

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

Mauricio Pase Quatrin

**AVALIAÇÃO DE TRIGO DE DUPLO PROPÓSITO INOCULADO COM *Azospirillum*
*brasilense***

Santa Maria, RS

2020

Mauricio Pase Quatrin

**AVALIAÇÃO DE TRIGO DE DUPLO PROPÓSITO INOCULADO COM *Azospirillum
brasiliense***

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Área de Concentração Produção Animal/Bovinocultura de Leite, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutor em Zootecnia**.

Orientador: Prof. Clair Jorge Olivo

Santa Maria, RS

2020

Quatrin, Mauricio
AVALIAÇÃO DE TRIGO DE DUPLO PROPÓSITO INOCULADO COM
Azospirillum brasilense / Mauricio Quatrin.- 2020.
68 p.; 30 cm

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Zootecnia, RS, 2020

1. Trigo duplo propósito 2. Eficiência de uso de
nitrogênio 3. Azospirillum brasilense 4. Bactérias
promotoras de crescimento 5. BRS Tarumã I. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, MAURICIO QUATRIN, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Tese) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Mauricio Pase Quatrin

**AVALIAÇÃO DE TRIGO DE DUPLO PROPÓSITO INOCULADO COM *Azospirillum
brasilense***

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Área de Concentração Produção Animal/Bovinocultura de Leite, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutor em Zootecnia**.

Aprovado em 13 de fevereiro de 2020:

Clair Jorge Olivo, Dr. (UFSM)

(Presidente/Orientador)

Renato Serena Fontaneli, Ph.D. (UPF/EMBRAPA)

Fernando Luiz Ferreira de Quadros, Dr. (UFSM)

Luciana Pötter, Dr^a. (UFSM)

Gilmar Roberto Meinerz, Dr. (UFFS)

Santa Maria, 13 de fevereiro de 2020

Agradecimentos

A Deus pelo dom da vida e pela saúde para o alcance desse objetivo.

Aos meus pais Moacir e Eronita, pelo amor incondicional, estímulo e apoio na conclusão desta etapa.

Ao meu irmão Rodrigo, pelo estímulo, apoio e troca de ideias.

Ao Professor Clair, pela ética profissional, empatia, paciência, dedicação e orientação desde os tempos de graduação. Obrigado por não medir esforços no aprimoramento deste trabalho.

Aos Professores Gilmar Roberto Meinerz e Renato Serena Fontaneli pelas contribuições dadas desde o início desta pesquisa.

Aos demais Professores que compuseram as comissões avaliadoras de qualificação e de defesa de Tese, meu muito obrigado!

Ao amigo e colega Vinicius Felipe Bratz, pelo auxílio, amizade, companheirismo e disponibilidade para longas conversas.

Às colegas Daiane Cristine Seibt, Priscila Flores Aguirre e Gabriela Descovi Simonetti pela amizade, parcerias e disponibilidade para troca de ideias.

A todos os estagiários do Laboratório de Bovinocultura de Leite, que colaboraram para que este trabalho fosse menos penoso.

Aos amigos pelo apoio diante das dificuldades e pelos momentos de descontração proporcionados.

Ao secretário do PPGZ Marcos Gentil Mendes, pela sua dedicação, paciência, presteza e disponibilidade no auxílio com as demandas administrativas.

Ao operador de máquinas agrícolas do Departamento de Zootecnia, Gilnei Dotto, pela dedicação, paciência e qualidade dos serviços realizados.

À UFSM pela estrutura e qualidade de ensino proporcionada.

À CAPES pela bolsa concedida.

RESUMO

Tese de Doutorado

Programa de Pós-Graduação em Zootecnia

Universidade Federal de Santa Maria

AVALIAÇÃO DE TRIGO DE DUPLO PROPÓSITO INOCULADO COM *Azospirillum brasilense*

AUTOR: MAURICIO PASE QUATRIN

ORIENTADOR: CLAIR JORGE OLIVO

DATA E LOCAL DA DEFESA: SANTA MARIA, 13 DE FEVEREIRO DE 2020.

O uso de genótipos de trigo de duplo propósito é uma das alternativas para minimizar o impacto da escassez de forragem, e ainda produzir grãos. Entretanto, para maximizar a produtividade de forragem e grãos são utilizadas elevadas doses de fertilizante nitrogenado, aumentando custos de produção e impactos ambientais. Dessa forma, o uso de bioestimulantes à base de bactérias diazotróficas como *Azospirillum brasilense* pode contribuir com a redução das quantidades de N utilizadas e consequentemente dos custos de produção. Assim, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o genótipo de trigo de duplo propósito BRS Tarumã submetido à inoculação com *Azospirillum brasilense* e distintas doses de N. Inicialmente foi realizado um estudo sob condições de corte nos anos de 2016 e 2017. Nesse estudo o delineamento experimental foi o de blocos ao acaso em esquema fatorial 2 (qualitativo) x 4 (quantitativo) com quatro repetições. Os fatores qualitativo e quantitativo corresponderam ao uso ou não da inoculação e às doses de N (0, 50, 100 e 150 kg de N ha⁻¹), respectivamente. No ano de 2017 foi realizado um segundo estudo em condições de pastejo com vacas em lactação. Nesse estudo, testou-se a inoculação das sementes combinada com a dose de 100 kg de N ha⁻¹ (IN+100) e ausência de inoculação associada à fertilização com a dose de 150 kg de N ha⁻¹ (NI+150). Os tratamentos foram escolhidos tendo como base os resultados do ano de 2016. No estudo sob regime de corte a produção de forragem não diferiu entre os tratamentos com inoculação + 100 kg de N ha⁻¹ e sem inoculação + 150 kg de N ha⁻¹ (4,7 vs. 4,1 t de MS ha⁻¹), respectivamente. Não houve efeito da inoculação sobre o rendimento de grãos. Para o estudo sob regime de pastejo avaliou-se a massa de forragem e a composição estrutural dos trigos, as produções de forragem e de biomassa de lâminas foliares, as taxas de acúmulo diário de forragem e de lâminas foliares, a taxa de lotação, as ofertas de forragem e de lâminas foliares, a eficiência de pastejo, o consumo aparente e a produção de grãos. Não houve diferença para a produção de forragem, de lâminas foliares, taxa de lotação, rendimento de grãos e peso do hectolitro com valores médios de 3,6 t MS ha⁻¹, 3,4 t MS ha⁻¹, 1,95 UA ha⁻¹ dia⁻¹, 0,9 t ha⁻¹ e 75 kg hl⁻¹, respectivamente. Houve diferença para a eficiência de pastejo (50,5% vs. 36,6) no terceiro ciclo para o trigo inoculado e fertilizado com 100 kg de N ha⁻¹. Em condições de corte, o uso da inoculação incrementa a produção de forragem e de palha, não interferindo na produção de grãos. Sob condições de pastejo, a fertilização com 100 kg de N ha⁻¹ mais inoculação, se equivale à adubação com 150 kg de N ha⁻¹ para a produção de forragem e grãos.

Palavras-chave: BRS Tarumã; Fixação biológica de N; Produção de forragem; *Triticum aestivum*.

ABSTRACT

Doctoral Thesis

Program of Post-Graduation in Zootecnia

Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brazil

EVALUATION OF DUAL-PURPOSE WHEAT INOCULATED WITH *Azospirillum brasilense*

AUTHOR: MAURICIO PASE QUATRIN

ADVISOR: CLAIR JORGE OLIVO

DATE AND DEFENSE'S PLACE: SANTA MARIA, FEBRUARY 13TH OF 2020.

