y eficiencia de utilización de nitrógeno en trigo bajo diferentes labranzas y fertilizaciones, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 5, p. 619-626, maio 2003.

GROHS, D. S.; BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M.; POLETTO, N. C. Modelo para Estimativa o Potencial Produtivo em Trigo e Cevada por meio do Sensor GREENSEEKER. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 101-112, 2009.

- GUARIENTI, E. M.; DEL DUCA, L. J. A. **Faça pães internacionais com farinha de trigo nacional**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2002.
- HARPER, J. E. Nitrogen metabolism. In: BOOTE, K. J. et al. **Physiology and determination of crop yield**. American Society of Agronomy, 1994. Cap. 11A, p. 285-302.
- HUERGO, L. F.; MONTEIRO, R. A.; BONATTO, A. C.; RIGO, L. U.; STEFFENS, M. B. R.; CRUZ, L. M.; CHUBATSU, L. S.; SOUZA, E. M.; PEDROSA, F. O. Regulation of nitrogen fixation in *Azospirillum brasilense*. In: CASSÁN, F.D.; GARCIA DE SALAMONE, I. ***Azospirillum* sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina**. Asociación Argentina de Microbiología, Argentina, 2008. p. 17-35.
- HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo Custo**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 36p. (Embrapa Soja, ISSN 1516-781X; n.325).
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; SOUZA, E. M.; PEDROSA, F. O. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant Soil**, v. 331, p. 413-425, 2010. (DOI: 10.1007/s11104-009-0262-0).
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; MENDES, I.C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja**: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 80p. (Embrapa Soja. Documentos, 283).
- LADHA, J. K.; PATHAK, H.; KRUPNIK, T. J.; SIX, J.; KESSEL, C. V. Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production: retrospects and prospects. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 87, p. 85–156, 2005.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.
- MOLIN, J. P. **Agricultura de precisão: o gerenciamento da variabilidade**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2001.
- MORGANTE, P. G. **Fixação biológica e assimilação de Nitrogênio**. 2010 Disponível em: <<http://www.scribd.com/doc/3319817/Fixacao-Biologica-e-Assimilacao-de-Nitrogenio>>. Acesso em: 30 ago. 2010.
- OKON, Y.; LABANDERA-GONZALEZ, C.A. Agronomic applications of *Azospirillum*: an evaluation of 20 years worldwide field inoculation. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 26, p. 1591-1601, 1994.
- PRANDO, A. M. **Doses de nitrogênio e formas de ureia em cobertura em genótipos de trigo**. 2010 80p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR, 2010.
- PRANDO, A. M.; ZUCARELI, C.; FRONZA, V.; BASSOI, M. C.; OLIVEIRA, F. A. Formas de ureia e doses de nitrogênio em cobertura no desempenho agrônomo de genótipos de trigo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 2, p. 621-632, 2012a.

PRANDO, A. M.; ZUCARELI, C.; FRONZA, V.; OLIVEIRA, E. A. P.; PANOFF, B. Formas de ureia e doses de nitrogênio em cobertura na qualidade fisiológica de sementes de trigo. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 34, n. 2, p. 272-279, 2012b.

REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 1., 2009, Veranópolis. **Informações técnicas para a safra 2010: trigo e triticale**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2010. 170p.

RODRIGUEZ, H.; GONZALEZ, T.; GOIRE, I.; BASHAN, Y. Gluconic acid production and phosphate solubilization by the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* spp. **Naturwissenschaften**, Berlin, v. 91, p. 552-555, 2004.

ROSSI, R. M.; NEVES, M. F. **Estratégias para o trigo no Brasil**. São Paulo: Atlas, 2004. 224 p.

ROUSE JUNIOR, J.W; HASS, R.H; SCHELL, J.A; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: **Earth resources technology satellite symposium**, 3., 1973, Washington. **Proceedings...** Washington: NASA, 1973. v. 1, p. 309-317.

SALA, V.M.R.; CARDOSO, E.J.B.N.; FREITAS, J.G.; SILVEIRA, A.P.D. Resposta de genótipos de trigo à inoculação de bactérias diazotróficas em condições de campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42 p. 833-842, 2007.

SALA, V.M.R.; FREITAS, S.S.; DONZELI, V.P.; FREITAS, J.G.; GALLO, P.B.; SILVEIRA, A.P.D. Ocorrência e efeito de bactérias diazotróficas em genótipos de trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 345-352, 2005.

SANGOI, L.; BERNS, A. C.; ALMEIDA, M. L.; ZANIM, C. G.; SCHWEITZER, C. Características agronômicas de cultivares de trigo em resposta à época da adubação nitrogenada de cobertura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 6, p. 1564-1570, 2007.

SCHLESINGER, W.H. **Biogeochemistry: An analysis of global change**. 2 ed. Academic Press, San Diego, CA. 1997, 558 p.

STEWART, W.M. Fertilizer for Better Bread. **Better Crops**, Atlanta, v. 87, n. 2, p. 15-17, 2003.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: ARTMED, 4ed. 2009. 848p.

TIEN, T.M.; GASKINS, M.H.; HUBBELL, D.H. Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.). **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 37, p. 1016-1024, 1979.

TRINDADE, M. G.; STONE, L. F.; HEINEMANN, A. B.; CÃNOVAS, A. D.; MOREIRA, J. A. A. Nitrogênio e água como fatores de produtividade do trigo no cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 10, p. 24-29, n. 1, 2006.

WENDLING, A.; ELTZ, F.L.F.; CUBILLA, M.M.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; LOVATO, T. Recomendação de adubação nitrogenada para trigo em sucessão ao milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31 p. 985-994, 2007.

ZAGONEL, J.; VENÂNCIO, W. S.; KUNZ, R. P.; TANAMATI, H. Doses de nitrogênio e densidade de plantas com e sem um regulador de crescimento afetando o trigo, cultivar OR-1. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 25-29, 2002.

3 ARTIGO A: INOCULAÇÃO COM *AZOSPIRILLUM* E ADUBAÇÃO NITROGENADA DE COBERTURA NO DESEMPENHO DO TRIGO EM SUCESSÃO À SOJA E AO MILHO

RESUMO - O objetivo foi avaliar o efeito da inoculação com *Azospirillum brasilense* e de doses de nitrogênio em cobertura no trigo cultivado após a soja ou milho, em sistema de semeadura direta. Os experimentos foram realizados durante as safras de 2010 e 2011, em solo classificado como Latossolo Vermelho distroférrico, em Londrina, PR. O delineamento experimental foi de parcelas subdivididas, com quatro repetições, para cada sucessão de cultura. Avaliou-se a inoculação de sementes de trigo com *Azospirillum brasilense* estirpes Ab-V5 e Ab-V6 (com e sem) na parcela e cinco doses de nitrogênio em cobertura (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹) na subparcela, aplicadas no início do perfilhamento. Foram avaliados: produtividade de grãos, massa de mil grãos, peso do hectolitro, altura de plantas, número de espigas, massa seca da parte aérea, teor de nitrogênio da folha e do grão. Os dados foram submetidos à análise de variância e os tipos de sucessão foram analisados conjuntamente. As médias dos fatores sucessão de culturas e inoculação foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% e, os dados de doses de nitrogênio foram submetidos à análise de regressão. O cultivo de trigo em sucessão à cultura da soja necessita de menor quantidade de adubo nitrogenado em cobertura que o cultivo em sucessão ao milho para atingir a máxima eficiência técnica produtiva. A inoculação de sementes com *Azospirillum* não influencia o desempenho agrônomo da cultura do trigo. O incremento de doses de nitrogênio aplicadas em cobertura favorece a produtividade, teor de nitrogênio na folha bandeira e no grão com resposta variável em função do ano de cultivo e cultura anterior.

Palavras-chave: *Triticum aestivum* L. *Azospirillum brasilense*. Nitrogênio. Cereais de inverno. Rizobactérias. Bactérias promotoras de crescimento de plantas.

AZOSPIRILLUM INOCULATION AND NITROGEN IN TOP DRESSING IN THE WHEAT PERFORMANCE IN SUCCESSION OF SOYBEAN AND CORN

ABSTRACT - The objective was to evaluate the effect of inoculation with *Azospirillum brasilense* and nitrogen levels in top dressing in the wheat grown in succession soybean or corn, in no-tillage. The experiments were conducted during the growing seasons of 2010 and 2011, on soil classified as Oxisol, in Londrina, Paraná State, Brazil. The experimental design was split plot, with four replicates, for each crop succession. We evaluated the inoculation of wheat seeds with *Azospirillum* in the plot and five levels of nitrogen (0, 30, 60, 90 and 120 kg ha⁻¹) in sub-plot, applied at tillering (20 days after emergence seedlings). Were evaluated: yield, thousand grain weight, test weight, plant height, number of ears, shoot dry weight, leaf nitrogen and grain content. Data were subjected to analysis of variance and the types of were analyzed together. The average of crop succession and inoculation factors were compared by Tukey test at 5%, and data of nitrogen levels were subjected to regression analysis. The cultivation of wheat in succession to soybean requires less amount of nitrogen fertilizer in top dressing than cultivation in corn succession to reach the yield maximum technical efficiency. The seed inoculation with *Azospirillum* not influences the agronomic performance of wheat. The increment of N applied in top dressing favors productivity, N content in flag leaf and grain with the response varies according to the year of cultivation and previous crop.

Key words: *Triticum aestivum* L. *Azospirillum brasilense*. Nitrogen. Winter cereals. Rhizobacteria. Plant growth-promoting bacteria.

3.1 INTRODUÇÃO

Mesmo com grande potencial agrícola o Brasil produz menos da metade do trigo que consome e se destaca no cenário tritícola como um grande importador de trigo. Os principais motivos desse déficit de produção são a baixa remuneração ao produtor e os riscos de perdas no cultivo desse cereal. No Estado do Paraná, maior produtor nacional, o trigo normalmente é cultivado após a soja e vem perdendo área de cultivo para outras culturas como o milho de segunda safra (COMPANIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2013).

A adubação corresponde ao maior custo da lavoura de trigo, e dentre os nutrientes necessários, o nitrogênio é o mais oneroso. Assim, o manejo adequado deste nutriente pode aumentar a produtividade e a lucratividade da cultura (POVH et al., 2008). Segundo Zagonel et al. (2002) doses menores de nitrogênio em cobertura limitam a produtividade, enquanto altas doses podem causar acamamento, dificultando a colheita e reduzindo a produtividade.

A cultura anterior também tem influência sobre o desenvolvimento e desempenho produtivo do trigo e, em geral as leguminosas proporcionam maior residual de nitrogênio e favorecem a cultura. Segundo Braz et al. (2006), as leguminosas além da fixação simbiótica de nitrogênio, possuem maior velocidade de decomposição da palhada com consequente mineralização de nitrogênio e outros nutrientes para a cultura subsequente, resultando em menor resposta que o cultivo após gramíneas.

Trindade et al. (2006), em experimento de trigo irrigado no cerrado, após a soja em plantio direto, obtiveram resposta quadrática da produtividade em função da adubação nitrogenada de cobertura, sendo que a maior produtividade foi 6.370 kg ha^{-1} na dose de 173 kg ha^{-1} de nitrogênio. Zagonel et al. (2002), avaliando o cultivo de trigo após feijão, obtiveram a máxima eficiência técnica na dose de 90 kg ha^{-1} e produtividade de 2.505 kg ha^{-1} . Prando et al. (2012a) observaram aumento linear da produtividade do trigo após a soja com o aumento das doses até 120 kg ha^{-1} de nitrogênio com produtividade de até 4.500 kg ha^{-1} . No entanto, Zagonel et al. (2002) e Prando (2010), ressaltam que em situação de chuvas excessivas, o incremento de doses de nitrogênio pode aumentar o acamamento e, com isso, reduzir a produtividade. Embora já tenham sido realizados estudos com adubação nitrogenada na cultura do trigo, a consolidação do plantio direto, o desenvolvimento de novas cultivares e a disponibilização de tecnologias demandam novos estudos para determinação de doses de nitrogênio adequadas ao cultivo.

O uso de bactérias promotoras de crescimento de plantas, como o *Azospirillum*, pode substituir ou reduzir a necessidade de aplicação de alguns insumos químicos, diminuir estresses bióticos e abióticos e aumentar a produtividade da cultura (MORGANTE, 2010). Segundo o mesmo

autor o *Azospirillum*, além de fixar nitrogênio atmosférico, promove a produção de fitormônios que melhoram o crescimento radicular e, conseqüentemente, a absorção de água e nutrientes, aumentando a resistência à seca e deixando as plantas mais vigorosas e produtivas. Em trabalhos realizados por Hungria et al. (2010), a utilização de *Azospirillum brasilense* proporcionou um incremento de até 31% na produtividade do trigo.

Trabalhos realizados com trigo em associação com *Azospirillum* evidenciaram que as bactérias ligam-se à superfície externa da raiz para colonizar a rizosfera, confirmando a existência de uma interação estreita entre planta e bactéria fixadora. Dobbelaere et al. (2002) observaram que a inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* influenciou positivamente o desenvolvimento radicular da planta, matéria seca de raízes, produção de grãos e a eficiência de absorção de nitrogênio pelas plantas de trigo e milho. Contudo, a inoculação, como prática cultural, ainda carece de estudos para elucidadação das interações com diversos fatores da produção, como cultura antecessora, fatores climáticos e disponibilidade de nitrogênio via adubação.

O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da inoculação de trigo com *Azospirillum brasilense* e de doses de nitrogênio em cobertura no desempenho produtivo e teores de nitrogênio nas folhas e nos grãos de trigo em semeadura direta após a cultura da soja e do milho.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos, um em sucessão à soja e outro em sucessão ao milho, foram realizados no campo, durante dois anos agrícolas (2010 e 2011), no município de Londrina, localizado na região Norte do Paraná, (23° 12' 08" S, 51° 10' 36" W e altitude de 570 m). O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distroférico (EMBRAPA, 2006) e o clima, segundo a classificação de Köppen, é Cfa (IAPAR, 1994).

A área experimental era manejada no sistema de plantio direto, sendo realizado um experimento em sucessão à cultura da soja e outro em sucessão à cultura do milho. Previamente à instalação dos experimentos, foi coletada amostras de solo da área experimental na camada de 0-20 cm para análise química. Os resultados do solo em sucessão à soja e milho, respectivamente foram: pH (CaCl₂): 4,87 e 5,09; C: 15,33 e 12,49 g dm⁻³; P (Mehlich-1): 8,41 e 6,85 mg dm⁻³; H+Al: 4,95 e 5,27 cmol_c dm⁻³; K: 0,69 e 0,74 cmol_c dm⁻³; Ca + Mg: 6,05 e 7,07 cmol_c dm⁻³; CTC: 11,69 e 13,08 cmol_c dm⁻³; saturação por bases (V): 58 e 60 % e teor de argila de 730 e 745 g kg⁻¹. Os dados de temperatura média diária e precipitação durante o período de cultivo foram obtidos junto à estação meteorológica da Embrapa Soja, localizada a aproximadamente 2 km do experimento e são apresentados na Figura 1.

O delineamento experimental foi parcelas subdividas, com quatro repetições. Avaliou-se a inoculação de trigo com *Azospirillum brasilense* (com e sem), na parcela e, cinco doses de nitrogênio em cobertura (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹) na subparcela. A subparcela experimental foi constituída por 13 linhas, com oito metros de comprimento e espaçamento entre linhas de 17 cm. Foi considerada como área útil da subparcela experimental as sete linhas centrais, desprezando-se 1,25 m nas extremidades, totalizando 6,54 m² de área útil.

A adubação de nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) na semeadura foi realizada conforme os resultados da análise química de solo, seguindo as Indicações Técnicas da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale para o Estado do Paraná (FRONZA et al., 2008). Na adubação de semeadura utilizou-se 250 kg ha⁻¹ da fórmula 8-28-16, correspondendo a 20 kg ha⁻¹ de N, 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 40 kg ha⁻¹ de K₂O.

O cultivar utilizado foi o BRS 220, que possui ciclo médio (cerca de 69 dias da emergência ao espigamento), altura média de 84 cm, resistência ao acamamento, com boa capacidade de perfilhamento e elevado potencial produtivo (BASSOI et al., 2010).

A semente utilizada para implantação do experimento na safra 2010 não foi tratada com inseticida e/ou fungicida. Porém, na safra 2011, devido à indisponibilidade, já foi adquirida pré tratada com fungicida triadimenol, na dose de 3 mL kg⁻¹ de semente, e inseticida imidacloprid, na dose de 1 mL kg⁻¹ de semente.

Antes da semeadura, as sementes foram divididas em duas porções, sendo uma inoculada com o inoculante líquido contendo 1 x 10⁸ células viáveis por mL da bactéria *Azospirillum brasilense* estirpes Ab-V5 e Ab-V6, na dose de 4 mL do produto comercial para cada 1 kg de semente.

As semeaduras foram realizadas no dia 14/05/2010 e 04/05/2011 visando a obtenção de uma densidade de aproximadamente 300 plantas por metro quadrado.

A adubação de cobertura, nas doses previamente estabelecidas, foi realizada aos 20 dias após a emergência das plântulas, correspondendo ao início do perfilhamento, estágio 2 da escala de Feeks e Large (LARGE, 1954). A fonte utilizada foi o nitrato de amônio que contém 32% N e 3% de K₂O, contudo o potássio aplicado foi corrigido, ou seja, ele foi aplicado na mesma quantidade (11,3 kg ha⁻¹ de K₂O) em todas as parcelas independente do tratamento. Na safra de 2010 ocorreu precipitação pluvial de apenas 0,8 mm no dia e 13,2 mm 12 dias após a adubação nitrogenada e, e na safra de 2011 ocorreu precipitação de 33,8 mm um dia após a aplicação de nitrogênio. Os tratos culturais foram realizados de acordo com as Indicações Técnicas da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale para o Estado do Paraná (Fronza et al., 2008).

A colheita foi realizada no dia 15/09/2010 e 19/09/2011 de cada safra, quando a cultura encontrava-se no estágio 11.4, correspondente à maturação de colheita (LARGE, 1954) aos 117 e 132 dias após a emergência das plântulas em 2010 e 2011, respectivamente. Os grãos colhidos na área útil da parcela foram pesados para determinação do rendimento de grão em kg ha^{-1} , corrigidos a 13% de umidade.

A massa de 1000 grãos foi determinada mediante pesagem de duas sub-amostras de 500 grãos de cada subparcela. O peso do hectolitro (PH) foi determinado pela pesagem de uma amostra por subparcela com volume de 250 mL obtido no aparelho Dalle Molle[®] e o resultado foi transformado na unidade padrão (kg hL^{-1}).

Previamente à colheita, foram coletadas as plantas de duas linhas com 0,5 m de comprimento cada. Estas foram secadas em estufa de circulação de ar e posteriormente pesadas para determinação da massa seca da parte aérea, expressa em kg ha^{-1} . Nessas plantas também foram medidas a altura até o ápice e contados o número de espigas. Os resultados foram expressos, respectivamente, em centímetros (cm) e números de espigas por metro quadrado (espigas m^{-2}). O índice de colheita foi obtido através da divisão da massa seca da parte aérea pela produtividade de grãos em massa seca.

Para determinação do teor de nitrogênio nas folhas foram coletadas ao acaso 30 folhas bandeira por subparcela quando a cultura encontrava-se no estágio de espigamento. As folhas foram secadas em estufa de circulação de ar forçado até atingirem massa constante e, posteriormente foram moídas, pesadas amostras de 0,1 gramas e posterior digestão sulfúrica para a determinação do teor de nitrogênio, seguindo a metodologia de microkjeldahl (AACC, 2000). O teor de nitrogênio nos grãos foi determinado seguindo a metodologia de microkjeldahl, utilizando uma amostra de 0,1 gramas de grãos moídos e com granulometria inferior a 0,2 mm e posterior digestão sulfúrica e determinação do teor de nitrogênio através do método de microkjeldahl (AACC, 2000).

A análise exploratória dos dados foi realizada para verificar o atendimento das pressuposições da análise de variância. Realizou-se a análise conjunta dos experimentos de sucessão de culturas (após soja e após milho), para cada ano agrícola, sendo os dados submetidos à análise de variância e análise de regressão para doses de nitrogênio. As médias de sucessão de culturas e da inoculação foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo da análise de variância para as características avaliadas em função de inoculação, doses de nitrogênio em cobertura, cultura antecessora e interação entre eles é apresentado

na tabela 1. Na safra 2010 a cultura anterior não influenciou significativamente a produtividade de grãos de trigo, no entanto, o cultivo em sucessão à soja proporcionou maior massa de mil grãos, peso do hectolitro e índice de colheita na cultura do trigo. Além disso, o cultivo em sucessão à soja proporcionou menor altura e massa seca de plantas, ou seja, o trigo cultivado após a cultura da soja direcionou mais fotoassimilados para a produção de grãos e menos para produção de massa de parte aérea.

Na safra 2011, o trigo cultivado após a soja apresentou menor peso do hectolitro e novamente menor massa seca de parte aérea e maior índice de colheita (Tabela 2). Para as características: produtividade de grãos, teor de nitrogênio na folha bandeira e no grão, a interação dose de nitrogênio x sucessão foi significativa (Tabela 1). O cultivo em sucessão do milho proporcionou menor produtividade de grãos em relação ao cultivo após à soja, apenas no tratamento sem a aplicação de N em cobertura (Tabela 3). Esse resultado deve-se à relação C/N dos restos culturais do milho que é alta e, conseqüentemente, causa a imobilização de nitrogênio, e com isso, reduz a quantidade de nitrogênio disponível no solo para a planta de trigo (MALAVOLTA, 2006; BRAZ et al., 2006).

A resposta na produtividade de grãos às doses de nitrogênio em cobertura foi quadrática nas duas sucessões, com máxima resposta na dose de 38 e 77 kg ha⁻¹ de nitrogênio após a soja e o milho respectivamente, mostrando que o cultivo após milho necessita de maior dose para atingir a máxima eficiência técnica (Figura 2). Resultados semelhantes de resposta à adubação nitrogenada de cobertura foram obtidos por Zagonel et al. (2002) até a dose de 90 kg ha⁻¹ após feijão, Trindade et al. (2006) até a dose de 73 kg ha⁻¹ após a soja e Teixeira Filho et al. (2007) até a dose de 69 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

O teor de nitrogênio foliar acompanhou a resposta da produtividade e, nos tratamentos sem nitrogênio, com 30 e 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio em cobertura o trigo, cultivado após milho apresentou menores teores de nitrogênio do que o cultivado após à soja (Tabela 3). O trigo após soja não apresentou resposta em função do incremento de doses de nitrogênio em cobertura, enquanto que após milho houve resposta quadrática no teor de nitrogênio na folha com ponto de máxima eficiência técnica de 100,1 kg ha⁻¹ de nitrogênio (Figura 2). Em geral, o trigo cultivado após a soja necessitou de menor quantidade de nitrogênio em cobertura que quando cultivado após a cultura do milho. Já nas condições da safra 2010, quando ocorreu maior déficit hídrico (Tabela 1) o trigo não respondeu a adubação nitrogenada de cobertura quando cultivado após a soja e o milho.

Para o teor de nitrogênio no grão, observou-se menores teores no cultivo após a soja nos tratamentos de 90 e 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio na safra de 2010, e nos tratamentos 0, 30 e 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio na safra 2011 (Tabela 3). O menor teor de nitrogênio no grão no trigo após soja

deve-se, provavelmente, a maior produtividade no cultivo em sucessão à soja, o que consequentemente, proporcionou uma diluição do teor de nitrogênio no grão. Segundo Mandarino (1993) há uma relação negativa entre rendimento de grãos e o conteúdo de proteínas nos mesmos, devido à disponibilidade insuficiente de nitrogênio.

Na safra 2010, houve um aumento linear no teor de nitrogênio no grão em função do incremento de doses de nitrogênio em cobertura no cultivo após o milho e uma resposta quadrática no cultivo após a soja com ponto de máxima eficiência técnica de 90,5 kg ha⁻¹ de nitrogênio (Figura 2). Na safra 2011 ambas sucessões proporcionaram aumento linear no teor de nitrogênio no grão em função do aumento da dose de nitrogênio em cobertura (Figura 2). Esse resultado reflete no aumento da absorção de nitrogênio e translocação para o grão, corroborando Cazzeta et al. (2008) e Prando (2012b) que observaram o aumento no teor de proteína médio de cultivares de trigo avaliadas em função do incremento de nitrogênio em cobertura.

O incremento das doses de nitrogênio não influenciou as demais características como massa de mil grãos, peso do hectolitro, altura de plantas, número de perfilhos e índice de colheita. Contudo, Almeida et al. (2002) observaram o efeito positivo do nitrogênio na emissão, desenvolvimento e sobrevivência dos perfilhos.

Nas safras de trigo de 2010 e 2011 ocorreu baixa precipitação pluviométrica durante o ciclo da cultura (Figura 1). Na safra de 2010 e 2011 a precipitação pluvial foi de 96 mm e 199 mm, respectivamente, muito abaixo do ideal para a cultura que é de 300 mm (FORNASIERI FILHO, 2008). Dessa forma, o baixo volume de chuvas na fase inicial de cultivo (Figura 1) possivelmente prejudicou a absorção de nitrogênio, além de disponibilizar mais tardiamente o nitrogênio da adubação de cobertura para planta. Por outro lado, segundo Prando (2010) o excesso de chuvas na fase inicial, juntamente com disponibilidade de nitrogênio da adubação de cobertura, promove um aumento no número de perfilhos, com isso a cultura pode ficar mais suscetível ao acamamento na fase de enchimento de grãos.

Não foi observado aumento significativo na produtividade de grãos de trigo com a inoculação de *Azospirillum brasilense* estirpe Ab-V5 e Ab-V6 (Tabela 4). Segundo Sala et al. (2008) o período de estiagem após a semeadura e a competição com a comunidade nativa de microrganismos do solo pode ter prejudicado a multiplicação e desenvolvimento da bactéria. Embora o efeito da inoculação não tenha sido significativo, ela proporcionou um incremento de 42 e 101 kg ha⁻¹ em relação a testemunha o que corresponde um incremento de 2,5 e 3,0 % na produtividade, independente da dose de nitrogênio aplicada em cobertura. Hungria et al. (2010), a utilização de *Azospirillum brasilense* estirpes Ab-V5 e Ab-V6 proporcionou incremento médio na produtividade do trigo de 13 a 18 % em relação ao controle não inoculado na produtividade do trigo em

experimentos realizados em Londrina e Ponta Grossa, Paraná. Porém nas condições deste experimento o incremento significativo não foi observado.

A inoculação com *Azospirillum* não influenciou as demais características avaliadas, com exceção do teor de nitrogênio no grão que foi inferior no tratamento com sementes inoculadas em 2011 (Tabela 4). Segundo Dobbelaere et al. (2002) a inoculação com *Azospirillum* favorece o desenvolvimento radicular da planta, a massa seca de raízes, a produção de grãos e a eficiência de absorção de nitrogênio das plantas, mas não altera a concentração de nitrogênio em plantas ou grãos.

Em geral, em função dos resultados obtidos nas condições de déficit hídrico, o trigo não proporcionou resposta positiva na produtividade com o incremento de doses de nitrogênio em cobertura, principalmente quando cultivado após a soja. Embora a inoculação não tenha apresentado resultados positivos significativos e apenas tendências nas condições do estudo, mais experimentos nas condições edafoclimáticas locais devem ser realizados, para avaliar o efeito da inoculação na cultura do trigo. Assim, devido ao custo baixo do inoculante comparado ao custo do fertilizante são necessários estudos de viabilidade econômica considerando um grande número de experimentos.

3.4 CONCLUSÕES

O cultivo de trigo em sucessão à cultura da soja necessita de menor quantidade de adubo nitrogenado em cobertura que o cultivo em sucessão ao milho para atingir a máxima eficiência técnica produtiva.

A inoculação com *Azospirillum* não influencia o desempenho agrônômico da cultura do trigo.

O incremento de doses de nitrogênio aplicadas em cobertura favorece a produtividade, teor de nitrogênio na folha bandeira e no grão com resposta variável em função do ano de cultivo e cultura anterior.

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. AACC International. **Approved methods**. 10. ed. Saint Paul, 2000.

ALMEIDA, M. L.; SANGOI, L.; TRENTIN, P. S.; GÁLIO, J. Cultivares de trigo respondem diferentemente à qualidade da luz quanto à emissão de afilhos e acumulação de massa seca. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 3, p. 377-383, 2002.

- BASSOI, M. C.; RIEDE, C. R.; CAMPOS, L. A. C.; TAVARES, L. C. V.; SHIOGA, P. S.; MIRANDA, L. C.; SCHOLZ, M. B. S.; BECKERT, O. P.; OKUYAMA, L. A.; MACHADO, J. C.; SCHEEREN, P. L.; POLA, J. N.; SERA, G. S. MIRANDA, M. Z.; AZAMBUJA, J. R. S.; DENGLER, R. U. **Cultivares de trigo Embrapa e Iapar**. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 60 p. (Embrapa Soja. Documentos, 321).
- BRAZ, A.J.B.P.; SILVEIRA, P.M.; KLIEMANN, H.J.; ZIMMERMANN, F.J.P. Adubação nitrogenada em cobertura na cultura do trigo em sistema plantio direto após diferentes culturas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 2, p.193-198, 2006.
- CAZETTA, D.A.; FORNASIERI FILHO, D.; ARF, O.; GERMANI, R. Qualidade industrial de cultivares de trigo e triticale submetidos à adubação nitrogenada no sistema de plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 03, p. 741-750, 2008.
- COMPANIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2013. **Acompanhamento de safra brasileira**: grãos, quinto levantamento. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=>>>. Acesso em: 26 fev. 2013.
- DOBBELAERE, S.; CROONENBORGH, A.; THYS, A.; PTACEK, D.; OKON, Y.; VANDERLEYDEN, J. 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**, Berlin, v. 36, p. 284–297, 2002.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.
- FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do trigo**. Jaboticabal: Funep, 2008. 338p.
- FRONZA, V.; CAMPOS, L.A.C.; RIEDE, C.R. (Org.) **Informações técnicas para a safra 2008**: trigo e triticale. Londrina: Embrapa Soja, 2008. (Embrapa Soja Documentos, 301) 147p.
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; SOUZA, E. M.; PEDROSA, F. O. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant Soil**, v. 331, p. 413-425, 2010. (DOI: 10.1007/s11104-009-0262-0).
- IAPAR. **Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná**. Londrina: Instituto Agrônômico do Paraná, 1994. 44 p.
- LARGE, E. C. Growth stages in cereals illustration of the Feeks scales. **Plant Pathology**, Oxford, v.4, p.22-24, 1954.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.
- MANDARINO, J. M. G. **Aspectos importantes para a qualidade do trigo**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1993. 32p.
- MORGANTE, P. G. **Fixação biológica e assimilação de Nitrogênio**. 2010, Disponível em: <<http://www.scribd.com/doc/3319817/Fixacao-Biologica-e-Assimilacao-de-Nitrogenio>>. Acesso em: 30 ago. 2010.

POVH, F. P.; MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; PAULETTI, V.; MOLIN, R.; SALVI, J. S. Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 8, p. 1075-1083, 2008.

PRANDO, A. M. **Doses de nitrogênio e formas de ureia em cobertura em genótipos de trigo**. 2010. 80f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR, 2010.

PRANDO, A. M.; ZUCARELI, C.; FRONZA, V.; OLIVEIRA, E. A. P.; PANOFF, B. Formas de ureia e doses de nitrogênio em cobertura na qualidade fisiológica de sementes de trigo. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 34 n. 2, p. 272-279, 2012b.

PRANDO, A. M.; ZUCARELI, C.; FRONZA, V.; BASSOI, M. C.; OLIVEIRA, F. A. Formas de ureia e doses de nitrogênio em cobertura no desempenho agrônômico de genótipos de trigo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 2, p. 621-632, 2012a.

SALA, V. M. R.; CARDOSO, E. J. B. N.; FREITAS, J. G.; SILVEIRA, A. P. D. Novas bactérias diazotróficas endofíticas na cultura do trigo em interação com a adubação nitrogenada, no campo. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 1099-1106, 2008.

TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; ALVAREZ, R. C. F.; FREITAS, J. G.; ARF, O.; SÁ, M. E. Resposta de cultivares de trigo irrigado por aspersão ao nitrogênio em cobertura na região do Cerrado. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 3, p. 421-425, 2007.

TRINDADE, M. G.; STONE, L. F.; HEINEMANN, A. B.; CÃNOVAS, A. D.; MOREIRA, J. A. A. Nitrogênio e água como fatores de produtividade do trigo no cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 24-29, 2006.

ZAGONEL, J.; VENÂNCIO, W. S.; KUNZ, R. P.; TANAMATI, H. Doses de nitrogênio e densidade de plantas com e sem um regulador de crescimento afetando o trigo, cultivar OR-1. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 25-29, 2002.

Tabela 1 –Resumo da análise de variância (prob. > F) para as características avaliadas em trigo, em função da cultura anterior, da inoculação de sementes com *Azospirillum* e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura, em Londrina-PR, na safra 2010 e 2011.