The use of dual-purpose wheat genotypes is one alternative to minimize the impact of forage lack and even to produce grains. However, to maximize forage yield and grains yield are used high doses of nitrogen fertilizer. This practice increased costs and environmental impacts. Thus, the use of biostimulants based on diazotrophic bacteria *Azospirillum brasilense* is able to be an alternative to reduce the costs and impacts. This study evaluated the forage yield and grain yield of “BRS Tarumã” dual-purpose wheat genotype inoculated with *Azospirillum brasilense* and fertilized with different doses of nitrogen subjected to cuts and grazing with lactating cows. Initial study was performed under cuts conditions in years 2016 and 2017 evaluating the forage yield and grain yield. In this study the trial was carried out in a completely randomized block design with four replicates, using a 2 (qualitative) x 4 (quantitative) factorial arrangement. The qualitative and quantitative factors corresponded to the use or not of inoculation and N rates (0, 50, 100 and 150 kg of N ha⁻¹), respectively. In 2017, a second study was conducted under grazing conditions with lactating cows. This study evaluated the 100 kg N ha⁻¹ associated with inoculation (100+I) and fertilization with 150 kg N ha⁻¹ (150+I). These treatments were chosen based on the results of the initial study. In this condition were evaluated forage yield, grain yield, pasture characteristics and responses of lactating cows. In the study under cuts, there was no difference in forage yield between treatments with inoculation +100 kg N ha⁻¹ and without inoculation + 150 kg N ha⁻¹ (4.7 vs. 4.1 t de MS ha⁻¹), respectively. There was no effect of inoculation on grain yield. In the study under grazing, forage mass, structural compositions, daily accumulation rate of forage and leaf blade, forage yield and leaf blade biomass yield, stocking rate, forage allowance and leaf blade allowance, grazing efficiency, forage intake, grain yield. No differences were obtained in forage yield, leaf blade yield and stocking rate, grain yield and hectoliter weight with mean values of 3.6 t MS ha⁻¹, 3.4 t MS ha⁻¹, 1.95 UA ha⁻¹ dia⁻¹, 75 kg hl⁻¹ and 0.9 t ha⁻¹. Significant difference was found in grazing efficiency (50.5% vs 36.6%) in the third grazing cycle for wheat inoculated and fertilized with 100 kg de N ha⁻¹. Under cutting conditions, the inoculation use increased forage yield and straw yield. The inoculation had no influence on grain yield. Under grazing conditions, the fertilization with 100 kg N ha⁻¹ associated with inoculation is equivalent to fertilization with 150 kg N ha⁻¹ without inoculation for the pastures response and grain yield.

Key words: Biological fixation of N; “BRS Tarumã”; Forage yield; *Triticum aestivum*.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 4 – PRODUTIVIDADE DE TRIGO DE DUPLO PROPÓSITO SOB INOCULAÇÃO DAS SEMENTES COM *Azospirillum brasilense*.....37

TABELA 1 - Produção total de forragem, produção total de biomassa de lâminas foliares, número de perfilhos por m², rendimento de grãos e produção de palha para trigo de duplo propósito inoculado com *Azospirillum brasilense* e doses crescentes de nitrogênio sob condições de corte. Safra 2016. Santa Maria – RS, 2016.....57

TABELA 2 - Massa de forragem e massa dos componentes estruturais de trigo de duplo propósito inoculado com *Azospirillum brasilense* + 100 kg de N ha⁻¹ e não inoculado + 150 kg ha⁻¹ em condições de pastejo com vacas em lactação. Santa Maria – RS, 2017.....58

TABELA 3 - Produtividade e resposta animal para trigo de duplo propósito inoculado com *Azospirillum brasilense* + 100 kg de N ha⁻¹ e não inoculado + 150 kg ha⁻¹ em condições de pastejo com vacas em lactação. Santa Maria, RS, 2017.....59

TABELA 4 - Rendimento de grãos, massa de mil grãos, peso do hectolitro (PH), número de espigas, número de grãos por espiga e produção de palha de trigo de duplo propósito inoculado com *Azospirillum brasilense* + 100 kg de N ha⁻¹ e não inoculado + 150 kg ha⁻¹, em condições de pastejo com vacas em lactação. Santa Maria – RS, 2017.....60

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 3 – RESPOSTA DE TRIGO DE DUPLO-PROPÓSITO À FERTILIZAÇÃO NITROGENADA E INOCULAÇÃO DAS SEMENTES COM *Azospirillum brasilense*.....20

- FIGURA 1 - Valores normais de precipitação e temperatura e valores de precipitação e temperatura para os anos agrícolas de 2016 e 2017 (Abril a Outubro). Santa Maria – RS, 2016.....23
- FIGURA 2 - Massa de lâminas foliares do estrato superior para o primeiro (MLFS C1), segundo (MLFS C2) e terceiro (MLFS C3) cortes e para o valor médio dos cortes (MLFSM) para trigo de duplo propósito submetido à inoculação com *Azospirillum brasilense* e doses crescentes de nitrogênio. Safras de 2016 e 2017. Santa Maria – RS, 2016-2017.....27
- FIGURA 3 - Massa de forragem do estrato inferior (MFI) e de lâminas foliares do estrato inferior (MLFI). Dados referentes ao primeiro (C1) e terceiro cortes (C3). Safras 2016 e 2017. Santa Maria – RS, 2016-2017.....28
- FIGURA 4 - Número de perfilhos por m² no segundo (PERF C2) e terceiro (PERF C3) cortes para trigo de duplo propósito submetido à inoculação com *Azospirillum brasilense* e doses crescentes de nitrogênio. Safras de 2016 e 2017. Santa Maria – RS, 2016-2017.....29
- FIGURA 5 - Produção de forragem no primeiro (PF C1), segundo (PF C2), terceiro (PF C3) cortes e produção de forragem total (PFT), para trigo de duplo propósito submetido à inoculação com *Azospirillum brasilense* e doses crescentes de nitrogênio. Safras de 2016 e 2017. Santa Maria – RS, 2016-2017.....30
- FIGURA 6 - Produção de biomassa de lâminas foliares no primeiro (PBLF C1), segundo (PBLF C2), terceiro (PBLF C3) cortes e produção total (PTBLF), para trigo de duplo propósito submetido à inoculação com *Azospirillum brasilense* e doses crescentes de nitrogênio. Safras de 2016 e 2017. Santa Maria – RS, 2016-2017.....31

FIGURA 7 - Rendimento de grãos (REND), peso do hectolitro (PH), massa de mil grãos (MMIL), número de grãos por espiga (NGE) número de espigas por m² (ESPIGAS) e produção de palha (PALHA) para trigo de duplo propósito submetido à inoculação com *Azospirillum brasilense* e doses crescentes de nitrogênio. Safras de 2016 e 2017. Santa Maria – RS, 2016-2017.....33

CAPÍTULO 4 – PRODUTIVIDADE DE TRIGO DE DUPLO PROPÓSITO SOB INOCULAÇÃO DAS SEMENTES COM *Azospirillum brasilense*.....37

FIGURA 1 - Valores normais de precipitação e temperatura e valores de precipitação e temperature para os anos agrícolas de 2016 e 2017 (Abril a Outubro). Santa Maria – RS, 2016-2017.....41