	GL	Prod.	MMG	PH	AP	NEM	MSPA	IC	N foliar	N grão
2010										
Sucessão (S)	1	0,159	0,003	0,027	0,006	0,373	0,096	0,001	0,357	0,014
Bloco	6	0,015	0,089	0,056	0,027	0,327	0,636	0,005	0,959	0,022
Inoculação (I)	1	0,578	0,354	0,426	0,675	0,639	0,585	0,163	0,852	0,834
S x I	1	0,547	0,588	0,783	0,815	0,829	0,763	0,678	0,979	0,194
CV1 (%)		18,17	6,61	1,68	3,42	22,65	23,36	11,30	14,30	3,57
Dose N (D)	4	0,362	0,945	0,454	0,129	0,520	0,386	0,800	0,598	0,000
D x S	4	0,457	0,487	0,554	0,457	0,808	0,908	0,400	0,639	0,014
D x I	4	0,201	0,891	0,755	0,764	0,968	0,876	0,244	0,204	0,551
D x I x S	4	0,661	0,722	0,713	0,061	0,340	0,424	0,423	0,011	0,538
CV2 (%)		15,25	4,11	0,95	2,50	13,67	15,22	18,53	4,02	2,89
2011										
Sucessão (S)	1	0,093	0,061	0,023	0,546	0,158	0,001	0,000	0,000	0,000
Bloco	6	0,159	0,087	0,010	0,037	0,956	0,178	0,032	0,363	0,292
Inoculação (I)	1	0,172	0,337	0,228	0,139	0,794	0,247	0,757	0,881	0,018
S x I	1	0,776	0,438	0,150	0,685	0,740	0,023	0,010	0,250	0,318
CV1 (%)		8,44	3,38	0,55	2,73	18,7	12,73	11,15	2,42	3,57
Dose N (D)	4	0,000	0,107	0,262	0,162	0,111	0,058	0,494	0,000	0,000
D x S	4	0,004	0,583	0,063	0,348	0,685	0,194	0,897	0,000	0,000
D x I	4	0,483	0,716	0,344	0,586	0,092	0,537	0,244	0,767	0,028
D x I x S	4	0,404	0,848	0,255	0,140	0,216	0,590	0,762	0,682	0,024
CV2 (%)		8,86	3,43	0,87	5,17	14,16	16,32	19,22	2,77	2,93

GL: Graus de liberdade; Prod.: Produtividade; MMG: Massa de mil sementes; PH: Peso do hectolitro; AP: altura de plantas; NEM: Número de espigas por metro quadrado; MSPA: Massa seca de parte aérea; IC: índice de colheita. N foliar: teor de nitrogênio foliar; N grão: Teor de nitrogênio no grão.

Tabela 2 –Valores médios das características avaliadas em trigo, em função da cultura anterior (milho ou soja), em Londrina-PR, na safra 2010 e 2011.

	Prod. kg ha ⁻¹	MMG g	PH kg hL ⁻¹	AP cm	NEM esp. m ⁻²	MSPA kg ha ⁻¹	IC -	N foliar g kg ⁻¹
2010								
Sucessão								
Milho	1680,2 a	26,5 b	77,5 b	68,0 a	394,6 a	8243,2 a	20,8 b	33,3 a
Soja	1793,8 a	28,4 a	78,3 a	65,9 b	375,8 a	7434,4 b	24,3 a	32,2 a
DMS	172,7	1,0	0,7	1,3	25,7	440,3	1,9	2,6
2011								
Milho	3393,3 a	34,1 a	80,1 a	76,6 a	547,1 a	12941,2 a	26,9 b	39,9 b
Soja	3523,6 a	34,7 a	79,8 b	76,9 a	585,3 a	10905,9 b	33,0 a	42,2 a
DMS	159,6	0,6	0,2	1,1	57,9	830,2	1,8	0,5

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. DMS: Diferença mínima significativa; Prod.: Produtividade; MMG: Massa de mil sementes; PH: Peso do hectolitro; AP: altura de plantas; NEM: Número de espigas por metro quadrado; MSPA: Massa seca de parte aérea; IC: índice de colheita. N foliar: teor de nitrogênio foliar

Tabela 3 –Valores médios das características avaliadas em trigo, em função da interação da cultura anterior e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura, em Londrina-PR.

Dose N (kg ha ⁻¹)	Produtividade (kg ha ⁻¹) 2011		N foliar (g kg ⁻¹) 2011		N grão (g kg ⁻¹) 2010		N grão (g kg ⁻¹) 2011	
	Milho	Soja	Milho	Soja	Milho	Soja	Milho	Soja
0	2644b	3301a	35,98b	41,16a	26,65a	26,05a	25,91a	20,17b
30	3443a	3565a	39,68b	42,47a	26,64a	26,96a	27,97a	23,52b
60	3732a	3619a	40,80b	42,77a	27,94a	27,21a	29,01a	26,09b
90	3662a	3792a	41,73a	42,51a	28,67a	27,66b	29,56a	27,77a
120	3486a	3341a	41,52a	42,13a	28,70a	27,03b	30,05a	29,72a

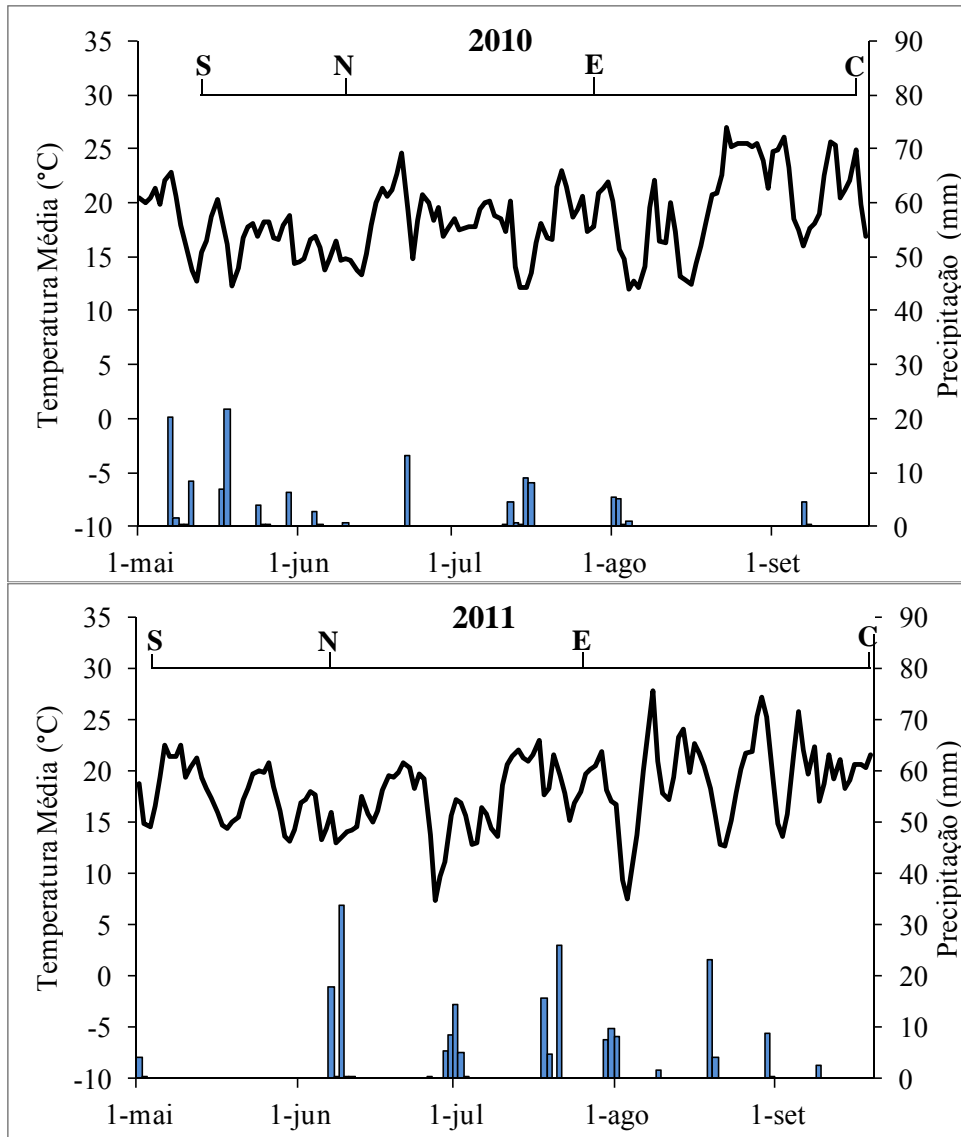
Média seguida pela mesma letra na linha, dentro de cada ano para cada característica avaliada, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. N foliar: teor de nitrogênio foliar; N grão: Teor de nitrogênio no grão.

Tabela 4 –Valores médios das características avaliadas em trigo, em função da inoculação com *Azospirillum*, em Londrina-PR, na safra 2010 e 2011.

F.V.	Prod. kg ha ⁻¹	MMG g	PH kg hL ⁻¹	AP cm	NEM esp m ⁻²	MSPA kg ha ⁻¹	IC -	N foliar g kg ⁻¹	N grão kg ha ⁻¹
2010									
Semente									
Inoculada	1757,8 a	27,2 a	77,8 a	66,8 a	380,4 a	7720,6 a	23,0 a	32,6 a	27,4 a
Controle	1716,3 a	27,6 a	78,0 a	67,1 a	390,0 a	7957,0 a	22,1 a	32,8 a	27,3 a
DMS	172,7	1,0	0,7	1,3	25,7	440,3	1,9	2,6	0,5
2011									
Inoculada	3509,0 a	34,5 a	80,0 a	76,4 a	562,9 a	12141,2 a	30,0 a	41,1 a	26,6 b
Controle	3407,9 a	34,3 a	79,9 a	77,2 a	569,4 a	11705,9 a	29,8 a	41,1 a	27,3 a
DMS	159,6	0,6	0,2	1,1	57,9	830,2	1,8	0,5	0,5

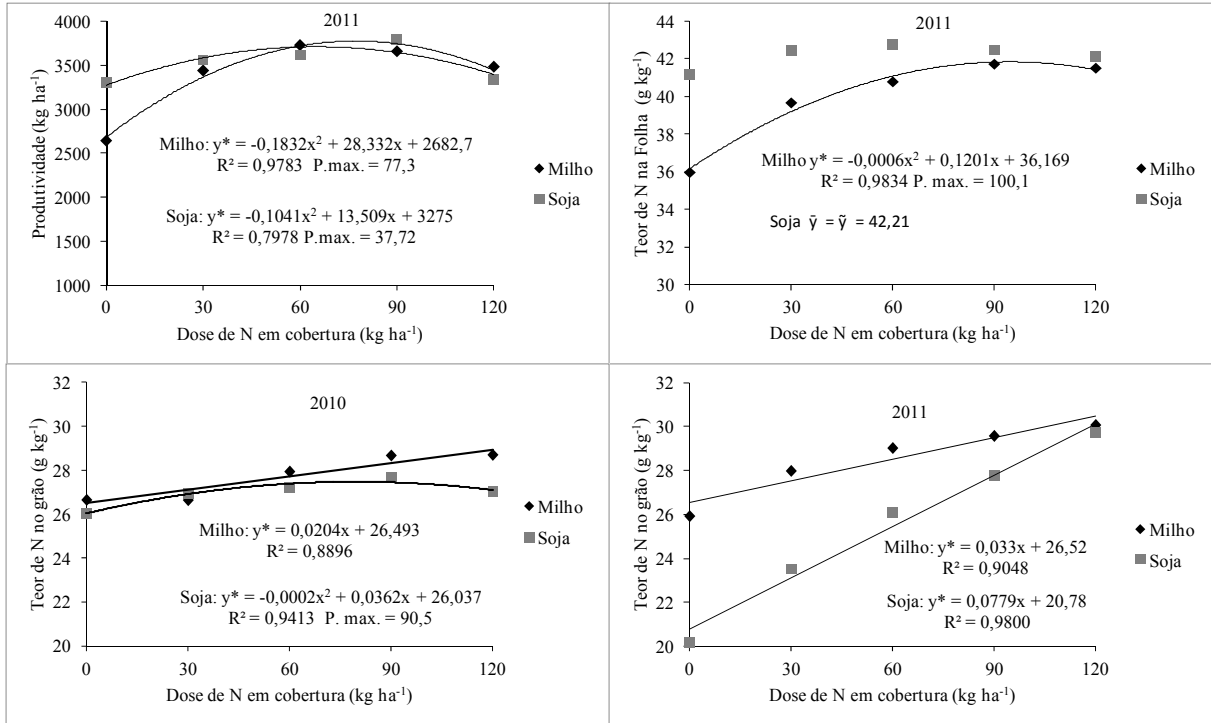
Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Prod.: Produtividade; MMG: Massa de mil sementes; PH: Peso do hectolitro; AP: altura de plantas; NEM: Número de espigas por metro quadrado; MSPA: Massa seca de parte aérea; IC: índice de colheita. N foliar: teor de nitrogênio foliar; N grão: Teor de nitrogênio no grão.

Figura 1 – Temperatura média diária (°C) e precipitação pluvial (mm) em Londrina-PR, no período de 01/05/2010 à 19/09/2010 e 01/05/2011 à 19/09/2011. S: semeadura, N: adubação nitrogenada de cobertura, E: Espigamento, C: colheita.



Fonte: Elaboração dos autores, dados adaptados da Embrapa Soja (2012).

Figura 2 –Produtividade, Teor de nitrogênio foliar e teor de nitrogênio no grão em 2010 e 2011 avaliadas em trigo em função de doses de nitrogênio aplicadas em cobertura e da cultura anterior, em Londrina-PR. * e ** significativo a 5% e a 1% pelo teste t.



Fonte: Elaboração dos autores.

4 ARTIGO B: INOCULAÇÃO COM *AZOSPIRILLUM BRASILENSE* E ADUBAÇÃO NITROGENADA DE COBERTURA NOS ÍNDICES DE CLOROFILA E DE VEGETAÇÃO DO TRIGO EM SUCESSÃO À SOJA E AO MILHO

RESUMO - O objetivo foi avaliar o efeito da inoculação de trigo com *Azospirillum brasilense* e de doses de nitrogênio em cobertura sobre os índices de vegetação e clorofila, e a correlação destes com o teor de nitrogênio foliar e a produtividade de grãos em trigo, cultivado em semeadura direta após a cultura da soja e do milho. Os experimentos foram realizados com o cultivar BRS 220, em sucessão às culturas de soja e de milho, em solo classificado como Latossolo Vermelho distroférrico, localizado no município de Londrina, PR, durante as safras de 2010 e 2011. O delineamento experimental foi de blocos casualizados em parcelas subdivididas com quatro repetições. Avaliou-se a inoculação de sementes de trigo com *Azospirillum* na parcela (com e sem) e cinco doses de nitrogênio em cobertura (0; 30; 60; 90 e 120 kg ha⁻¹) na subparcela, aplicadas no perfilhamento, utilizando nitrato de amônio. Foram avaliados os índices de vegetação e de clorofila no perfilhamento, alongamento do colmo e espigamento. Os dados foram submetidos à análise de variância, correlação de Pearson com teor de nitrogênio no grão e produtividade de grãos, à análise de regressão para doses e comparação de médias, pelo teste de Tukey a 5% para inoculante e cultura antecessora. A sucessão soja-trigo proporciona maior índice de vegetação do trigo que a milho-trigo. A inoculação com *Azospirillum* não influencia o índice de vegetação, assim como o de clorofila. O índice de vegetação por diferença normatizada (NDVI) determinado no perfilhamento, após a adubação nitrogenada e no espigamento possui correlação positiva significativa com a produtividade de grãos e teor de nitrogênio da folha do trigo, enquanto o índice de clorofila não se correlacionou com essas características. O nitrogênio em cobertura influenciou positivamente o valor do NDVI, com máxima resposta em doses de 60 a 100 kg ha⁻¹, dependendo da época da avaliação e da cultura anterior.

Palavras-chave: *Triticum aestivum* L. Nitrogênio. Rizobactérias. Índice de refletância. NDVI.

AZOSPIRILLUM BRASILENSE INOCULATION AND NITROGEN FERTILIZATION IN TOP DRESSING IN CHLOROPHYLL AND VEGETATION INDEX OF WHEAT IN SOYBEAN AND CORN SUCCESSION

ABSTRACT – The objective was to evaluate the effect of wheat inoculation with *Azospirillum brasilense* and levels nitrogen in top dressing on chlorophyll and vegetation index, and the correlation with leaf nitrogen content and grain yield in wheat grown after culture soybean and corn in no-till. The experiment was conducted with cultivars BRS 220 in soybean and corn succession on soil classified as Oxisol, located in Londrina, Paraná State, Brazil, during the growing seasons of 2010 and 2011. The experimental design was split plot factorial 2 x 5, with four replications. We evaluated the of wheat seeds inoculation with *Azospirillum* in the plot (with and without) and in the sub-plot five nitrogen levels (0, 30, 60, 90 and 120 kg ha⁻¹), applied at tillering using ammonium nitrate. We evaluated: vegetation and chlorophyll index at tillering, stem elongation and silking. Data were subjected to analysis of variance, Pearson correlation with nitrogen content in flag leaf and grain yield, and analysis regression to doses, and comparison of means by Tukey test at 5% to means of inoculation and crop succession. The succession soybean-wheat provides more wheat vegetation

index that succession corn-wheat. Inoculation with *Azospirillum* not influences the vegetation index, as well as of chlorophyll index. The normalized difference vegetation index (NDVI) performed at tillering after nitrogen in top dressing and silking has a good correlation with wheat yield and nitrogen leaf content, while the chlorophyll index not correlated with these characteristics. Nitrogen in top dressing positively influenced the value of NDVI, with maximum response in levels of 60 to 100 kg ha⁻¹, depending on the time of evaluation and of previous crop.

Key words: *Triticum aestivum* L. Nitrogen. Rhizobacteria. Reflectance index. NDVI.

4.1 INTRODUÇÃO

O manejo adequado da fertilidade do solo tem potencial de aumentar ou manter a produtividade das culturas mediante aplicação de doses variadas de fertilizantes e de corretivos da acidez do solo (HEERMANM et al., 2002). Segundo Povh et al. (2008) a aplicação de fertilizantes nitrogenados é um dos fatores mais significativos no aumento da produtividade e no custo da produção e, por isso deve ser manejado adequadamente para otimizar ou reduzir os custos, aumentando o lucro do produtor.

A adubação nitrogenada é necessária em virtude da insuficiente quantidade de nitrogênio que o solo fornece para o adequado crescimento das plantas de trigo (SCALCO et al., 2002). Segundo Sangoi et al. (2007) a adubação nitrogenada de cobertura é uma das mais importantes práticas de manejo, pois afeta o crescimento e o desenvolvimento das plantas, aumentando a sua produtividade.

O potencial produtivo do trigo em função da adubação nitrogenada de cobertura no sistema de semeadura direta tem sido estudado por diversos autores com respostas positivas (TRINDADE, et al., 2006; TEIXEIRA FILHO et al., 2010; PRANDO et al., 2012) e, em alguns casos, com respostas negativas em função do acamamento de plantas (ZAGONEL et al., 2002; PRANDO, 2010) ou ainda, com respostas positivas ou ausência de reposta, dependendo da cultura anterior (BRAZ et al., 2006). Segundo Ernani (2003) o nitrogênio é o nutriente mais difícil de ser manejado nos solos de regiões tropicais e subtropicais, em virtude das reações a que está sujeito e a sua alta instabilidade no solo, justificando a variabilidade nas respotas da cultura do trigo.

A cultura antecessora é determinante na definição da produtividade de grãos e das doses mais adequadas de adubação nitrogenada no cultivo do trigo, e já se constitui em um dos critérios para a recomendação da adubação nitrogenada na cultura. Em geral, as leguminosas, além dos benefícios proporcionados pela rotação de culturas, como quebra do ciclo de pragas e doenças, proporcionam maior disponibilidade de nitrogênio, favorecendo a cultura do trigo (FORNASIERI FILHO, 2008). Segundo Braz et al. (2006) as leguminosas, além da fixação simbiótica de nitrogênio,

possuem maior velocidade de decomposição da palhada, com conseqüente liberação de nutrientes. Assim, fornecem nitrogênio mineral para a cultura subsequente, resultando em menor resposta à adubação nitrogenada que o cultivo após gramíneas.

Paralelamente, o uso de bactérias promotoras de crescimento de plantas, como o *Azospirillum*, pode substituir ou reduzir a necessidade de aplicação de alguns insumos químicos, diminuir estresses bióticos e abióticos e aumentar a produtividade do trigo (MORGANTE, 2010). O *Azospirillum* além de fixar nitrogênio atmosférico produz fitormônios (DÖBEREINER; PEDROSA, 1987) que melhoram o crescimento radicular e, conseqüentemente, a absorção de água e de nutrientes, aumentando a tolerância a estresses hídricos (HUNGRIA, 2011). Portanto, estudos com diferentes sucessões de culturas e com a inoculação de *Azospirillum* são necessários para definição da dose de nitrogênio mais adequada para obter maior produtividade econômica na cultura do trigo.

O índice de vegetação e de clorofila, assim como o teor de nitrogênio foliar são ferramentas que podem auxiliar na avaliação do estado nutricional e em alguns casos, na determinação do potencial produtivo da cultura. Estes índices possibilitam verificar as diferenças de vigor das plantas, e assim, estimar o potencial de produtivo. Segundo RAUN et al. (2005) o índice de vegetação serve como indicador do estado nutricional das plantas em relação ao nitrogênio e a utilização de equações de predição de doses de nitrogênio possibilitam aumentar rendimentos e reduzir a contaminação ambiental devido ao excesso da adubação nitrogenada.

Para o desenvolvimento de equações de recomendação e modelos de predição de doses de nitrogênio em cobertura para o trigo, nas condições edafoclimáticas brasileiras, é essencial a realização de trabalhos avaliando a correlação dos índices de vegetação e clorofila com o potencial produtivo da cultura.

Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da inoculação de sementes de trigo com *Azospirillum brasilense* e de doses de nitrogênio em cobertura sobre os índices de vegetação e clorofila, e a correlação destes índices com o teor foliar de nitrogênio e a produtividade de grãos em trigo, cultivado após a cultura da soja e do milho em semeadura direta.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no campo, nos anos agrícolas de 2010 e 2011, no município de Londrina, localizado na região Norte do Paraná, nas coordenadas 23° 12' 08" de latitude Sul, 51° 10' 36" de longitude Oeste e altitude de 570 m. O solo da área experimental é

classificado como Latossolo Vermelho distroférrico (EMBRAPA, 2006) e o clima, segundo a classificação de Köppen, é Cfa (IAPAR, 1994).

A área experimental é manejada no sistema de plantio direto. Previamente à instalação dos experimentos, foi coletada amostra de solo para análise química na camada de 0-20 cm, com os seguintes resultados em sucessão à soja e milho, respectivamente: pH (CaCl₂): 4,87 e 5,09; C: 15,33 e 12,49 g dm⁻³; P (Mehlich-1): 8,41 e 6,85 mg dm⁻³; H+Al: 4,95 e 5,27 cmol_c dm⁻³; K: 0,69 e 0,74 cmol_c dm⁻³; Ca + Mg: 6,05 e 7,07 cmol_c dm⁻³; CTC: 11,69 e 13,08 cmol_c dm⁻³; saturação por bases (V): 58 e 60 % e teor de argila de 73, e 75 %. Os dados de temperatura média diária e precipitação pluvial durante o período de cultivo foram obtidos junto à estação meteorológica da Embrapa Soja, localizada a aproximadamente 2 km do experimento e, são apresentados na Figura 1.

Foram conduzidos dois experimentos, em cada ano, sendo um cultivado após a cultura da soja e o outro após o milho. O delineamento experimental foi de parcelas subdivididas com quatro repetições. Avaliou-se a inoculação de sementes de trigo com *Azospirillum brasilense* (com e sem), na parcela e, cinco doses de nitrogênio em cobertura (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹), utilizando nitrato de amônio, na subparcela.

A sub parcela experimental foi constituída por 13 linhas, com oito metros de comprimento e espaçamento entre linhas de 17 cm. Foi considerada como área útil da subparcela experimental as sete linhas centrais, desprezando-se 1,25 m nas extremidades, totalizando 6,54 m² de área útil.

A adubação de semeadura com nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) foi realizada conforme os resultados da análise química de solo, seguindo as indicações técnicas da comissão brasileira de pesquisa de trigo e triticale para o Estado do Paraná (FRONZA et al., 2008). Na adubação de semeadura de ambas as safras utilizou-se 250 kg ha⁻¹ da fórmula 8-28-16, correspondendo a 20 kg ha⁻¹ de N, 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 40 kg ha⁻¹ de K₂O.

O cultivar utilizado foi o BRS 220, que possui ciclo médio (cerca de 69 dias da emergência ao espigamento), altura média de 84 cm, resistência ao acamamento, com boa capacidade de perfilhamento e elevado potencial produtivo (BASSOI et al., 2010).

A semente utilizada para implantação do experimento na safra 2010 não foi tratada com inseticida e/ou fungicida. Porém, na safra 2011, a semente já foi adquirida pré tratada com fungicida triadimenol, na dose de 3 mL kg⁻¹ de semente, e inseticida imidacloprid, na dose de 1 mL kg⁻¹ de semente.

Antes da semeadura, as sementes foram divididas em duas porções, sendo uma delas inoculada com o inoculante líquido contendo 1 x 10⁸ células viáveis por mL da bactéria

Azospirillum brasilense estirpe Ab-V5 e Ab-V6, na dose de 4 mL do produto comercial para cada 1 kg de semente.

As sementeiras foram realizadas no dia 14/05/2010 e 04/05/2011 visando obter a densidade de aproximadamente 300 plantas por metro quadrado ou 51 plantas por metro linear, no espaçamento de 17 cm. A emergência de plântulas ocorreu seis dias após a sementeira para ambas as safras.

A adubação de cobertura, nas doses previamente estabelecidas, foi realizada aos 20 dias após a emergência das plântulas, correspondendo ao início do perfilhamento, estágio 2 da escala de Feeks e Large (LARGE, 1954). A fonte utilizada foi o nitrato de amônio que contém 32% N e 3% de K₂O, contudo o potássio aplicado foi corrigido, ou seja, ele foi aplicado na mesma quantidade (11,3 kg ha⁻¹ de K₂O) em todas as parcelas independente do tratamento. Na safra de 2010 ocorreu precipitação pluvial de apenas 0,8 mm no dia e 13,2 mm 12 dias após a adubação nitrogenada, enquanto na safra de 2011 ocorreu precipitação de 33,8 mm um dia após a aplicação de nitrogênio. Os tratos culturais foram realizados de acordo com as Indicações Técnicas da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale para o Estado do Paraná (Fronza et al., 2008).

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI - por sua abreviação em inglês de “Normalized Difference Vegetation Index”) foi medido com o sensor portátil ótico ativo Green Seeker[®], com dois tipos de LED (“light emitting diodes”), que emitem radiação ativa em dois comprimentos de onda centralizados no vermelho (660 nm) e no infravermelho próximo (770 nm). As leituras foram realizadas 0,80 m de altura do dossel da cultura, nas linhas centrais das subparcelas na velocidade de aproximadamente 1 m s⁻¹. As leituras do NDVI em cada ano foram realizadas após a aplicação das doses de nitrogênio em cobertura, em três estádios fenológicos, segundo a escala de Feeks e Large (LARGE, 1954) sendo, Perfilhamento (estádio 3 – perfilhos formados) Elongação do colmo (estádio 6 – primeiro nó visível) e Espigamento (estádio 10.3 à 10.5 – metade das espigas emergidas até o espigamento completo).

O índice de clorofila foi determinado com o clorofilômetro Clorofilog1030[®] que emite radiação nos comprimentos de onda de 470, 656 e 663 nm. Foram realizadas duas leituras por subparcela em folhas completamente expandidas, no mesmo dia que da avaliação do NDVI. Em 2010, o índice de clorofila foi avaliado apenas no espigamento do trigo.

No início do florescimento do trigo foram coletadas ao acaso 30 folhas bandeira por subparcela. Estas foram secadas em estufa de circulação de ar forçado até atingirem massa constante e, posteriormente moídas, pesadas e digeridas para a determinação do teor de nitrogênio, seguindo a metodologia de microkjeldahl (AACC, 2000).

A colheita foi realizada no dia 15/09/2010 e 19/09/2011 quando a cultura encontrava-se no estágio 11.4, correspondente à maturação de colheita (LARGE, 1954), o que ocorreu aos 117 e 132 dias após a emergência das plântulas em 2010 e 2011, respectivamente. Os grãos colhidos na área útil da parcela foram pesados para determinação da produtividade em kg ha^{-1} , corrigida para 13% de umidade.

A análise exploratória dos dados foi realizada para verificar o atendimento das pressuposições da análise de variância. Realizou-se a relação entre o maior e menor resíduo e sendo o resultado inferior a 4 procedeu-se a análise conjunta dos experimentos de cada sucessão de cultura. Os dados foram submetidos à análise de variância e análise de regressão para doses. As médias da cultura antecessora e da inoculação foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Calculou-se o coeficiente de correlação de Pearson (r) das características avaliadas com o teor de nitrogênio na folha bandeira e produtividade ao nível de 5 e 1 % de probabilidade pelo teste t de Student.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas safras de trigo de 2010 e 2011 ocorreu baixa precipitação pluviométrica durante o ciclo da cultura (Figura 1). A precipitação foi de 96 mm e 199 mm para as safras 2010 e 2011 respectivamente, abaixo do ideal para a cultura que é de 300 mm (FORNASIERI FILHO, 2008). Essa condição pode ter comprometido o desenvolvimento e desempenho produtivo da cultura, bem como a resposta as causas de variação estudadas. Na safra de 2010 ocorreu precipitação pluvial de apenas 0,8 mm no dia e 13,2 mm 12 dias após a adubação nitrogenada, enquanto na safra de 2011 ocorreu precipitação de 33,8 mm um dia após a aplicação de nitrogênio, sendo a segunda condição considerada melhor para incorporação do nitrogênio no solo (MALAVOLTA, 2006; CANTARELLA et al., 2008). Assim, o nitrogênio aplicado em cobertura pode não ter sido eficientemente incorporado e aproveitado pelas plantas no primeiro ano de avaliação.

Na Tabela 1 é apresentado o resumo da análise de variância para as características avaliadas em resposta à inoculação, doses de nitrogênio em cobertura, cultura anterior e interação entre esses fatores. Na safra 2010, a sucessão de culturas influenciou os índices de vegetação e de clorofila. O trigo cultivado após a soja apresentou maiores valores de NDVI avaliado no perfilhamento e no alongamento do colmo do que o trigo em sucessão ao milho, provavelmente devido a mineralização de nitrogênio pelos restos culturais da soja, que favoreceu o crescimento e desenvolvimento do trigo (Tabela 2). Esse resultado se confirmou na safra 2011, quando o trigo cultivado após a soja apresentou maior valor de NDVI no perfilhamento e no espigamento que o

cultivado após o milho. Segundo Braz et al. (2006) a fixação simbiótica de nitrogênio pela soja e a rápida mineralização dos restos culturais e com conseqüente liberação de nutrientes favorecem o desempenho do trigo, resultando em plantas mais verdes e com maior biomassa. Assim, o efeito das sucessões de culturas foi perceptível em quase todas as avaliações do NDVI.

O trigo cultivado após milho apresentou maior índice de clorofila na fase de espigamento que após a soja na safra 2010 (Tabela 2). Porém, o efeito significativo não se confirmou, na safra 2011, quando não houve diferença no índice de clorofila avaliado nos três estádios fenológicos do trigo. Assim, o índice de clorofila não forneceu dados precisos do estado nutricional da cultura do trigo. Segundo Hurtado et al. (2011) o índice de clorofila é útil para discriminar condições contrastantes de suprimento de nitrogênio, mas a partir de disponibilidade do nutriente no sistema solo-planta, o equipamento não confere a sensibilidade necessária para se decidir precisamente sobre a viabilidade de fornecer pequenas doses adicionais, de 30 a 40 kg ha⁻¹.

O incremento nas doses de nitrogênio em cobertura influenciou o NDVI no perfilhamento em 2010 e no perfilhamento, alongação e espigamento na safra 2011 (Figuras 2 e 3). Em todas as avaliações, a resposta se ajustou ao modelo quadrático, com ponto de máxima eficiência técnica na dose de 100; 68; 90; 78 e 60 kg ha⁻¹ de N para o N_{dviP} 2010, N_{dviP} 2011, N_{dviEL} 2011, N_{dviES} 2011 pós milho e pós soja, respectivamente. Em todas as situações, o NDVI reduziu ou se estabilizou com a utilização de 120 kg ha⁻¹ de N, demonstrando que adubações elevadas não são benéficas e podem prejudicar o desenvolvimento da cultura do trigo. Segundo Trindade et al. (2006) a deficiência hídrica no solo limita a resposta da planta à aplicação de fertilizantes, retardando os processos envolvidos na nutrição mineral: difusão, fluxo de massa e interceptação pelas raízes.

As doses de nitrogênio em cobertura influenciaram o índice de clorofila apenas na leitura realizada no espigamento na safra 2011 (Tabela 1). O índice de clorofila aumentou linearmente com o incremento nas doses de nitrogênio (Figura 2). Porém a ausência de resultados significativos nas avaliações nos outros estádios, bem como a falta de correlação com a produtividade dificultam a utilização do clorofilômetro para a estimativa do estado nutricional na cultura do trigo. Argenta et al. (2001) observaram que o clorofilômetro não apresentou precisão para avaliar o nível de nitrogênio na planta nos estádios iniciais de desenvolvimento (seis a sete folhas) na cultura do milho.