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO 1 | 8 |
| 1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS | 8 |
| 1.1 INTRODUÇÃO..... | 9 |
| 1.2 OBJETIVOS | 9 |
| 1.2.1 Objetivo geral..... | 9 |
| 1.2.2 Objetivos específicos..... | 10 |
| 1.3 HIPÓTESES..... | 10 |
| 1.3.1 Hipótese geral..... | 10 |
| 1.3.2 Hipóteses específicas..... | 11 |
| 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO..... | 12 |
| | |
| CAPÍTULO 2 | 12 |
| 2 ESTUDO BIBLIOGRÁFICO | 12 |
| 2.1 GENÓTIPO DE TRIGO DE DUPLO PROPÓSITO BRS TARUMÃ | 13 |
| 2.2 FERTILIZAÇÃO NITROGENADA EM PASTAGENS | 13 |
| 2.3 BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS DO GÊNERO <i>Azospirillum</i> | 14 |
| | |
| CAPÍTULO 3 | 20 |
| 3 RESPOSTA DE TRIGO DE DUPLO PROPÓSITO À FERTILIZAÇÃO NITROGENADA E INOCULAÇÃO DAS SEMENTES COM <i>Azospirillum brasilense</i> | 20 |
| 3.1 INTRODUÇÃO..... | 21 |
| 3.2 MATERIAL E MÉTODOS..... | 22 |
| 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 26 |
| 3.4 CONCLUSÕES..... | 35 |
| 3.5 REFERÊNCIAS..... | 35 |
| | |
| CAPÍTULO 4 | 37 |
| 4 PRODUTIVIDADE DE TRIGO DE DUPLO PROPÓSITO SOB INOCULAÇÃO DAS SEMENTES COM <i>Azospirillum brasilense</i> | 37 |
| 4.1 INTRODUÇÃO | 38 |
| 4.2 MATERIAL E MÉTODOS | 40 |
| 4.2.1 Local do estudo..... | 40 |
| 4.2.2 Experimentos..... | 41 |
| 4.2.3 Tratamentos e delineamento experimental | 41 |
| 4.2.4 Experimento realizado sob condições de corte..... | 42 |
| 4.2.5 Experimento em condições de pastejo..... | 44 |
| 4.2.6 Análise estatística..... | 45 |
| 4.3 RESULTADOS..... | 46 |
| 4.3.1 Experimentação sob regime de corte..... | 46 |
| 4.3.1.1 Número de perfilhos e produção de forragem..... | 46 |
| 4.3.1.2 Rendimento de grãos e produção de palha..... | 47 |
| 4.3.2 Experimento sob condições de pastejo..... | 47 |
| 4.3.2.1 Massa de forragem ao pré e pós-pastejo..... | 47 |
| 4.4 DISCUSSÃO..... | 48 |
| 4.4.1 Estudo sob regime de corte..... | 48 |
| 4.4.2 Experimentação sob regime de pastejo..... | 50 |

| | |
|--|-----------|
| 4.4.3 Relação entre as experimentações..... | 53 |
| 4.5 CONCLUSÃO..... | 53 |
| 4.6 REFERÊNCIAS..... | 55 |
| | |
| CAPÍTULO 5..... | 61 |
| 5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 61 |
| 5.2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 62 |

CAPÍTULO 1

1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1 INTRODUÇÃO

Na região Sul do Brasil uma das principais limitações da atividade pecuária é a escassez de forragem que ocorre, normalmente, no período compreendido entre o outono e o início do inverno. Nessa época, há um declínio natural na produção e na qualidade das espécies de ciclo estival e, geralmente, forrageiras de ciclo hibernal mais utilizadas, como o azevém, ainda não tem condições de uso. Uma alternativa para cobrir esse déficit de forragem é o cultivo de trigo de duplo propósito, de produção mais precoce em relação ao azevém (FERRAZZA et al., 2013).

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é uma espécie cultivada em todo o mundo para a produção de grãos, porém há viabilidade da sua utilização para produção de forragem verde. Dentre os genótipos disponíveis para uso com duplo propósito, destaca-se o BRS Tarumã, por sua intensa capacidade de afilamento e produção mais equilibrada entre forragem e grãos (MEINERZ et al., 2012).

No que se refere à adubação desta espécie, o nitrogênio (N) é considerado o macronutriente mais exigido pela planta, influenciando as características morfológicas de folhas e colmos e o desenvolvimento de perfilhos (TAIZ e ZEIGER, 2009). Nesse sentido, a fertilização nitrogenada se caracteriza como uma estratégia importante para aumentar a produção de forragem em gramíneas forrageiras de clima temperado. No entanto, o uso de elevados níveis de N para maximizar a produtividade destas culturas além de aumentar os custos de produção, acelera o processo de acidificação do solo e ocasiona perdas deste nutriente por lixiviação, percolação e volatilização (SANTOS et al., 2016).

A inoculação de gramíneas com bactérias do gênero *Azospirillum* contribui com o aumento da produtividade de grãos e de forragem em poáceas forrageiras (VOGEL et al., 2014), através da produção de fitohormônios, os quais atuam no aumento do sistema radicular das plantas, ampliando dessa forma, a capacidade de absorção de água e nutrientes (HUNGRIA et al., 2010; MOREIRA et al., 2010).

Nesse sentido, a inoculação com a bactéria *Azospirillum brasilense*, pode ser uma alternativa para reduzir o uso de fertilizantes nitrogenados, diminuindo custos de produção e impactos ambientais, já que a ação da bactéria melhora o desenvolvimento radicular das plantas implicando em maior absorção dos nutrientes fornecidos pelos fertilizantes. Além disso, pode haver aporte de parte do N necessário à planta pela fixação biológica de nitrogênio realizada por *A. brasilense*. Assim, esta pesquisa teve como objetivo avaliar a produtividade do genótipo de trigo de duplo propósito BRS Tarumã inoculado com a bactéria *Azospirillum brasilense*, estirpes Ab-V5 e Ab-V6, em associação com níveis crescentes de adubo nitrogenado.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar a produtividade do genótipo de trigo de duplo propósito BRS Tarumã inoculado com a bactéria *Azospirillum brasilense* em associação com níveis crescentes de adubação nitrogenada.

1.2.2 Objetivos específicos

- Avaliar sob regime de corte as produções de forragem e de lâminas foliares, a composição morfológica e o rendimento de grãos de trigo de duplo propósito submetido à inoculação e recebendo níveis crescentes de N;
- Selecionar o nível de N mais equilibrado do ponto de vista de eficiência de uso do nitrogênio e produtividade de forragem, avaliando-o sob regime de corte, para posteriormente, testá-lo em regime de pastejo;
- Determinar a produção de forragem, o rendimento de grãos, o peso do hectolitro e a massa de mil grãos do trigo BRS Tarumã sob inoculação, em condições de pastejo com vacas em lactação;

- Estimar a taxa de lotação, consumo aparente de forragem e a eficiência de pastejo de vacas em lactação nos diferentes pastos;

1.3 HIPÓTESES

1.3.1 Hipótese geral

- A inoculação das sementes com a bactéria *Azospirillum brasilense* aumenta a produtividade de forragem e grãos em trigo de duplo propósito BRS Tarumã;

1.3.2 Hipóteses específicas

- A inoculação com *A. brasilense* aumenta a produção de forragem e de grãos de trigo duplo propósito;
- A inoculação altera a composição morfológica do trigo duplo propósito;
- A inoculação reduz a necessidade de adubação nitrogenada em trigo duplo propósito;
- Existem diferenças para a taxa de lotação, eficiência de pastejo e consumo aparente de vacas em lactação em pastagens de trigo duplo propósito inoculado e submetido a diferentes níveis de fertilização nitrogenada.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado da seguinte forma: no capítulo 1, considerações iniciais, constam a justificativa e os objetivos do trabalho; no capítulo 2, tem-se a revisão bibliográfica, com os principais temas estudados nesta pesquisa; no capítulo 3, avaliou-se a produtividade do trigo submetido à inoculação e distintos níveis de N em condições de corte; no capítulo 4, estudou-se a produtividade do trigo submetido à inoculação sob condições de pastejo com vacas em lactação, e no capítulo 5, nas considerações finais, associaram-se os resultados contidos nos capítulos anteriores.