A interação entre doses de nitrogênio em cobertura x sucessão de cultura foi significativa para o NDVI avaliado no espigamento na safra 2011 (Tabela 1). A resposta à dose de nitrogênio em cobertura foi quadrática nas duas sucessões de cultura (Figura 3). O ponto de máxima eficiência técnica para o trigo cultivado em sucessão à soja foi de 60 kg ha⁻¹ de N e em sucessão ao

milho foi de 78,3 kg ha⁻¹ de N. Além disso, o cultivo de trigo em sucessão à soja proporcionou maiores valores de NDVI que após o milho, na ausência de nitrogênio em cobertura e na dose de 30 kg ha⁻¹. Isso também foi constatado pela observação de que as plantas em sucessão ao milho apresentavam sintomas típicos da deficiência de nitrogênio como o amarelecimento foliar em forma de V nesses tratamentos. Esse resultado pode ser explicado pela alta relação C/N da cultura do milho, que promove a imobilização de nitrogênio no solo e, com isso, reduz a quantidade de nitrogênio disponível para o desenvolvimento da planta de trigo (MALAVOLTA, 2006; BRAZ et al., 2006).

A inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* estirpes Ab-V5 e Ab-V6 não influenciou as características avaliadas no trigo (Tabela 1), com exceção do NDVI avaliado na elongação do colmo, que apresentou menor valor no trigo inoculado na safra 2010, porém esse resultado não se repetiu nas demais leituras, nem na safra seguinte (Tabela 3). Em trabalho sobre as respostas fisiológicas induzidas por *Azospirillum*, Barassi et al. (2008) relatam a melhoria no teor de clorofila, maior altura de plantas e maior produção de biomassa. Porém, a inoculação não promoveu nenhum efeito visual ou detectável pelo NDVI ou índice de clorofila no presente trabalho.

A disponibilidade hídrica pode ter prejudicado a sobrevivência, colonização e multiplicação dessas bactérias. Nas safras de trigo de 2010 e 2011 ocorreu baixa precipitação pluviométrica durante o ciclo da cultura (Figura 1). A semeadura na safra 2010 foi realizada após um período de estiagem em solo seco, com ocorrência de precipitação pluvial dois dias após a semeadura, já na safra 2011 houve um período de estiagem após a semeadura. Segundo Hungria et al. (2007) o inoculante, por conter bactérias vivas, pode sofrer perda de efeito pela morte das mesmas quando expostas a condições de calor, deficiência hídrica, contato com agrotóxicos e outros produtos usados no tratamento de sementes.

O índice de vegetação por diferença normatizada (NDVI) apresentou correlação positiva com a produtividade do trigo em ambos os anos (Tabela 4). Isso demonstra que o aparelho pode ser útil para a agricultura de precisão na adubação nitrogenada de cobertura a taxa variável. Contudo, necessita de mais trabalhos para as condições edafoclimáticas brasileiras, cultivares, sucessões de culturas, densidade de plantas, etc. de modo a permitir a realização de modelos de ajuste do valor do NDVI com a dose necessária de nitrogênio em cobertura. Segundo Povh et al. (2008), a utilização dos dados do NDVI para recomendação da dose de nitrogênio exige observar também outros fatores como o cultivar e a cobertura do solo, pois também interferem no valor do índice de vegetação.

O índice de clorofila avaliado no perfilhamento, no alongamento do colmo e no espigamento não apresentou correlação com a produtividade do trigo (Tabela 4), indicando que este aparelho por si não diferencia potenciais produtivos na cultura, não sendo adequado para elaboração

de mapas para aplicação em taxa variável na cultura do trigo. O índice de clorofila também não apresentou correlação com o teor de nitrogênio na folha bandeira e o NDVI, com exceção do índice de clorofila avaliado no espigamento que apresentou correlação de 0,23 com o teor de nitrogênio na folha. Segundo Hurtado et al. (2011) o aparelho não consegue prever com alto grau de confiabilidade o estado nutricional vinculado ao potencial produtivo.

A resposta observada no índice de vegetação juntamente com sua correlação positiva com o desempenho produtivo, demonstra que a leitura do NDVI avaliado no perfilhamento, alongamento do colmo e espigamento é sensível em detectar alterações no desenvolvimento da planta em resposta aos diferentes níveis de adubação nitrogenada. Corroborando Xavier et al. (2006), que observaram que a leitura do NDVI proporcionou melhores correlações com produtividade nas avaliações realizadas entre as fases de perfilhamento e espigamento. Segundo Fronza et al. (2008), a adubação nitrogenada de cobertura deve ser realizada no perfilhamento. Dessa forma, a leitura do NDVI pode ser utilizada para avaliar o estado nutricional da planta nessa fase e servir de referência para determinação de doses de nitrogênio em cobertura. Ainda, quando avaliado após a adubação nitrogenada pode indicar a necessidade de uma adubação suplementar de nitrogênio.

4.4 CONCLUSÕES

A sucessão soja-trigo proporciona maior índice de vegetação do trigo que a sucessão milho-trigo.

A inoculação de sementes com *Azospirillum* não influencia o índice de vegetação e de clorofila na cultura do trigo.

As doses de nitrogênio em cobertura influenciaram positivamente o valor do NDVI, com máxima resposta em doses de 60 a 100 kg ha⁻¹, dependendo da época da avaliação e cultura anterior.

O índice de vegetação por diferença normatizada (NDVI) realizado no perfilhamento, alongamento e no espigamento possui correlação positiva com a produtividade do trigo e o teor de nitrogênio foliar, enquanto o índice de clorofila não se correlaciona com essas características.

4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. AACC International. **Approved methods**. 10. ed. Saint Paul, 2000.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F. da; BARTOLINI, C. G.; FORSTHOFER, E. L.; STRIEDER, M. L. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 13, n. 2, p. 158-167, 2001.

BARASSI, C. A.; SUELDO, R. J.; CREUS, C. M.; CARROZZI, L. E.; CASANOVAS, W. M.; PEREYRA, M. A. Potencialidad de *Azospirillum* en optimizar el crecimiento vegetal bajo condiciones adversas. In: CASSÁN, F.D.; GARCIA DE SALAMONE, I. (Ed.) ***Azospirillum sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina***. Argentina: Asociación Argentina de Microbiología, 2008. p. 49-59.

BASSOI, M. C.; RIEDE, C. R.; CAMPOS, L. A. C.; TAVARES, L. C. V.; SHIOGA, P. S.; MIRANDA, L. C.; SCHOLZ, M. B. S.; BECKERT, O. P.; OKUYAMA, L. A.; MACHADO, J. C.; SCHEEREN, P. L.; POLA, J. N.; SERA, G. S. MIRANDA, M. Z.; AZAMBUJA, J. R. S.; DENGLER, R. U. **Cultivares de trigo Embrapa e Iapar**. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 60 p. (Embrapa Soja. Documentos, 321).

BRAZ, A.J.B.P.; SILVEIRA, P.M.; KLIEMANN, H.J.; ZIMMERMANN, F.J.P. Adubação nitrogenada em cobertura na cultura do trigo em sistema plantio direto após diferentes culturas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 2, p. 193-198, 2006.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; CONTIN, T. L. M.; DIAS, F. L. F.; ROSSETTO, R.; MARCELINO, R.; COIMBRA, R. B.; QUAGGIO, J. A. Ammonia volatilisation from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 65, n. 4, p. 397-401, 2008.

DÖBEREINER, J.; PEDROSA, F. O. **Nitrogen-fixing bacteria in nonleguminous crop plants**. New York: Science Tech, Springer-Verlag 1987, 155 p.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

ERNANI, P. R. Disponibilidade de nitrogênio e adubação nitrogenada pra a macieira. Lages: Graphel, 2003. 76p.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do trigo**. Jaboticabal: Funep, 2008. 338p.

FRONZA, V.; CAMPOS, L.A.C.; RIEDE, C.R. (Org.) **Informações técnicas para a safra 2008: trigo e triticale**. Londrina: Embrapa Soja, 2008. (Embrapa Soja Documentos, 301) 147p.

HEERMANN, D.F.; HOETING, J.; THOMPSON, S.E.; DUKE, H.R.; WESTFALL, D.G.; BUCHLEITER, G.W.; WESTRA, P.; PEAIRS, F.B.; FLEMING, K. Interdisciplinary irrigated precision farming research. **Precision Agriculture**, v. 3, p. 47-61, 2002.

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo Custo**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 36p. (Embrapa Soja, ISSN 1516-781X; n.325).

HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; MENDES, I.C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja**: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 80p. (Embrapa Soja. Documentos, 283).

HURTADO, S. M. C.; RESENDE, A.V.; SILVA C.A.; CORAZZA E. J.; SHIRATSUCHI, L. S. Clorofilômetro no ajuste da adubação nitrogenada em cobertura para o milho de alta produtividade. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 6, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782011005000074>>

IAPAR. **Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná**. Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, 1994. 44 p.

LARGE, E. C. Growth stages in cereals illustration of the Feeks scales. **Plant Pathology**, Oxford, v.4, p.22-24, 1954.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MORGANTE, P. G. **Fixação biológica e assimilação de Nitrogênio**. 2010, Disponível em: <<http://www.scribd.com/doc/3319817/Fixacao-Biologica-e-Assimilacao-de-Nitrogenio>>. Acesso em: 30 ago. 2010.

POVH, F. P.; MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; PAULETTI, V.; MOLIN, R.; SALVI, J. S. Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 8, p. 1075-1083, 2008.

PRANDO, A. M. **Doses de nitrogênio e formas de ureia em cobertura em genótipos de trigo**. 2010 80p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR, 2010.

PRANDO, A. M.; ZUCARELI, C.; FRONZA, V.; BASSOI, M. C.; OLIVEIRA, F. A. Formas de ureia e doses de nitrogênio em cobertura no desempenho agrônomo de genótipos de trigo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina v. 33, n. 2, p. 621-632, 2012.

RAUN, W.; SOLIE, J.B.; STONE, K.L.; MARTIN, K.L.; FREEMAN, K.W.; MULLEN, R.W.; ZHANG, H.; SCHEPERS, J.S.; JOHNSON, G.V. Optical sensor based algorithm for crop nitrogen fertilization. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 36 n. 19-20, p. 2759-2781, 2005.

SANGOI, L.; BERNS, A. C.; ALMEIDA, M. L. de; ZANIN, C. G.; SCHWEITZER, C. Características agrônomo de cultivares de trigo em resposta à época da adubação nitrogenada de cobertura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 6, p. 1564-1570, 2007.

SCALCO, M.S.; FARIA, M.A.; GERMANI, R.; MORAIS, A.R. Produtividade e qualidade industrial do trigo sob diferentes níveis de irrigação e adubação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 2, p. 400-410, 2002.

TEIXEIRA 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. 8, p. 797-804. 2010.

TRINDADE, M. G.; STONE, L. F.; HEINEMANN, A. B.; CÃNOVAS, A. D.; MOREIRA, J. A. A. Nitrogênio e água como fatores de produtividade do trigo no cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 24-29, 2006.

XAVIER, A. C.; RUDORFF, B. F. T.; MOREIRA, M. A.; ALVARENGA, B. S.; FREITAS, J. G.; SALOMON, M. V. Hyperspectral field reflectance measurements to estimate wheat grain yield and plant height. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 63, n. 2, p. 130-138, 2006.

ZAGONEL, J.; VENÂNCIO, W. S.; KUNZ, R. P.; TANAMATI, H. Doses de nitrogênio e densidade de plantas com e sem um regulador de crescimento afetando o trigo, cultivar OR-1. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 25-29, 2002.

Tabela 1 –Resumo da análise de variância (Prob. > F) para as características avaliadas em trigo, em função da cultura anterior, da inoculação de sementes com *Azospirillum* e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura em Londrina-PR, na safra 2010 e 2011.

Causas de Variação	GL	NdviP	NdviEL	NdviES	ICP	ICEL	ICES
2010							
Sucessão (S)	1	0,000	0,003	0,095	-	-	0,009
Bloco	6	0,116	0,073	0,494	-	-	0,010
Inoculação (I)	1	0,673	0,049	0,393	-	-	0,265
S x I	1	0,953	0,744	0,793	-	-	0,050
CV 1 (%)		11,62	15,41	13,86	-	-	2,95
Dose N (D)	4	0,001	0,518	0,080	-	-	0,557
D x S	4	0,276	0,248	0,985	-	-	0,151
D x I	4	0,246	0,819	0,214	-	-	0,965
D x I x S	4	0,864	0,870	0,912	-	-	0,658
CV 2 (%)		6,25	12,14	7,75	-	-	5,42
2011							
Sucessão (S)	1	0,010	0,398	0,021	0,093	0,523	0,176
Bloco	6	0,163	0,192	0,037	0,020	0,978	0,672
Inoculação (I)	1	0,158	0,295	0,608	0,813	0,776	0,954
S x I	1	0,239	0,252	0,259	0,666	0,511	0,486
CV 1 (%)		17,64	22,64	10,05	4,8	8,71	5,31
Dose N (D)	4	0,020	0,002	0,000	0,424	0,777	0,022
D x S	4	0,154	0,732	0,001	0,972	0,335	0,298
D x I	4	0,246	0,311	0,149	0,487	0,742	0,497
D x I x S	4	0,623	0,462	0,080	0,407	0,939	0,353
CV 2 (%)		9,00	11,17	7,22	7,78	7,58	4,87

CV: Coeficiente de variação; GL: Graus de liberdade; NdviP, NdviEL NdviES: índice de vegetação realizado no perfilhamento, alongamento do colmo e espigamento, respectivamente; ICP, ICEL, ICES: índice de clorofila realizado no perfilhamento, alongamento do colmo e espigamento, respectivamente.

Tabela 2 – Valores médios dos índices de vegetação (NDVI) e de clorofila (IC) avaliadas em trigo, em função da sucessão de culturas, em Londrina-PR, na safra 2010 e 2011.

Sucessão	NdviP	NdviEL	NdviES	ICP	ICEL	ICES
			2010	-	-	
Milho	0,3051 b	0,3887 b	0,3269 a	-	-	46,022 a
Soja	0,4189 a	0,4586 a	0,3476 a	-	-	44,884 b
DMS	0,0230	0,0357	0,0256	-	-	0,7326
			2011			
Milho	0,2826 b	0,4040 a	0,5684 b	52,415 a	47,690 a	49,218 a
Soja	0,3271 a	0,4230 a	0,6094 a	51,303 a	47,065 a	48,328 a
DMS	0,0294	0,0512	0,0324	13,62	2,257	1,418

Médias seguidas pela mesma letra na coluna para cada ano não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. DMS: Diferença mínima significativa; NdviP, NdviEL NdviES: índice de vegetação realizado no perfilhamento, alongamento do colmo e espigamento, respectivamente; ICP, ICEL, ICES: índice de clorofila realizado no perfilhamento, alongamento do colmo e espigamento, respectivamente.

Tabela 3 – Valores médios dos índices de vegetação (NDVI) e de clorofila (IC) avaliadas em trigo, em função da inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense*, em Londrina-PR, na safra 2010 e 2011.

F.V.	NdviP	NdviEL	NdviES	ICP	ICEL	ICES
Semente			2010	-	-	
Inoculada	0,3599 a	0,4057 b	0,3325 a	-	-	45,64 a
Controle	0,3641 a	0,4416 a	0,3421 a	-	-	45,27 a
DMS	0,0230	0,0357	0,0256	-	-	0,73
			2011			
Inoculada	0,2951 a	0,4015 a	0,5853 a	51,79 a	47,24 a	48,79 a
Controle	0,3145 a	0,4255 a	0,5925 a	51,93 a	47,52 a	48,76 a
DMS	0,0294	0,0512	0,0324	13,62	22,57	14,18

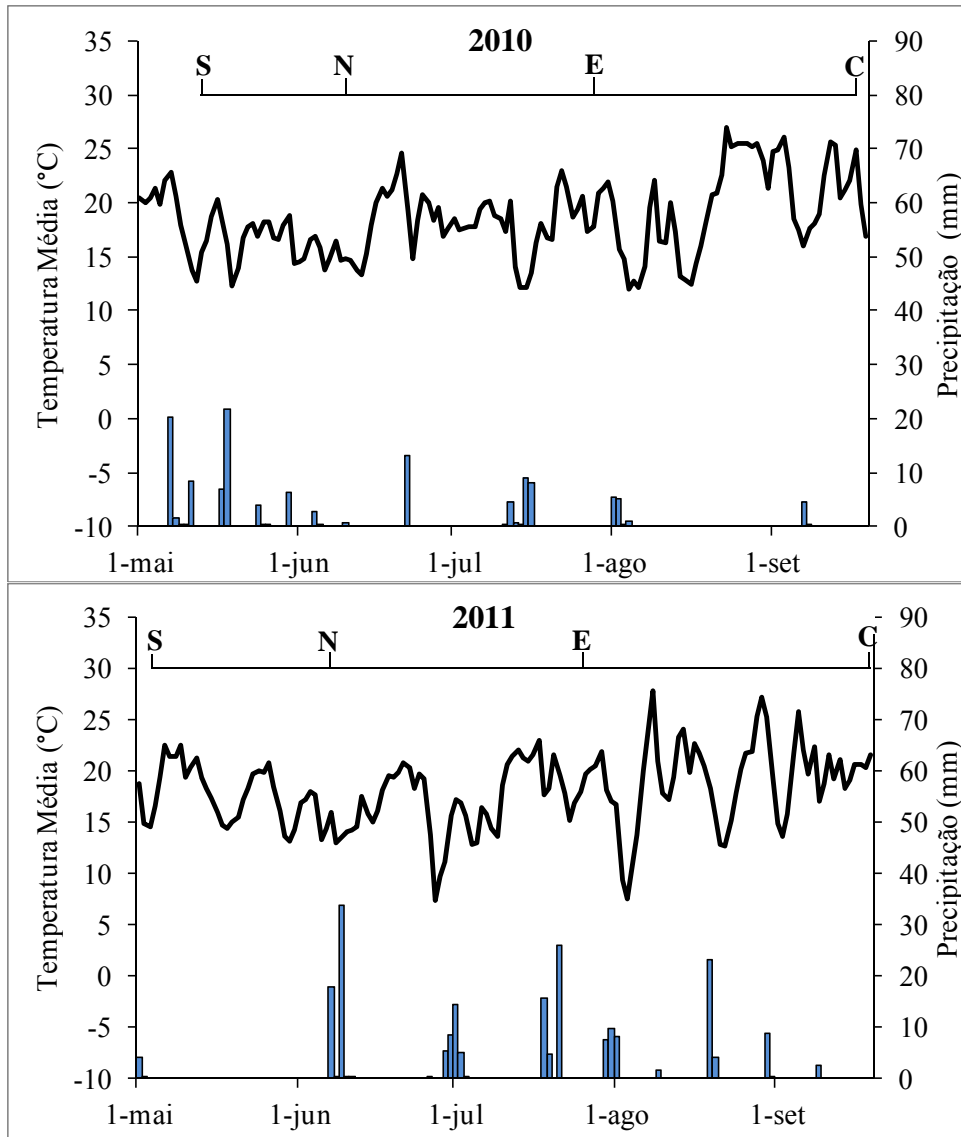
Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. DMS: Diferença mínima significativa; NdviP, NdviEL NdviES: índice de vegetação realizado no perfilhamento, alongamento do colmo e espigamento, respectivamente; ICP, ICEL, ICES: índice de clorofila realizado no perfilhamento, alongamento do colmo e espigamento, respectivamente.

Tabela 4 – Correlação de Pearson (r) entre as características avaliadas na cultura do trigo, em Londrina-PR na safra 2010 e 2011.

	Prod	NdviP	NdviEL	NdviES	ICP	ICEL	ICES
				2010			
Prod	1	0,38**	0,60**	0,66**	-	-	0,02 ^{ns}
N foliar	-0,03 ^{ns}	-0,30**	-0,28*	0,18 ^{ns}	-	-	0,23*
				2011			
Prod	1	0,28*	0,37**	0,67**	0,06 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,05 ^{ns}
N foliar	0,57**	0,45**	0,37**	0,68**	-0,04 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,18 ^{ns}

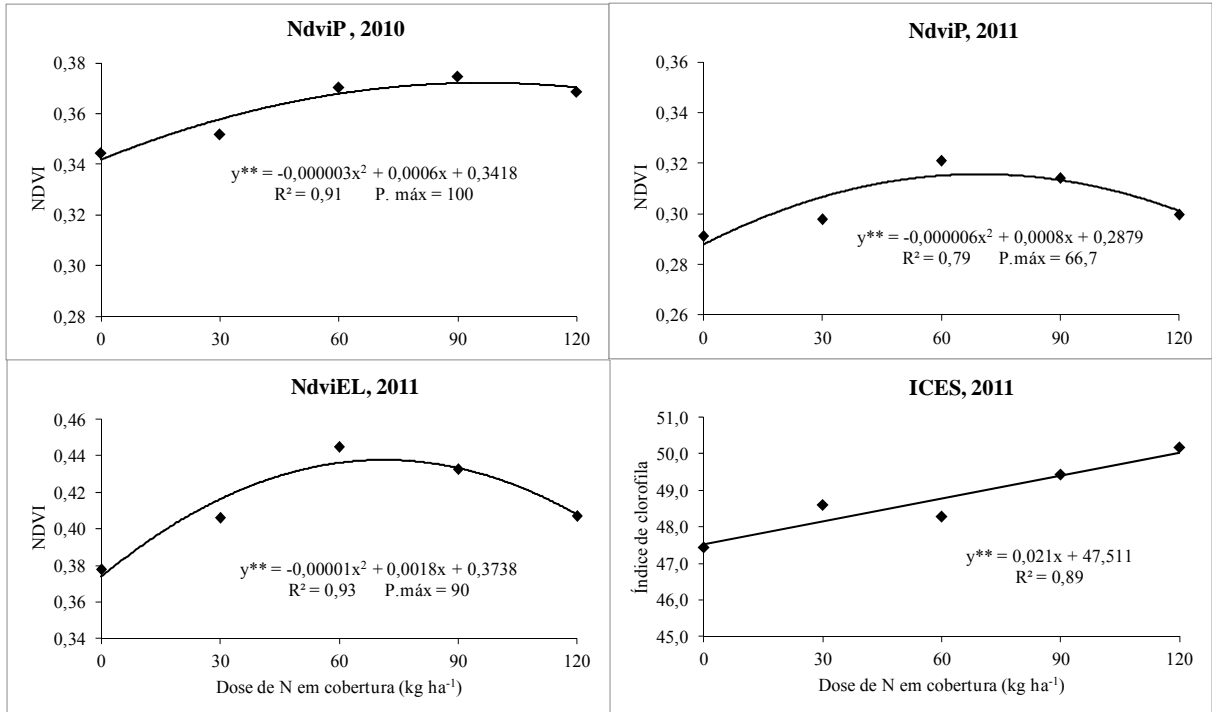
^{ns}, ** e * : Não significativo, significativo a 1 e 5 % de probabilidade, pelo teste t. Prod.: Produtividade; N foliar: teor de nitrogênio na folha bandeira; NdviP, NdviEL NdviES: índice de vegetação realizado no perfilhamento, alongamento do colmo e espigamento, respectivamente; ICP, ICEL, ICES: índice de clorofila realizado no perfilhamento, alongamento do colmo e espigamento, respectivamente.

Figura 1 – Temperatura média diária (°C) e precipitação pluvial (mm) em Londrina-PR, no período de 01/05/2010 à 19/09/2010 e 01/05/2011 à 19/09/2011. S: semeadura, E: emergência, N: adubação nitrogenada de cobertura, E: Espigamento, C: colheita.



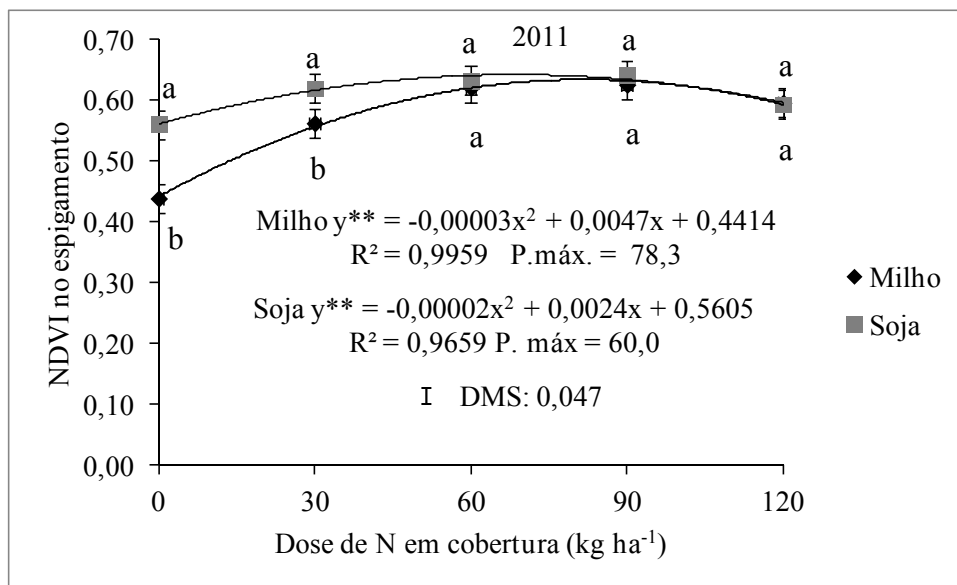
Fonte: Elaboração dos autores, dados adaptados da Embrapa Soja (2012).

Figura 2 – Índice de vegetação avaliado no perfilhamento (NdvIP) e no espigamento (NdvIEL) e índice de clorofila no espigamento (ICES) em trigo em função de doses de nitrogênio aplicadas em cobertura, em Londrina-PR. * e ** significativo à 5 e 1 % pelo teste t; P. máx: ponto de máximo e R^2 : coeficiente de determinação.



Fonte: Elaboração dos autores

Figura 3 – Índice de vegetação (NDVI) avaliado no espigamento em trigo em função de doses de N aplicadas em cobertura e da cultura anterior, em Londrina-PR, na safra 2011. ** significativo a 1% pelo teste t; P. máx: ponto de máximo e R^2 : coeficiente de determinação; DMS: diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 5% de significância.



Fonte: Elaboração dos autores.

5 ARTIGO C: DESEMPENHO PRODUTIVO E ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E CLOROFILA DO TRIGO EM RESPOSTA À INOCULAÇÃO COM *AZOSPIRILLUM* E ADUBAÇÃO NITROGENADA DE COBERTURA

RESUMO - O objetivo foi avaliar os efeitos da inoculação do trigo com *Azospirillum brasilense* e de doses de nitrogênio em cobertura no desempenho produtivo, nos índices de vegetação e clorofila e nos teores de nitrogênio na folha e no grão do trigo, cultivado em semeadura direta em sucessão à soja. O experimento foi realizado no ano de 2010, em solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico, no município de Ponta Grossa, PR. O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com seis repetições. Avaliou-se a inoculação de sementes de trigo com *Azospirillum* (com e sem) e, cinco doses de nitrogênio em cobertura (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹) aplicadas no perfilhamento. Foram avaliados: produtividade e massa de mil grãos, teor de nitrogênio da folha e do grão, massa seca da parte aérea, índice de clorofila e de vegetação avaliados no perfilhamento, alongamento do colmo e espigamento. Os dados foram submetidos à análise de variância, correlação e à análise de regressão para doses e comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% para inoculação. O nitrogênio em cobertura no trigo cultivado após a soja não altera a produtividade, a massa de 1000 grãos e a massa seca da parte aérea, porém, o incremento das doses aumenta linearmente o teor de nitrogênio no grão e o índice de clorofila e de vegetação avaliado na fase de espigamento. A inoculação com *Azospirillum brasilense* estirpe Ab-V5 e Ab-V6 não influencia o desempenho agrônômico da cultura do trigo, mas proporciona maior teor de nitrogênio nos grãos. O índice de vegetação por diferença normatizada (NDVI), avaliado no perfilhamento, alongamento do colmo e espigamento possui correlação positiva com a produtividade do trigo e, quando avaliado no espigamento com o teor de nitrogênio da folha bandeira.

Palavras-chave: *Triticum aestivum* L. *Azospirillum brasilense*. Nitrogênio. NDVI. Rizobactérias.

WHEAT PERFORMANCE AND VEGETATION AND CHLOROPHYLL INDEX IN RESPONSE TO INOCULATION WITH *AZOSPIRILLUM* AND NITROGEN IN TOP DRESSING

ABSTRACT - The objective was to evaluate wheat inoculation with *Azospirillum brasilense* and nitrogen levels in top dressing on growth performance in vegetation and chlorophyll index and nitrogen content in the leaf and grain of wheat, grown in system tillage in soybeans succession. The experiment was conducted on soil classified in the crop year 2010, in soil classified as Typic Haplustox in Ponta Grossa, Paraná State, Brazil. The experimental design was a randomized block with six replications. We evaluated the inoculation of wheat seeds with *Azospirillum brasilense* (with and without) and five nitrogen levels (0, 30, 60, 90 and 120 kg ha⁻¹) applied at tillering. We evaluated: yield and thousand grain weight, leaf nitrogen content and grain, dry matter weight and vegetation and chlorophyll index evaluated at tillering, stem elongation and silking. Data were subjected to analysis of variance, correlation and regression analysis for doses and comparison of means by Tukey test at 5% for inoculation. Nitrogen in top dressing in wheat grown after soybean does not change productivity, 1000 grain mass and dry matter mass, however, increase nitrogen levels increases linearly with nitrogen content in grain and chlorophyll and vegetation index evaluated at silking stage. The inoculation with *Azospirillum brasilense* Ab-V5 and Ab-V6 strain

does not influence the agronomic performance of wheat crop, but provides higher nitrogen content in grain. Normalized difference vegetation index (NDVI), measured at tillering, elongation stem and silking has positive correlation with wheat yield and, when NDVI is evaluated at silking with the nitrogen content of the flag leaf.

Key words: *Triticum aestivum* L. *Azospirillum brasilense*. Nitrogen, NDVI. rhizobacteria.

5.1 INTRODUÇÃO

O Brasil não é autossuficiente na produção de trigo, sendo comumente importada mais da metade da quantidade consumida. O potencial de produção nacional desse cereal é grande, mas em virtude da baixa rentabilidade e dos riscos de perdas durante a fase de produção, essa cultura vem perdendo área de cultivo para outras culturas. Para reverter esse cenário faz-se necessário o desenvolvimento ou aprimoramento de tecnologias que possibilitem aumentar a produtividade ou reduzir os custos da lavoura ou, ainda, a combinação destes, visando a maior lucratividade da cultura.

A adubação corresponde ao maior custo da lavoura de trigo e dentre os nutrientes necessários o nitrogênio é o mais oneroso (TEIXEIRA FILHO et al., 2010). Portanto, o manejo correto deste nutriente pode aumentar a produtividade bem como contribuir para redução dos custos da lavoura. A consolidação do sistema de plantio direto, bem como o lançamento de novas cultivares e tecnologias de produção demandam estudos contínuos para determinação de doses de nitrogênio adequadas ao cultivo nas diversas condições edafoclimáticas brasileiras.

Trabalhos de pesquisa tem sido realizados estudando o efeito de níveis de nitrogênio em cobertura na cultura do trigo em sistema de semeadura direta. Zagonel et al. (2002) observaram que com o incremento na dose de nitrogênio ocorreu aumento da altura das plantas, do número de espigas m^{-1} e da produtividade de grãos de trigo após feijão. Trindade et al. (2006) em experimento de trigo irrigado no cerrado, em sucessão a soja, obtiveram resposta quadrática da produtividade em função da adubação nitrogenada de cobertura, sendo que a maior produtividade obtida foi 6.370 kg ha^{-1} na dose de 173 kg ha^{-1} de N. Já Silva (1991) com produtividade média de 5.227 kg ha^{-1} não encontrou efeito significativo do nitrogênio na produtividade do trigo devido à contribuição da soja como cultura anterior.

Prando et al. (2012) observaram aumento linear da produtividade do trigo após a soja até doses de 120 kg ha^{-1} de nitrogênio, com produtividade de até 4.500 kg ha^{-1} . Por outro lado, em condições de maior precipitação pluviométrica, o incremento de doses de nitrogênio pode reduzir a produtividade de grãos, devido ao aumento no acamamento de plantas (ZAGONEL, 2002; PRANDO, 2010).

A cultura anterior também deve ser considerada no manejo da adubação nitrogenada para o trigo. Em geral as leguminosas proporcionam maior residual de nitrogênio e favorecem a cultura do trigo cultivada em sequência. Segundo Braz et al. (2006) as leguminosas além da fixação simbiótica de nitrogênio, possuem maior velocidade de decomposição da palhada com consequente mineralização de nutrientes, assim fornecem nitrogênio mineral para o trigo resultando em menor resposta ao nitrogênio que o cultivo após gramíneas.

O uso de bactérias promotoras de crescimento de plantas como o *Azospirillum* pode substituir ou reduzir a necessidade de aplicação de alguns insumos químicos, diminuir estresses bióticos e abióticos e aumentar a produtividade da cultura (MORGANTE, 2010). O *Azospirillum*, além de fixar nitrogênio atmosférico produz fitormônios (DÖBEREINER; PEDROSA, 1987) que melhoram o crescimento radicular e, conseqüentemente, a absorção de água e de nutrientes, aumentando a tolerância a estresses hídricos e deixando as plantas mais vigorosas e produtivas (HUNGRIA, 2011).