CAPÍTULO 2

2 ESTUDO BIBLIOGRÁFICO

2.1 GENÓTIPO DE TRIGO DE DUPLO PROPÓSITO BRS TARUMÃ

O trigo é uma espécie cultivada no mundo todo, com mais de 600 milhões de toneladas produzidas anualmente. Esta espécie ocupa a segunda posição entre os cereais no que se refere à quantidade de grãos produzida, ficando apenas atrás do milho (FAOSTAT, 2019). Quando o trigo é cultivado com o objetivo de se produzir forragem e posteriormente grãos é considerado de duplo propósito. O cultivo de trigo com essa finalidade caracteriza-se como uma alternativa para a diversificação da produção nas propriedades, reduzindo a ociosidade das terras e produzindo forragem de qualidade similar à alfafa no tocante à proteína bruta e digestibilidade (FONTANELI, 2007), justamente durante o período em que ocorre escassez de forragem na região Sul do País. Quando submetidos ao pastejo ou corte, esses genótipos prolongam ainda mais o seu ciclo, reduzindo o risco de perdas com geadas no estágio do florescimento (BARTMEYER, 2006).

Os genótipos de trigo utilizados para duplo propósito devem apresentar características diferenciadas, como: ciclo vegetativo mais longo, ciclo reprodutivo curto, alta capacidade de rebrote e de produção de forragem, bem como estabilidade de produção de grãos (WENDT et al., 2006). A cultivar BRS Tarumã é originária do cruzamento entre as cultivares Century e BR 35 (CBPTT, 2018). Tem se destacado das demais por apresentar produtividade mais equilibrada de forragem e grãos (MEINERZ et al., 2012). O trigo BRS Tarumã possui como características hábito de crescimento prostrado com intenso afilamento e boa resistência às doenças da parte aérea. Quanto ao ciclo vegetativo, BRS Tarumã é uma cultivar tardia-precoce, sendo considerada por Alberto et al. (2009) como de ciclo muito longo. Essa característica, do BRS Tarumã, de ser mais tardio, está associada com a forte sensibilidade à temperaturas vernalizantes para o início da floração. Como no Brasil, o total de dias com temperaturas vernalizantes durante o ano não é tão alto como nas

regiões temperadas, trigos com alta exigência em frio alongam seu ciclo (ALBERTO et al., 2009).

Esse ciclo vegetativo mais longo possibilita a utilização do trigo por mais tempo sob pastejo. Além disso, confere maior período de perfilhamento a esta cultivar. Assim, tem-se mais lâminas foliares disponíveis aos animais na pastagem, melhorando a relação lâmina:colmo e conseqüentemente elevando o valor nutricional da forragem consumida. Em função das características relatadas, o genótipo BRS Tarumã tem se destacado dos demais genótipos de trigo de duplo propósito, sendo indicado quando se objetiva produzir carne ou leite e ainda grãos no mesmo cultivo agrícola. Entretanto, ressalta-se que um ciclo maior pode atrasar o período de implantação das culturas de verão em sucessão.

2.2 FERTILIZAÇÃO NITROGENADA EM PASTAGENS

O nitrogênio (N) é um dos elementos mais limitantes ao crescimento das plantas forrageiras, pois compõe enzimas, proteínas, coenzimas, ácidos nucleicos, fitocromos e pigmentos fotossintéticos. Assim, a vida das plantas está condicionada à manutenção de uma concentração adequada de N nos seus tecidos (MALAVOLTA e MORAES, 2007). Nesse sentido, a fertilização nitrogenada determina o ritmo de crescimento e interfere na qualidade da forragem produzida pelas gramíneas forrageiras (QUARESMA et al., 2011). O parâmetro mais influenciado pela adubação nitrogenada em pastagens de gramíneas temperadas é a taxa de lotação, devido ao aumento na taxa de acúmulo de forragem (QUATRIN et al., 2015), proporcionando aumentos na capacidade de suporte da pastagem e por conseqüência maiores quantidades de produto animal por unidade de área. No entanto, para evitar perdas e aumentar a eficiência de utilização do N pelas gramíneas, torna-se necessário manejar adequadamente a adubação nitrogenada (COSTA et al., 2006).

De acordo com Costa et al. (2006), a dinâmica do N no ambiente é muito complexa e diferenciada em relação aos outros nutrientes, possuindo grande mobilidade no solo, além de sofrer inúmeras transformações mediadas por microrganismos, passando por formas gasosas passíveis de serem perdidas por volatilização. Assim, parte do N aplicado à pastagem é perdida do sistema, o que reduz a eficiência de seu uso. No entanto, sua utilização tem se tornado uma prática proibitiva em vários sistemas de produção pecuária em função da

elevação dos custos (SOLLENBERGER, 2008). Neste contexto, justificam-se estudos que viabilizem o manejo adequado da adubação nitrogenada para as diferentes espécies forrageiras com um enfoque maior na sustentabilidade do ambiente e minimização das perdas deste elemento (TAVARES, 2012).

O trigo de duplo propósito BRS Tarumã, se destaca pela intensa capacidade de perfilhamento e produção de forragem. Nesse sentido, a fertilização nitrogenada associada à inoculação com bactérias promotoras de crescimento vegetal e fixadoras de N pode ser capaz de potencializar ainda mais a característica de alta capacidade de perfilhamento dessa cultivar. Assim, é possível aumentar a quantidade de lâminas foliares produzidas em pastagens de trigo BRS Tarumã.

Por outro lado, os requerimentos por nutrientes no cultivo de genótipos de trigo de duplo propósito são elevados. Isso se deve à maior exportação de nutrientes pela desfolha, já que ela é proporcional à produção de forragem e a quantidade de lâminas foliares produzidas (QUATRIN et al., 2017). Para atender essa maior demanda aumentam-se os custos de produção e os riscos de danos ao meio ambiente. Portanto, a inoculação com bactérias diazotróficas pode ser uma alternativa para reduzir o uso de N e aumentar a eficiência de utilização do fertilizante aplicado.

2.3 BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS DO GÊNERO *Azospirillum*

A maioria dos microrganismos diazotróficos são de vida livre, ocorrendo em todos os tipos de solos, na rizosfera e filosfera de plantas. Alguns são encontrados em simbiose com espécies vegetais, principalmente leguminosas, como as bactérias dos gêneros *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*. Já outros podem estabelecer relações menos especializadas com as plantas, sendo denominadas de associações, destacando-se neste grupo as bactérias do gênero *Azospirillum*.

A espécie *Spirillum lipoferum* foi descrita em 1925 por Beijerinck. Essa bactéria foi pouco estudada até 1973, quando então, a Dr^a Johanna Döbereiner descobriu sua aplicação prática com relação à fixação biológica de nitrogênio (DÖBEREINER et al., 1976). Novos estudos taxonômicos fizeram com que *Spirillum lipoferum* fosse reclassificado em 1978

num novo gênero denominado *Azospirillum* (TARRAND et al., 1978). As duas primeiras espécies descritas foram *A. lipoferum* e *A. brasilense*, sendo esta a mais estudada nas últimas décadas.

As bactérias do gênero *Azospirillum* são microrganismos situados no Domínio Bacteriana subdivisão α -Proteobacteria, gram-negativas, móveis, formato espiral, sendo que a espécie *A. brasilense* possui um flagelo polar desenvolvido quando em meio líquido e vários flagelos laterais adicionais, quando cultivadas em meio semissólido (HUERGO et al., 2008). São endofíticas facultativas e colonizam tanto o interior (entre os espaços intercelulares ou até dentro de algumas células da raiz), como a superfície das raízes (MOREIRA et al., 2010; HUERGO et al., 2008).

Essa bactéria se tornou um importante alvo de estudo em países em desenvolvimento, como Brasil, Argentina e México que tinham como objetivo reduzir a sua dependência de fertilizantes nitrogenados (AGUILAR, 2016). Além da capacidade de fixação biológica de nitrogênio enfatizada por Döbereiner descobriu-se que as espécies do gênero *Azospirillum* eram responsáveis pela promoção de crescimento em vegetais através da síntese de fitohormônios. Esses fitohormônios são responsáveis por aumentar o comprimento e volume de órgãos vegetais como as raízes (TIEN et al., 1979; KALPULNIK et al., 1985). Também há resultados indicando incremento na tolerância a estresses hídricos (COHEN et al., 2009; BULEGON et al., 2016) e na resistência a patógenos (ALEN'KINA et al., 2013).

No solo, diversos processos são mediados por microrganismos, desempenhando papel importante na ciclagem de nutrientes. Dentre estes processos destaca-se a fixação biológica de nitrogênio atmosférico (FBN), que é realizada por microrganismos diazotróficos como *Azospirillum brasilense* (MOREIRA et al., 2010). A FBN consiste na conversão de N_2 gasoso em outras formas químicas nitrogenadas. Este N fixado é então empregado na biossíntese de proteínas e ácidos nucleicos destes micro-organismos (NUNES et al., 2003). Os diazotróficos são capazes de realizar tal processo graças a enzima dinitrogenase que rompe a tripla ligação do N_2 e o reduz a amônia, a mesma forma obtida no processo industrial (HUNGRIA, 2011). No entanto, os resultados positivos obtidos com as estirpes Ab-V5 e Ab-V6 de *Azospirillum brasilense* estão predominantemente mais relacionados com a promoção de crescimento vegetal pela ação de fitohormônios do que com a FBN (HUNGRIA et al., 2016b; HUNGRIA et al., 2010).

Com base nessa capacidade do gênero *Azospirillum* em estimular a nutrição e o crescimento de plantas tornou-se economicamente viável seu uso como inoculante em gramíneas quando associado à fertilização nitrogenada. As primeiras estirpes comerciais de *Azospirillum* no Brasil tiveram sua eficiência confirmada pela Embrapa Soja em 2004 e em 2009 o primeiro inoculante foi comercializado. Desde então, dezenas de resultados vêm sendo publicados com as duas principais estirpes, *A. brasilense* Ab-V5 e AbV6, nas culturas de milho, trigo, arroz e também em pastagens como braquiária, podendo resultar em grande impacto na recuperação de pastagens degradadas. Os resultados obtidos indicam que podem ser empregados somente o N na base, acrescido de 75% da dose em cobertura, resultando em rendimento igual ou superior ao controle com 100% de N (HUNGRIA, 2016a).

A contribuição da fixação biológica de N₂ associativa à nutrição vegetal não é tão significativa como a das simbioses (MOREIRA et al., 2010), tendo-se em vista que, ao contrário das bactérias simbióticas, bactérias associativas excretam somente uma parte do nitrogênio fixado diretamente para a planta associada; após a morte da bactéria e sua mineralização, pode haver contribuição com aportes adicionais de nitrogênio, suprimindo, assim, apenas parcialmente as necessidades de nitrogênio das plantas (HUNGRIA, 2011). Entretanto se for considerada a grande extensão de terras recobertas por gramíneas e cereais, esta se torna importante, a nível global (MOREIRA et al., 2010).

Diversas pesquisas vêm sendo desenvolvidas no Brasil com a inoculação de bactérias do gênero *Azospirillum*, sendo que grande parte destas trata da inoculação em milho, trigo e espécies de braquiárias. Hungria (2011) relata que em uma sequência de experimentos desenvolvidos em parceria entre a Embrapa Soja e a Universidade Federal do Paraná, a partir dos quais foi desenvolvido o primeiro inoculante líquido comercializado no País, foram obtidos incrementos médios de produção de grãos de 31% para o trigo, em relação ao controle, não inoculado, sendo que ambos receberam somente 20 kg de N no momento da semeadura. Já para o milho o incremento médio de produção com a inoculação foi de 26%, em relação ao controle não inoculado, tendo ambos recebido 24 kg de N na semeadura. Em trabalho também realizado no Paraná, testando-se o efeito residual da adubação nitrogenada realizada em diferentes doses de N (0, 75, 150, 225 e 300 kg/ha) na pastagem de inverno (aveia preta + azevém) sobre a produtividade do milho cultivado em sucessão, inoculado com *A. brasilense* ou não (controle), obteve-se maior produtividade de milho com a inoculação, mesmo com o aumento da dose de N aplicada no inverno. Para o controle, a equação de regressão mostrou que, a aplicação de 261 kg de N/ha proporcionaria a máxima

produtividade de milho (9938 kg/ha). Esta mesma produtividade, para o tratamento com a inoculação de *A. brasilense* seria obtida com a aplicação de 172 kg/ha, o que representa uma economia de 89 kg/ha de N (NOVAKOWISKI et al., 2011).

Avaliando o rendimento de grãos do trigo na Região Noroeste do Rio Grande do Sul, Corassa et al. (2013) obtiveram igualdade (aproximadamente 5 t/ha) quando cultivaram o trigo inoculado com *A. brasilense* recebendo apenas adubação nitrogenada de cobertura (65 kg de N/ha) em comparação com o cultivo de trigo sem inoculação, recebendo adubação nitrogenada de base (15 kg de N/ha) e de cobertura (65 kg de N/ha). Também Sala et al. (2007) ao estudarem genótipos de trigo sob inoculação com *Azospirillum* sp. observaram incrementos na produção de forragem, peso de mil grãos e rendimento de grãos.

Em uma série de experimentos realizados na Argentina com aveia, trigo, centeio, triticale e azevém, em pastejo, sendo inoculados com *A. brasilense*, e recebendo diferentes doses de nitrogênio no plantio (0, 22 e 50 kg de N/ha), observou-se uma superioridade média de 12% na produção de forragem nas culturas que receberam inoculação em relação as não inoculadas, independentemente do nível de adubação nitrogenada (DÍAZ-ZORITA e CANIGIA, 2008). Aumentos de produtividade de fitomassa seca e grãos de trigo inoculado com *A. brasilense* podem estar correlacionados com a maior quantidade de perfilhos nas plantas inoculadas. Pereira et al. (2017) ao compararem trigo inoculado via semente na dose de 4 ml/kg de semente e adubado com 60 kg de N/ha, obtiveram incrementos no número de perfilhos por planta e por consequência superioridade na massa seca da parte aérea e no rendimento de grãos, se comparado a mesma quantidade de N, porém sem inoculação. Da mesma forma, Fukami et al. (2016) observaram maior perfilhamento de trigo inoculado (sementes), e destacaram que esse aumento pode ser considerado um dos efeitos da promoção de crescimento no rendimento em resposta à inoculação.