Trabalhos realizados com trigo em associação com *Azospirillum* evidenciaram que as bactérias se estabelecem na à superfície externa da raiz para colonizar a rizosfera, confirmando a existência de uma interação estreita entre planta e bactéria fixadora. Dobbelaere et al. (2002) observaram que a inoculação de milho e trigo com *Azospirillum brasilense* influenciou o desenvolvimento radicular das plantas, a matéria seca de raízes, a produção de grãos e a eficiência de absorção de nitrogênio pelas plantas. Okon e Labandera-Gonzales (1994) analisando resultados de ensaios realizados por mais de 20 anos, em diferentes solos, condições climáticas e culturas no mundo, observaram que 60 à 70 % dos experimentos resultaram incrementos na produtividade devido à inoculação com *Azospirillum*, com aumentos estatisticamente significativos na ordem de 5 à 30 %. Em trabalhos realizados por Hungria et al. (2010), nas condições brasileiras, observou-se que a utilização de *Azospirillum brasilense* proporcionou um incremento médio de 13 a 18 % na produtividade do trigo. Contudo, nas respostas à inoculação deve-se considerar a interação dessa prática com diversos outros fatores, dentre eles a disponibilidade de nitrogênio via adubação.

O objetivo foi avaliar os efeitos da inoculação de trigo com *Azospirillum brasilense* combinado com doses de nitrogênio em cobertura no desempenho produtivo, nos índices de vegetação e clorofila e nos teores de nitrogênio na folha e no grão do trigo cultivado em semeadura direta em sucessão à soja.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na fazenda experimental do Escritório de Negócios da Embrapa Serviços Produtos e Mercado (SPM), localizada no município de Ponta Grossa, que se encontra a 25°10'24'' latitude Sul, 50°04'32'' longitude Oeste, com altitude de 870 m. O solo do local é caracterizado como Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2006). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Cfb, ou seja, clima temperado, temperatura média no mês mais frio abaixo de 18 °C, com verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de 22 °C e sem estação seca definida (IAPAR, 1994).

A área experimental é manejada no sistema de plantio direto, sendo o trigo cultivado em sucessão à cultura da soja. Previamente à instalação dos experimentos, foi coletada amostra de solo da área experimental para análise química. Os resultados da amostra coletada na camada de 0-20 cm foram: pH (CaCl₂): 4,74; C: 18,94 g dm⁻³; P (Mehlich-1): 2,72 mg dm⁻³; H+Al: 2,43 cmol_c dm⁻³; K⁺: 0,33 cmol_c dm⁻³; Ca²⁺: 4,55; Mg²⁺: 2,00 cmol_c dm⁻³; CTC: 9,31 cmol_c dm⁻³ e porcentagem de saturação por bases (V): 74%. Os dados de temperatura média diária e precipitação pluvial durante o período de cultivo foram obtidos junto à estação meteorológica da Embrapa, localizada a aproximadamente 3 km do experimento e são apresentados na Figura 1.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados no esquema fatorial 2 x 5 (níveis de inoculação e doses de nitrogênio em cobertura), com seis repetições. Avaliou-se o efeito da inoculação de trigo com *Azospirillum brasilense* (com e sem) e cinco doses de nitrogênio em cobertura (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹). A parcela experimental foi constituída por 22 linhas, espaçadas em 20 cm, com seis metros de comprimento. Foi considerada como área útil da parcela experimental as 12 linhas centrais, desprezando-se 1,0 m nas extremidades, totalizando 9,6 m² de área útil.

A adubação de semeadura com nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) foi realizada conforme os resultados da análise química de solo, seguindo as indicações técnicas da comissão brasileira de pesquisa de trigo e triticale para o Estado do Paraná (FRONZA et al., 2008). Foram utilizados 250 kg ha⁻¹ da fórmula (NPK) 8-28-16, correspondendo a 20 kg ha⁻¹ de N, 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 40 kg ha⁻¹ de K₂O.

O cultivar utilizado foi o BRS Tangará que possui ciclo médio (69 dias da emergência ao espigamento), altura média de 85 cm com moderada resistência ao acamamento, peso médio de mil sementes de 40 g e, pertence à classe comercial Trigo Melhorador tendendo a pão (BASSOI et al., 2010).

A semente utilizada para implantação do experimento não foi tratada com inseticida e/ou fungicida. Antes da semeadura, as sementes foram divididas em duas porções, sendo uma inoculada com inoculante líquido contendo 1×10^8 células viáveis por mL da bactéria *Azospirillum brasilense* estirpes Ab-V5 e Ab-V6, na dose de 4 mL do produto comercial para cada kg de semente.

A semeadura foi realizada no dia 24/06/2010 visando a obtenção de uma densidade de aproximadamente 300 plantas por metro quadrado e, a emergência de plântulas ocorreu seis dias após.

A adubação de cobertura, nas doses estipuladas, com nitrato de amônio, foi realizada 28 dias após a emergência das plântulas, correspondendo ao início do perfilhamento, estágio 2 da escala de Feeks e Large (LARGE, 1954). A fonte utilizada foi o nitrato de amônio, que contém 32% N e 3% de K_2O , contudo o potássio aplicado foi corrigido, ou seja, foi realizada adubação potássica suplementar para atingir a quantidade aplicada no tratamento com maior dose ($11,3 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O), dessa forma, todas as parcelas receberam a mesma quantidade de potássio. Quatro dias após a adubação de cobertura ocorreu precipitação pluvial de 6,4 mm. Os tratos culturais foram realizados de acordo com as indicações técnicas da comissão brasileira de pesquisa de trigo e triticale para o Estado do Paraná (FRONZA et al., 2008).

No início do florescimento foram coletadas ao acaso 30 folhas bandeira por parcela para determinação do teor de nitrogênio. As folhas foram secadas em estufa de circulação de ar forçado até atingirem massa constante e moídas, posteriormente retirou-se uma amostra de 0,1 g, realizou-se a digestão sulfúrica e determinou-se o teor de nitrogênio, seguindo a metodologia de microkjedahl (AACC, 2000).

Previamente à colheita, foram coletadas as plantas de duas linhas com 0,5 m linear de cada parcela, que foram secadas em estufa de circulação de ar e posteriormente pesadas para determinação da massa seca da parte aérea (MSPA), expressa em kg ha^{-1} .

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI - por sua abreviação em inglês de “Normalized Difference Vegetation Index”) foi medido com o sensor portátil ótico ativo Green Seeker[®], com dois tipos de LED (“light emitting diodes”), que emitem radiação ativa em dois comprimentos de onda centralizados no vermelho (660 nm) e no infravermelho próximo (770 nm). As leituras foram realizadas a 0,80 m de altura do dossel da cultura, nas linhas centrais das parcelas na velocidade de aproximadamente 1 m s^{-1} . As leituras do NDVI em cada ano foram realizadas em três estádios fenológicos, segundo a escala de Feeks e Large (LARGE, 1954), sendo perfilhamento (estádio 3 – perfilhos formados) alongação do colmo (estádio 6 – primeiro nó visível) e espigamento (estádio 10.3 – metade das espigas emergidas).

O índice de clorofila foi determinado com o clorofilômetro Clorofilog1030[®] que emite radiação no comprimento de onda de 470, 656 e 663 nm. Foram realizadas duas leituras por parcela em folhas completamente expandidas, avaliadas em dois estádios fenológicos, segundo a escala de Feeks e Large (LARGE, 1954), alongação do colmo (estádio 6 – primeiro nó visível) e espigamento (estádio 10.3 – metade das espigas emergidas).

A colheita foi realizada no dia 15/11/2010 quando a cultura encontrava-se no estágio 11.4, correspondente à maturação de colheita (LARGE, 1954), aos 142 dias após a emergência das plântulas. Os grãos colhidos na área útil da parcela foram pesados para determinação do rendimento em kg ha⁻¹, corrigido a 13% de umidade. A massa de 1000 grãos foi determinada mediante média da pesagem de duas sub-amostras de 500 grãos de cada parcela. O teor de nitrogênio nos grãos foi determinado seguindo a metodologia de microkjeldahl, utilizando uma amostra de 0,1 gramas de grãos moídos e com granulometria inferior a 0,2 mm e posterior digestão sulfúrica e determinação do teor de nitrogênio através do método de microkjeldahl (AACC, 2000).

A análise exploratória dos dados foi realizada para verificar o atendimento das pressuposições da análise de variância. Os dados foram submetidos à análise de variância e análise de regressão para doses de nitrogênio em cobertura. As médias da inoculação foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Os dados das características avaliadas também foram submetidos à análise de correlação de Pearson com o teor de nitrogênio foliar e a produtividade de grãos em trigo.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo da análise de variância para as características avaliadas em resposta à inoculação, doses de nitrogênio em cobertura e a interação entre esses fatores é apresentado na tabela 1. A interação entre a inoculação com *Azospirillum* e doses de nitrogênio em cobertura não foi significativa. A ausência de interação entre a rizobactéria e doses de nitrogênio foi observada também por Bazzanezi et al. (2011) no trigo e Gitti et al. (2012) no arroz relatando que, doses maiores não inibem a ação do *Azospirillum*. Por outro lado, Sala et al. (2007) obtiveram interação significativa e, observaram aumento na produtividade, com a inoculação, mesmo em altas doses de fertilizante nitrogenado.

O incremento de doses de nitrogênio não influenciou a produtividade de trigo (Tabela 1). Esse resultado deve-se, provavelmente, à relação C/N da palhada da soja que é baixa, apresenta rápida decomposição e, conseqüentemente, promove a mineralização de nitrogênio no solo, também ao teor de carbono orgânico do solo que é de 18,94 g dm⁻³, com isso, aumenta a

quantidade de nitrogênio disponível para a planta de trigo (MALAVOLTA, 2006; BRAZ et al., 2006). Corroborando Silva (1991), que obteve produtividade média de 5.227 kg ha⁻¹ sem efeito significativo do nitrogênio na produtividade do trigo devido à contribuição da soja como cultivo anterior. Dessa forma, a adubação nitrogenada de cobertura pode ser reduzida ou dispensada em trigo cultivado após a soja. Segundo Abril et al. (2007), os fertilizantes nitrogenados na cultura do trigo resultam em baixa eficiência de utilização do nitrogênio e alto risco de contaminação da água por nitratos e da atmosfera por gases de efeito estufa.

Por outro lado, Zagonel et al. (2002), Trindade et al. (2006), Teixeira Filho et al. (2007) e Teixeira Filho et al. (2010) obtiveram respostas positivas da produtividade de grãos à adubação nitrogenada de cobertura em cultivo em sucessão a leguminosas. No entanto, outros fatores como as condições edafoclimáticas, a quantidade de resíduo da cultura anterior e produtividade de grãos podem ter influenciado os resultados obtidos nesse estudo. Durante o cultivo do trigo em 2010, a precipitação total foi de 445 mm distribuídos durante ao longo do ciclo (Figura 1), atendendo a necessidade da cultura que é de 300 mm (FORNASIERI FILHO, 2008). Porém, após a adubação nitrogenada de cobertura não ocorreram grandes volumes de precipitação pluvial (Figura 1), o que ter atrasado e dificultado a absorção e aproveitamento de nitrogênio pela planta. Contudo, neste cultivo, a produtividade média foi de 3.758 kg ha⁻¹, acima da produtividade média nacional que foi de 2.736 kg ha⁻¹ e do Paraná que foi de 2.891 kg ha⁻¹ na safra 2010 (CONAB, 2011).

Os teores de nitrogênio na folha bandeira e no grão aumentaram linearmente com o incremento de doses de nitrogênio em cobertura (Figura 2). Esse resultado reflete a absorção de nitrogênio pela planta e translocação para o grão, no entanto sem influenciar a produtividade. Corroborando Cazzeta et al. (2008) Prando et al. (2012) com o aumento no teor de nitrogênio dos grãos de diferentes cultivares de trigo em função do incremento de nitrogênio em cobertura em trigo cultivado em sucessão ao milho e à soja, respectivamente.

O índice de clorofila e de vegetação no espigamento apresentaram aumento linear com o incremento da adubação nitrogenada. As leituras realizadas antes do espigamento não foram influenciadas, possivelmente devido à baixa precipitação pluvial após a adubação nitrogenada, que atrasou a absorção de nitrogênio pela planta e, conseqüentemente, a diferenciação entre os tratamentos.

O incremento das doses de nitrogênio não influenciou as demais características como massa de mil grãos e massa seca da parte aérea. Esse resultado, é possivelmente, devido aos restos culturais da soja, juntamente com o teor de carbono orgânico do solo que é de 18,94 g dm⁻³, e ainda a adubação de nitrogênio na base, que disponibilizaram nitrogênio inibindo os efeitos negativos no desempenho produtivo do trigo. Além disso, o baixo volume de chuvas após a adubação

nitrogenada na fase de perfilhamento e alongamento do colmo até o espigamento (Figura 1) pode ter dificultado o aproveitamento da adubação nitrogenada pela planta. Segundo Trindade et al. (2006) a eficiência e/ou resposta dos genótipos de trigo a doses de nitrogênio depende da disponibilidade de água, pois a deficiência hídrica no solo limita a resposta da planta à aplicação de fertilizantes, retardando os processos envolvidos na nutrição mineral: difusão, fluxo de massa e interceptação pelas raízes.

A inoculação com *Azospirillum brasilense* estirpes Ab-V5 e Ab-V6 não influenciou a maioria das características avaliadas na cultura do trigo, com exceção do teor de nitrogênio nos grãos que foi maior com a inoculação (Tabela 1). Em trabalhos realizados por Hungria et al. (2010) avaliando o efeito da inoculação com diferentes estirpes de *Azospirillum brasilense* foram observados incrementos médios de 13 a 18 % na produtividade do trigo. Porém, neste trabalho não se observou diferença significativa (Tabela 2). Okon e Labandera-Gonzales (1994) observaram que 60 a 70 % dos experimentos proporcionaram incrementos na produtividade devido à inoculação com *Azospirillum*, e ainda que com aumentos estatisticamente significativos na ordem de 5 a 30 %. Segundo os autores, o principal fator que influencia a resposta positiva é a concentração do inoculante e a viabilidade da bactéria em colonizar as raízes. Em trabalho realizado por Kapulnik et al. (1985), a inoculação com 10^5 e 10^6 unidades formadoras de colônias de *Azospirillum* em sementes de trigo causou a maior alongação da raiz e da superfície total de raízes de plântulas, enquanto que 10^8 e 10^9 unidades formadoras de colônias causou inibição do desenvolvimento da raiz.

A massa de mil grãos apresentou correlação positiva de 0,36 com a produtividade de grãos (Tabela 3), demonstrando a importância deste componente na produtividade da cultura. O teor de nitrogênio na folha bandeira apresentou correlação de 0,41 e o índice de vegetação por diferença normatizada (NDVI) avaliado no perfilhamento, alongamento do colmo e espigamento apresentou correlação significativa de 0,40; 0,34 e 0,39, respectivamente, com a produtividade. Além disso, o NDVI avaliado no espigamento apresentou correlação significativa de 0,37 com o teor de nitrogênio da folha bandeira. Esses resultados demonstram que o NDVI proporcionou uma boa avaliação do estado nutricional da planta com a vantagem de ser uma avaliação rápida, não destrutiva e que resulta um indicativo precoce do potencial produtivo da cultura. Isso indica que o NDVI pode ser utilizado para diferenciar níveis de produtividade, ou que pode ser utilizado para a adubação de cobertura a taxa variável. Corroborando Povh et al. (2008) em que o NDVI apresentou alto potencial para manejo do nitrogênio nas culturas do trigo triticale e cevada, porém, os autores ressaltam que o cultivar utilizado pode interferir no valor da leitura.

O índice de clorofila avaliado no alongamento do colmo e no espigamento não apresentou correlação significativa com a produtividade do trigo (Tabela 3). Contudo, o índice de

clorofila avaliado no espigamento apresentou correlação de 0,30 com o teor de nitrogênio na folha bandeira (Tabela 3). Debaeke et al. (2006) e Viana e Kiehl (2010) também obtiveram correlação positiva entre a concentração de nitrogênio nas folhas e as leituras do clorofilômetro. Segundo Debaeke et al. (2006) a correlação positiva ocorre devido ao papel do nitrogênio na síntese da clorofila. No entanto, o clorofilômetro considera apenas a planta avaliada e não o conjunto de plantas e sua biomassa, como ocorre com o índice de vegetação.

5.4 CONCLUSÕES

O nitrogênio em cobertura no trigo cultivado após a soja não altera a produtividade, a massa de 1000 grãos e a massa seca da parte aérea, porém, o incremento das doses aumenta linearmente o teor de nitrogênio no grão, o índice de clorofila e de vegetação avaliado no espigamento.