Ao estudar o rendimento de grãos, recuperação de nitrogênio aplicado e eficiência agrônômica na cultivar de trigo CD 116 submetida à diferentes doses de N (0, 50, 100, 150 e 200 kg de N/ha) e inoculação, Galindo et al. (2019) obtiveram incrementos sobre essas variáveis com uso da inoculação até a dose de 150 kg de N/ha. Esses incrementos em plantas inoculadas foram atribuídos pelos autores ao aumento do sistema radicular das plantas, o que possibilitou maior absorção do nitrogênio aplicado. Porém, pesquisas como essa demonstram que a resposta da inoculação diminui a partir de um nível ótimo de adubação nitrogenada. Nesse sentido, Aguirre et al. (2018) ao inocularem pastagens de

Coastcross-1 com *A. brasilense* estirpes Ab-V5 e Ab-V6 observaram que os ganhos de produção de forragem decrescem com o aumento da dose de nitrogênio aplicada.

Com relação aos estudos da inoculação de *A. brasilense* em pastagens de braquiária, Oliveira et al. (2007) estudando *Brachiaria brizantha* cv. Marandu verificaram que o tratamento com inoculação apresentou desempenho superior quando comparado à ausência de inoculante e de N, proporcionando aumento prolongado no pastoreio e elevando o perfilhamento nos estádios iniciais de desenvolvimento da forrageira, sem necessidade de recorrer a altas doses de fertilizantes. Ficagna e Gai (2012) estudando o uso de diferentes doses de inoculante contendo *A. brasilense* em pastagens de Tifton 85 sob diferentes épocas de corte, relatam que a mesma não apresentou diferença significativa para as variáveis massa seca e proteína bruta quando comparado ao tratamento com fertilizante químico.

Em trabalho realizado por Guimarães et al. (2011) apesar de não ser verificada influência sobre a área foliar, o uso da bactéria diazotrófica promoveu aumentos significativos na altura das pastagens quando comparado a plantas com a ausência da bactéria, sendo que, houve desempenho similar ou superior em comparação a plantas com somente adubação nitrogenada, demonstrando que a inoculação se destaca como uma alternativa promissora na substituição parcial ou total da adubação nitrogenada. Quanto aos efeitos da inoculação sobre os níveis de N nas folhas, há relatos de aumentos em torno de 10% em plantas de *Brachiaria decumbens* quando comparados à forrageira sem a presença do inoculante. Também Hungria et al. (2016b) avaliando o efeito da inoculação de *A. brasilense* e fertilização nitrogenada em *Brachiaria* em diferentes locais, sob regime de corte, observaram incrementos de 22,1% na produção de forragem para as pastagens inoculadas. Para a avaliação de acúmulo de N na biomassa, a inoculação foi equivalente à aplicação de 40 kg de N/ha de forma isolada.

Resultados da interação entre bactérias diazotróficas com gramíneas como braquiária, milho e trigo em termos de potencial agrônomo, fixação de nitrogênio ou promoção do crescimento, é dependente de muitos fatores bióticos, principalmente disponibilidade de nitrogênio no solo, sobrevivência de bactérias e interação genótipo-bactéria (ROESCH et al., 2006). As pesquisas relatadas demonstram o potencial da inoculação de *Azospirillum brasilense* em gramíneas, tanto para produção de grãos, quanto de forragem. Entretanto, pesquisas avaliando o efeito da inoculação com *A. brasilense* e sua associação com doses de N, em genótipos de trigo de duplo propósito, são escassas. Dessa

forma, a realização de mais estudos é relevante por possibilitar recomendações a respeito da inoculação, aliada à adubação nitrogenada, visando diminuição do aporte de nitrogênio mineral de forma equilibrada, contribuindo, assim, para a constituição de sistemas forrageiros mais sustentáveis.

CAPÍTULO 3

RESPOSTA DE TRIGO DE DUPLO-PROPÓSITO À FERTILIZAÇÃO NITROGENADA E INOCULAÇÃO DAS SEMENTES COM *Azospirillum brasilense*

RESUMO

O uso de inoculantes contendo bactérias promotoras do crescimento vegetal é uma alternativa para aumentar a eficiência de uso dos fertilizantes nitrogenados. Em trigo de duplo propósito, estudos avaliando a inoculação sobre a produção de forragem, palha e grãos são escassos. Nesse sentido, avaliou-se a produção de forragem e o rendimento de grãos em trigo de duplo propósito inoculado com *Azospirillum brasilense* e fertilizado com doses de nitrogênio, nos anos agrícolas de 2016 e 2017, em condições de corte. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições, organizado em esquema fatorial (2 x 4). Os fatores foram a inoculação (com e sem) e às doses de nitrogênio (0, 50, 100 e 150 kg de N ha⁻¹). Foram avaliadas a produção de forragem, o número de perfilhos, a produção de palha e a produção de grãos. As médias de produção de forragem total diferiram entre os tratamentos com e sem inoculação 3952 e 3350 kg de MS ha⁻¹, respectivamente. Não houve efeito da inoculação sobre a produção de grãos. A produção de forragem e de biomassa de lâminas foliares, o número de perfilhos e a produção de palha são incrementados com o uso da inoculação.

Palavras-chave: BRS Tarumã; estirpes Ab-V5 e Ab-V6; produção de forragem; rendimento de grãos; *Triticum aestivum*.

RESPONSE OF DUAL PURPOSE WHEAT TO NITROGEN FERTILIZATION AND INOCULATION SEEDS WITH *Azospirillum brasilense*

ABSTRACT

The use of inoculants containing plant growth-promoting bacteria is an alternative to increase the efficiency of nitrogen fertilizers. Studies evaluating the effects of inoculation on forage yield, straw yield, and grain yield in dual-purpose wheat cultivars are scarce. This study aimed to evaluate the forage yield and grain yield in dual-purpose wheat inoculated with *Azospirillum brasilense* and fertilized with increasing nitrogen rates during two agricultural years (2016-2017) under cutting management. The trial was carried out in a completely randomized block design with four replicates, using a 2 x 4 factorial arrangement. The factors were the inoculation (control or *A. brasilense*) and nitrogen rates (0, 50, 100 and 150 kg N ha⁻¹). Forage, grain and straw yield, and number of tillers were evaluated. Forage yield differed between treatments with inoculation and without inoculation, 3952 and 3350 kg DM ha⁻¹, respectively. There was no effect of inoculation on

grain yield. The forage and leaf biomass yield, the number of tillers and straw yield increased with inoculation.

Keywords: “BRS Tarumã” wheat, forage yield, grain yield, strains Ab-V5 and Ab-V6, *Triticum aestivum*.

3.1 INTRODUÇÃO

O cultivo de cereais de inverno de duplo propósito, como o trigo, é uma alternativa para se produzir forragem verde para alimentação animal durante o outono e início do inverno de forma mais precoce em relação a outras forrageiras mais utilizadas, como o azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) (CONFORTIN et al., 2013). Esse tipo de uso tem como vantagem a flexibilidade de utilização, pois, dependendo da previsão climática e cotação do grão, pode-se optar por otimizar a produção de forragem ou de grãos. Essa flexibilidade tem como consequência maior probabilidade de maximizar a renda. Entretanto, para que se obtenha êxito com o cultivo de dupla aptidão é preciso atentar para algumas práticas de manejo, como, por exemplo, a escolha do cultivar adequado, da época ideal de semeadura, a observação da densidade de semeadura recomendada, do momento ideal para início e término da utilização do pasto pelos animais, a carga animal utilizada, a altura de pastejo e a adubação (MARTIN et al., 2010).

O aporte adequado de nutrientes, principalmente de nitrogênio (N), é fundamental para que a produção, o valor nutritivo da forragem, a recuperação de área foliar e a produção de grãos sejam maximizadas. Para tanto se usam adubos nitrogenados sintéticos que elevam os custos de produção e contribuem com emissões de gases de efeito estufa. Aumentos nas quantidades de adubos nitrogenados sintéticos aplicados com o objetivo de atingir altas produtividades de forragem e grãos, também implicam em impactos ambientais negativos, pois, grande parte do N aplicado é perdido por processos de lixiviação, volatilização e desnitrificação (ZAMAN et al., 2016).

Dentre as alternativas para diminuir o uso de adubos nitrogenados destaca-se o uso de inoculantes formulados a partir de bactérias promotoras do crescimento vegetal. Essas bactérias podem estabelecer uma associação com vegetais e ao colonizarem a rizosfera, o interior das raízes e demais tecidos, estimulam o crescimento das plantas por meio da síntese de fitohormônios. Esse grupo de microrganismos pode ainda realizar fixação biológica de

nitrogênio (FBN) em associação com diferentes espécies de plantas, transferindo parte do N fixado a elas (CARVALHO et al., 2014). Entre os gêneros de bactérias diazotróficas mais estudados, destaca-se o *Azospirillum*, com diversas pesquisas apontando efeitos positivos do seu uso na promoção do desenvolvimento radicular, na absorção de água e nutrientes, e na FBN, quando associado às gramíneas (HUNGRIA et al., 2010).

Nesse contexto, o uso da tecnologia de inoculação com as bactérias do gênero *Azospirillum* pode substituir parcialmente o uso da adubação nitrogenada na cultura do trigo de duplo propósito. Entretanto, os resultados de pesquisas avaliando a produção de trigo inoculado com *Azospirillum brasilense* têm demonstrado divergências, tanto em níveis baixos quanto altos de adubação nitrogenada (SILVA e PIRES, 2017; ALVES et al., 2017; PICCININ et al., 2013; GALINDO, et al., 2017). Além disso, estudos avaliando a inoculação com microrganismos promotores do crescimento vegetal via semente têm se concentrado, em sua maioria, nos genótipos indicados exclusivamente para produção de grãos. Assim, objetivou-se avaliar a cultivar de trigo de dupla aptidão BRS Tarumã submetida à inoculação com *Azospirillum brasilense* (estirpes Ab-V5 e Ab-V6) e diferentes doses de nitrogênio, quanto à produtividade de forragem e de grãos nas safras de 2016 e 2017.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nos anos de 2016 e 2017 na área experimental do Setor de Bovinocultura de Leite da Universidade Federal de Santa Maria, localizada na região da Depressão Central do Rio Grande do Sul, apresentando altitude média de 95 m, latitude 29° 43' Sul e longitude 53° 42' Oeste. Antecedendo a realização do estudo, a área experimental vinha sendo cultivada com pastagens de gramíneas forrageiras anuais no verão e no inverno. O solo é classificado como Argissolo Vermelho distrófico arênico, pertencente à unidade de mapeamento São Pedro (EMBRAPA, 2013). O clima da região é do tipo Cfa, subtropical úmido, de acordo com a classificação de Köppen. Os dados referentes às médias de precipitação pluvial e temperatura média, observadas no período experimental, foram obtidos junto à estação meteorológica localizada na Universidade Federal de Santa Maria, situada a aproximadamente 700 m da área experimental (Figura 1). As características

químicas do solo (0 – 20 cm) antes da instalação do experimento foram: pH em água: 6,0; MO: 2,7 %; P-Mehlich: 24,8 mg dm⁻³; K: 0,757 cmol_c dm⁻³; Ca: 5,80 cmol_c dm⁻³; Mg: 2,7 cmol_c dm⁻³; CTC: 12,7 cmol_c dm⁻³, respectivamente.

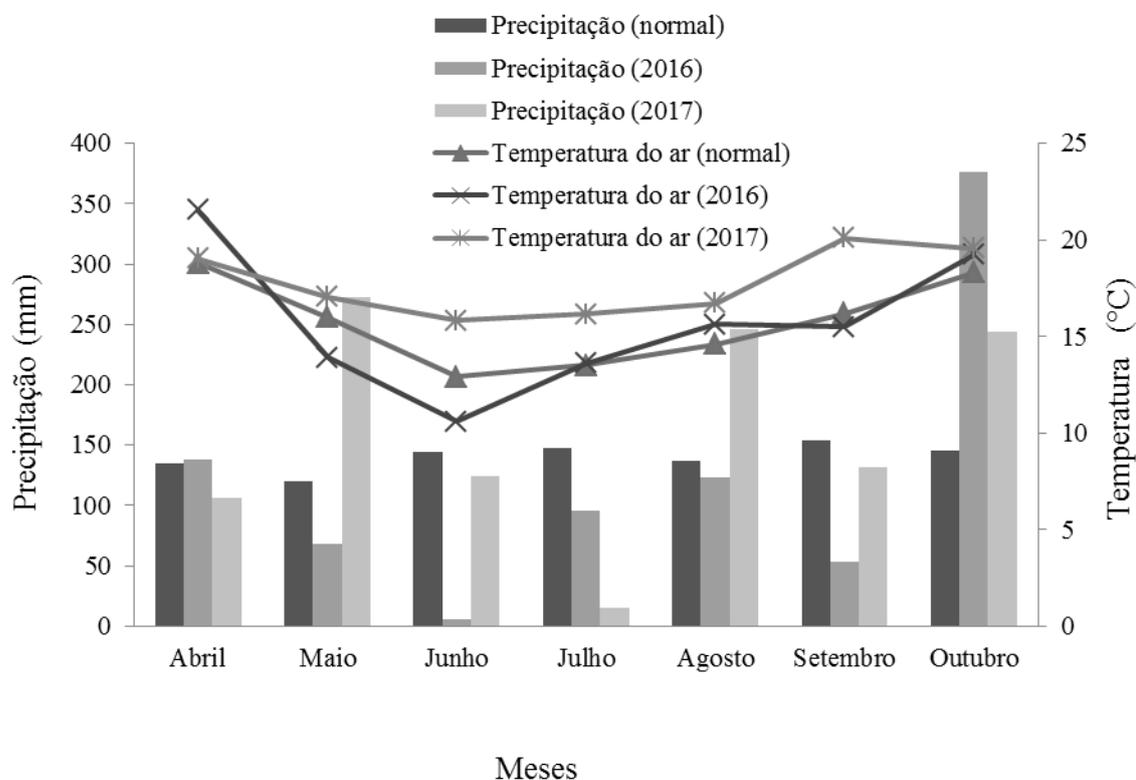


Figura 1. Valores normais de precipitação e temperatura e valores de precipitação e temperatura para os anos agrícolas de 2016 e 2017 (Abril a Outubro). Santa Maria - RS, 2016 – 2017.

Antes da semeadura, em ambos os anos, o solo foi preparado por meio de gradagem. A adubação de base utilizada foi de 45 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 30 kg ha⁻¹ de K₂O. A área experimental foi dividida em 32 parcelas com dimensões 4 x 3 m e corredores de 1 m de largura. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso organizado em esquema fatorial 2 (qualitativo) x 4 (quantitativo) com 4 repetições. O critério de bloqueamento foi o declive do terreno. Os fatores qualitativo e quantitativo corresponderam ao uso ou não da inoculação e às doses de N (0, 50, 100 e 150 kg de N ha⁻¹), respectivamente.