A inoculação com *Azospirillum brasilense* estirpes Ab-V5 e Ab-V6 não influencia o desempenho agrônômico da cultura do trigo, mas proporciona maior teor de nitrogênio nos grãos.

O índice de vegetação por diferença normatizada (NDVI) avaliado no perfilhamento, alongamento do colmo e espigamento possui correlação positiva com a produtividade do trigo e, quando avaliado no espigamento, com o teor de nitrogênio da folha bandeira.

5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. AACC International. **Approved methods**. 10. ed. Saint Paul, 2000.

ABRIL, A.; BALEANI, D; CASADO-MURILLO, N.; NOE, L. Effect of wheat crop fertilization on nitrogen dynamics and balance in the Humid Pampas, Argentina. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 119, p. 171–176, 2007.

BASSOI, M. C.; RIEDE, C. R.; CAMPOS, L. A. C.; TAVARES, L. C. V; SHIOGA, P. S.; MIRANDA, L. C.; SCHOLZ, M. B. S.; BECKERT, O. P.; OKUYAMA, L. A.; MACHADO, J. C.; SCHEEREN, P. L.; POLA, J. N.; SERA, G. S. MIRANDA, M. Z.; AZAMBUJA, J. R. S.; DENGLER, R. U. **Cultivares de trigo Embrapa e Iapar**. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 60 p. (Embrapa Soja. Documentos, 321).

BAZZANEZI, A. N.; NOVAKOWISKI, J. H. SANDINI, I. E. Inoculação com *Azospirillum brasilense*, e manejo da adubação nitrogenada na cultura do trigo cv. BRS Guamirim, In: **Anais V Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale**, Dourados, MS, 2011.

BRAZ, A. J. B. P.; SILVEIRA, P. M.; KLIEMANN, H. J.; ZIMMERMANN, F. J. P. Adubação nitrogenada em cobertura na cultura do trigo em sistema plantio direto após diferentes culturas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 2, p.193-198, 2006.

CAZETTA, D.A.; FORNASIERI FILHO, D.; ARF, O.; GERMANI, R. Qualidade industrial de cultivares de trigo e triticale submetidos à adubação nitrogenada no sistema de plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 3, p. 741-750, 2008.

COMPANIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, décimo segundo levantamento**. 2011. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_09_19_09_49_47_boletim_setem_bro-2011.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2012.

DEBAEKE, P.; ROUET, P.; JUSTES, E. Relationship between the normalized SPAD index and the nitrogen nutrition index: application to Durum Wheat. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 29, p. 75-92, 2006.

DOBBELAERE, S.; CROONENBORGH, A.; THYS, A.; PTACEK, D.; OKON, Y.; VANDERLEYDEN, J. 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**, Berlin, v. 36, p. 284–297, 2002.

DÖBEREINER, J.; PEDROSA, F. O. **Nitrogen-fixing bacteria in Nonleguminous Crop lants**. New York: Sci.Tech. Publishers/Springer-Verlag 1987, 155 p.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do trigo**. Jaboticabal: Funep, 2008. 338p.

FRONZA, V.; CAMPOS, L. A. C.; RIEDE, C. R. (Org.) **Informações técnicas para a safra 2008: trigo e triticale**. Londrina: Embrapa Soja, 2008. (Embrapa Soja Documentos, 301) 147p.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; SOUZA, E. M.; PEDROSA, F. O. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant Soil**, v. 331, p. 413-425, 2010. (DOI: 10.1007/s11104-009-0262-0).

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo Custo**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 36p. (Embrapa Soja, ISSN 1516-781X; n.325).

IAPAR. **Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná**. Londrina: Instituto Agrônômico do Paraná, 1994. 44p.

LARGE, E. C. Growth stages in cereals illustration of the Feeks scales. **Plant Pathology**, Oxford, v. 4, p. 22-24, 1954.

GITTI, D. DE C. ORIVALDO ARF, O.; PORTUGAL, J. R.; CORSINI, D. C. D. C.; RODRIGUES, R. A. F. R.; KANEKO, F. H. Coberturas vegetais, doses de nitrogênio e inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* em arroz de terras altas no sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 4, p. 509-517, 2012.

KAPULNIK, Y.; OKON, Y.; HENIS, Y. Changes in root morphology of wheat caused by *Azospirillum* inoculation, **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v. 31, n. 10, p. 881-887, 1985.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MORGANTE, P. G. **Fixação biológica e assimilação de Nitrogênio**. 2010 Disponível em: <<http://www.scribd.com/doc/3319817/Fixacao-Biologica-e-Assimilacao-de-Nitrogenio>>. Acesso em: 30 ago. 2010.

OKON, Y.; LABANDERA-GONZALEZ, C.A. Agronomic applications of *Azospirillum*: an evaluation of 20 years worldwide field inoculation, **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 26, p. 1591-1601, 1994.

PRANDO, A. M. **Doses de nitrogênio e formas de ureia em cobertura em genótipos de trigo**. 2010. 80f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR, 2010.

PRANDO, A. M.; ZUCARELI, C.; FRONZA, V.; BASSOI, M. C.; OLIVEIRA, F. A. Formas de ureia e doses de nitrogênio em cobertura no desempenho agrônomo de genótipos de trigo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 2, p. 621-632, 2012.

POVH, F. P.; MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; PAULETTI, V.; MOLIN, R.; SALVI, J. S. Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 8, p. 1075-1083, 2008.

SALA, V.M.R.; CARDOSO, E.J.B.N.; FREITAS, J.G.; SILVEIRA, A.P.D. Resposta de genótipos de trigo à inoculação de bactérias diazotróficas em condições de campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42 p. 833-842, 2007.

SILVA, D. B. da. Efeito do nitrogênio em cobertura sobre o trigo irrigado em sucessão à soja na região dos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 9, p. 1387-1392, 1991.

TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; ALVAREZ, R. C. F.; FREITAS, J. G.; ARF, O.; SÁ, M. E. Resposta de cultivares de trigo irrigados por aspersão ao nitrogênio em cobertura na região do Cerrado. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 3, p. 421-425, 2007.

TEIXEIRA 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. 8, p. 797-804. 2010.

TRINDADE, M. G.; STONE, L. F.; HEINEMANN, A. B.; CÂNOVAS, A. D.; MOREIRA, J. A. A. Nitrogênio e água como fatores de produtividade do trigo no cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 10, p. 24-29, n. 1, 2006.

VIANA, E. M.; KIEHL, J. C. Doses de nitrogênio e potássio no crescimento do trigo. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, p. 975-982, 2010.

ZAGONEL, J.; VENÂNCIO, W. S.; KUNZ, R. P.; TANAMATI, H. Doses de nitrogênio e densidade de plantas com e sem um regulador de crescimento afetando o trigo, cultivar OR-1. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 25-29, 2002.

Tabela 1 –Resumo da análise de variância (Prob. > F) para as características avaliadas em trigo, em função da inoculação de sementes com *Azospirillum* e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura, em Ponta Grossa, PR, na safra 2010.

FV	GL	Prod	MMG	N Foliar	N grão	MSPA	ICEL	ICES	NdviP	NdviEL	NdviES
Bloco	5	0,000	0,000	0,005	0,006	0,059	0,169	0,000	0,000	0,000	0,000
Inoc	1	0,087	0,683	0,053	0,002	0,385	0,255	0,926	0,246	0,900	0,196
Dose N	4	0,071	0,567	0,000	0,000	0,640	0,939	0,000	0,324	0,900	0,001
Inoc*N	4	0,457	0,723	0,007	0,562	0,225	0,051	0,857	0,574	0,143	0,212
CV (%)		8,93	4,24	3,06	1,85	9,12	3,33	2,71	9,47	5,36	7,83

FV: Fonte de Variação; Inoc: inoculação com *Azospirillum*, N: Nitrogênio; CV: Coeficiente de variação; GL: Graus de liberdade; Prod.: Produtividade; MMG: Massa de mil grãos; N foliar: teor de nitrogênio na folha bandeira N grão: teor de nitrogênio no grão; MSPA: Massa seca de parte aérea; ICEL e ICES: índice de clorofila realizado no alongamento do colmo e espigamento, respectivamente; NdviP, NdviEL e NdviES: índice de vegetação realizado no perfilhamento, alongamento do colmo e espigamento, respectivamente.

Tabela 2 –Valores médios das características avaliadas em trigo, em função da inoculação de sementes com *Azospirillum*, em Ponta Grossa, PR, na safra 2010.

Semente	Prod kg ha ⁻¹	MMG g	N Foliar g kg ⁻¹	N grão g kg ⁻¹	MSPA kg ha ⁻¹	ICEL	ICE	NdviP	NdviEL	NdviES
Inoculada	3.682 a	39,9 a	38,22 a	30,31 a	8.498 a	31,72 a	43,11 a	0,327 a	0,515 a	0,595 a
Controle	3.834 a	39,7 a	38,83 a	29,69 b	8.324 a	32,04 a	43,09 a	0,337 a	0,514 a	0,579 a
DMS	175	0,88	0,61	0,36	399	0,55	0,61	0,016	0,014	0,024
Média	3.758	39,8	38,53	30,00	8.412	31,88	43,10	0,332	0,515	0,587

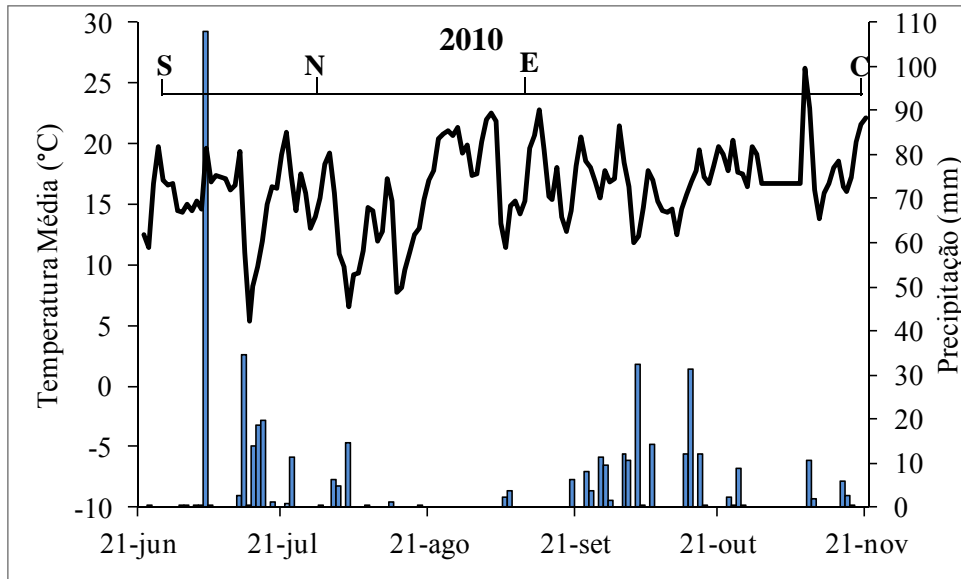
Médias seguidas por letra diferente na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. DMS: Diferença média significativa; Prod.: Produtividade; MMG: Massa de mil grãos; N foliar: teor de nitrogênio na folha bandeira N grão: teor de nitrogênio no grão; MSPA: Massa seca de parte aérea; ICEL e ICES: índice de clorofila realizado no alongamento do colmo e espigamento, respectivamente; NdviP, NdviEL e NdviES: índice de vegetação realizado no perfilhamento, alongamento do colmo e espigamento, respectivamente.

Tabela 3 –Correlação de Pearson (r) da produtividade e teor foliar de N com as características avaliadas na cultura do trigo, em Ponta Grossa, PR na safra 2010.

	N Foliar	MMG	N grão	MSPA	ICEL	ICE	NdviP	NdviEL	NdviES
Prod	0,41**	0,36**	0,06	0,20 ^{ns}	0,17 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	0,40**	0,34**	0,39**
N Foliar	1	0,26*	0,56**	-0,08 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,30*	0,08 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,37**

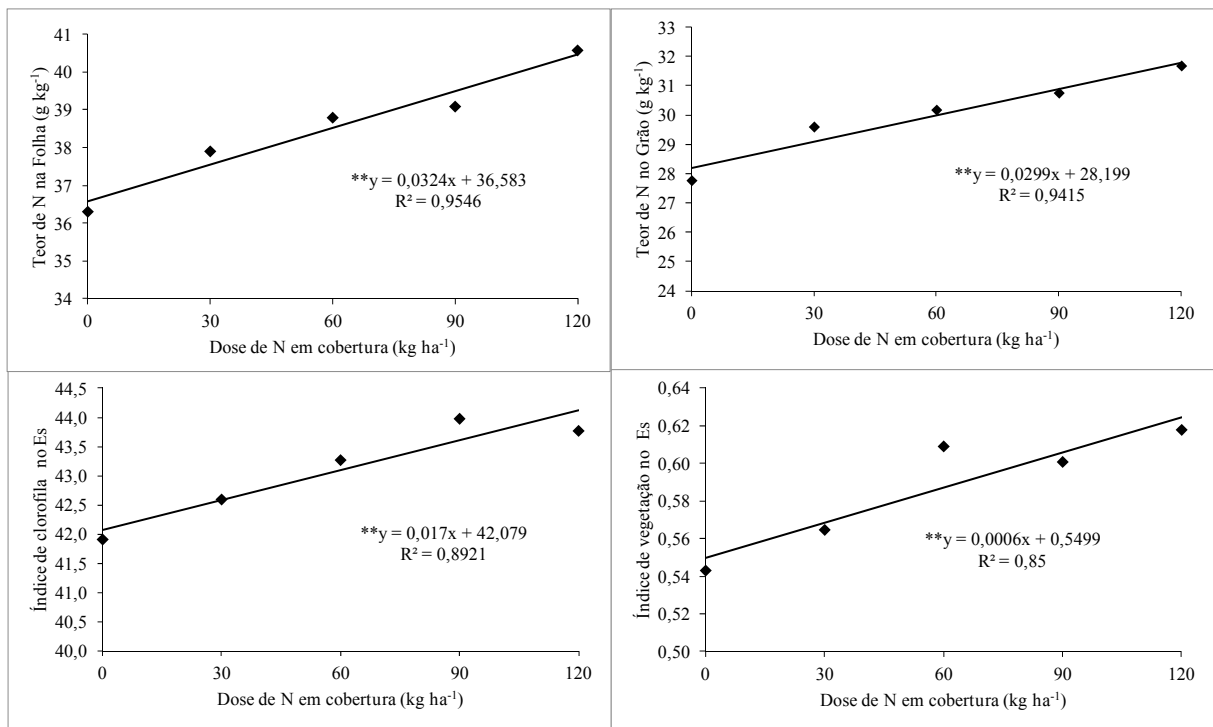
^{ns}, ** e * : Não significativo e significativo ao nível de 1 e 5 % de significância, pelo teste t. Prod.: Produtividade; MMG: Massa de mil grãos; N foliar: teor de nitrogênio na folha bandeira N grão: teor de nitrogênio no grão; MSPA: Massa seca de parte aérea; ICEL e ICES: índice de clorofila realizado no alongamento do colmo e espigamento, respectivamente; NdviP, NdviEL e NdviES: índice de vegetação realizado no perfilhamento, alongamento do colmo e espigamento, respectivamente.

Figura 1 – Temperatura média diária (°C) e precipitação pluvial (mm) em Ponta Grossa, PR, no período de 21/06/2010 à 21/11/2010. S: semeadura, N: adubação nitrogenada de cobertura, E: Espigamento, C: colheita.



Fonte: Elaboração dos autores dados adaptados da Embrapa SPM (2012).

Figura 2 – Teor de nitrogênio na folha bandeira e no grão, Índice de clorofila e de vegetação no espigamento avaliadas em trigo em função de doses de nitrogênio aplicadas em cobertura, em Ponta Grossa, PR na safra 2010. * e ** significativo a 5% e a 1% pelo teste t.



Fonte: Elaboração dos autores.

CONCLUSÕES GERAIS

O cultivo de trigo em sucessão à cultura da soja apresenta menor resposta à adubação nitrogenada em cobertura que o cultivo do trigo em sucessão ao milho.

A inoculação de sementes com *Azospirillum* não influencia o desempenho agrônômico da cultura do trigo.

O incremento de doses de nitrogênio aplicadas em cobertura favorece a produtividade, teor de nitrogênio na folha bandeira e no grão com resposta variável em função do ano de cultivo e cultura anterior. Porém o trigo não apresenta incremento na produtividade em doses elevadas de nitrogênio em cobertura.

O índice de vegetação por diferença normatizada (NDVI) determinado no perfilhamento, após a adubação nitrogenada alongamento do colmo e no espigamento possui correlação positiva significativa com a produtividade de grãos e teor de nitrogênio da folha do trigo, enquanto o índice de clorofila não se correlacionou com essas características.