A semeadura das culturas foi realizada nos dias 20 e 12 de abril nos anos de 2016 e 2017, respectivamente. A inoculação das sementes ocorreu aproximadamente duas horas antes do início da semeadura com o produto comercial AzoTotal® (inoculante líquido

composto de cultura pura de bactérias *Azospirillum brasilense*, estirpes Ab-V5 e Ab-V6, com concentração de $2,0 \times 10^8$ UFC/ml). A dose de inoculante utilizada foi de 5 ml do produto comercial por kg de semente. Para a implantação da cultura utilizou-se semeadora de fluxo contínuo com espaçamento entre linhas de 17 cm. A densidade de semeadura preconizada foi de 400 sementes viáveis por m^2 , totalizando uma quantidade de 150 kg de sementes por ha.

Para compor as doses de adubo nitrogenado, utilizou-se como fonte de nitrogênio a ureia agrícola (46 % de N). As doses de nitrogênio foram divididas igualmente em quatro aplicações, de acordo com cada tratamento, sendo a primeira aos 30 dias após a semeadura e as demais após cada corte. As variáveis avaliadas foram a massa dos componentes estruturais na massa de forragem disponível e residual, a produção de forragem, produção de biomassa de lâminas foliares, o número de perfilhos por m^2 , número de espigas por m^2 , número de grãos por espiga, o rendimento de grãos, peso do hectolitro (PH) e massa de mil grãos.

As parcelas foram manejadas sob regime de corte. O critério para início dos cortes foi a altura do dossel, em torno de 20 cm, medida com uma régua e um filme de acetato (transparência) com dimensões de 0,3 x 0,2 m e peso aproximado de 25 g colocado sobre o dossel. Em cada parcela foram feitos quatro cortes rente ao solo com o auxílio de um quadro de 0,25 x 0,25 m. Após as amostragens, fez-se o corte das parcelas com um cortador de grama adaptado para uma altura de resíduo de aproximadamente 10 cm, retirando-se o material cortado com auxílio de ancinhos. Na sequência foram feitos mais quatro cortes rente ao solo para determinação da massa de forragem residual (estrato inferior). Posteriormente, todas as amostras foram pesadas, determinando-se a massa de forragem do estrato inferior e superior (massa de forragem obtida dos cortes feitos rente ao solo menos a massa de forragem do estrato inferior). Em seguida, as amostras foram misturadas, retirando-se uma subamostra para determinação da composição morfológica do trigo (estrato superior e inferior). O material proveniente dessa subamostra foi separado manualmente em lâmina foliar, colmo+bainha e material senescente de trigo. Estes componentes foram secos em estufa com ar forçado a 55°C até atingirem peso constante, para determinação da massa parcialmente seca de cada componente. A produção de forragem no primeiro corte correspondeu à massa disponível do respectivo corte. A produção de forragem no segundo e terceiro cortes foi determinada pela subtração entre massa de forragem do estrato superior do corte e inferior do corte anterior. A produção de forragem total foi obtida pelo somatório

das produções em cada corte. Para o cálculo da produção de biomassa de lâminas foliares, adotou-se o mesmo procedimento, utilizando-se a massa de lâminas foliares. Antecedendo o segundo e terceiro cortes, fez-se a contagem, em dois pontos por parcela, do número de perfilhos por m². Cada ponto correspondeu a uma área de 78,5 cm². Essa área foi delimitada com auxílio de um cilindro de PVC (Polipropileno vinílico) com 5 cm de altura e 10 cm de diâmetro.

Em cada corte foi monitorada a altura do primeiro nó do colmo, que corresponde ao meristema apical. Quando este atingiu a altura de 10 cm, aproximadamente, os cortes foram interrompidos e as parcelas diferidas, permitindo que a cultura viesse a produzir grãos. Com base no manejo adotado, com utilização da pastagem quando o dossel apresentava 20 cm e cortes feitos a 10 cm do solo, foi possível a condução de três cortes, em todas as parcelas, nos meses de junho, julho e agosto, tanto no ano de 2016 quanto em 2017. A partir do estágio fenológico de emborrachamento e até o início do enchimento de grãos fizeram-se aplicações preventivas de fungicida à base de Trifloxistrobina (100 g/L) e Tebuconazol (200 g/L) a cada 15 dias.

Para estimar a produção de grãos fez-se a colheita manual da área útil de cada parcela. O material colhido foi trilhado, determinando-se o rendimento de grãos, o peso do hectolitro e a massa de mil grãos ajustados para umidade padrão de 13%. No momento da colheita, coletou-se, rente ao solo, uma amostra de duas linhas centrais (1 m de comprimento) de cada parcela, correspondendo a uma área de 0,34 m². O material proveniente desse corte foi utilizado para determinação do número de espigas por m², número de grãos por espiga e produção de palha. Para determinação do número de espigas fez-se a contagem do número de espigas em cada amostra, convertendo-se para m². O número de grãos por espiga foi determinado pela média do número de grãos em 15 espigas escolhidas aleatoriamente por amostra. A produção de palha foi determinada a partir da separação entre a palha e os grãos. A palha obtida foi seca em estufa até peso constante e posteriormente pesada.

Para fins de análise consideraram-se os dados médios dos dois anos agrícolas. Esses dados foram submetidos à análise de variância, usando-se o teste F de Fisher-Snedecor a 5% de probabilidade de erro. Quando houve efeito significativo de pelo menos um dos fatores de estudo, fez-se a análise de regressão polinomial. O critério para escolha do modelo foi o coeficiente de determinação (r²) e o valor da significância (P). Ajustaram-se curvas isoladas

para o fator inoculação em função de doses de N. Todas as variáveis foram submetidas ao teste de correlação de Pearson. As análises foram realizadas com auxílio do software SAS, versão *University Edition*. O modelo estatístico utilizado foi o seguinte: $Y_{ijk} = \mu + I_i + N_j + IN_{ij} + B_k + \epsilon_{ijk}$. Em que, Y_{ijk} , representa as variáveis dependentes; μ , representa a média das observações; I_i , representa o efeito do uso da inoculação ($i = 2$); N_j , é o efeito das doses de N ($j = 4$); I_iN_j é o efeito da interação entre inoculação e doses de N; B_k , é o efeito de blocos e ϵ_{ijk} é o erro aleatório associado a i -inoculação, j -doses de N e k -blocos.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando as variáveis avaliadas, da massa de forragem e de produção de grãos, não houve interação entre os fatores doses de N e inoculação. Desta forma, os resultados dos fatores quantitativo e qualitativo são descritos de forma isolada.

Para a massa de forragem do estrato superior, houve efeito linear ascendente em relação ao aumento das doses de N, tanto para o trigo não inoculado ($y = 3,25*N + 478,8$; $r^2 = 0,88$; $P = 0,001$) quanto para o inoculado ($y = 3,03*N + 712$; $r^2 = 0,97$; $P = 0,005$). O uso da inoculação proporcionou aumento próximo a 25% na massa de forragem do estrato superior nos distintos níveis de N.

Quanto à massa de lâminas foliares (Figura 2), verificou-se efeito quadrático com início ascendente, no primeiro corte para o trigo não inoculado. Destaca-se que houve declínio na massa de forragem no nível mais elevado de N, de 150 kg ha⁻¹ em relação à dose de 100 kg ha⁻¹. Para o trigo inoculado houve efeito linear ascendente em relação às doses crescentes de N. Para o segundo e terceiro cortes, verificou-se efeito linear ascendente em relação ao aumento das doses de N. Quanto ao valor médio de massa de lâminas foliares, confirma-se o efeito linear, predominante na análise dos cortes. O uso do *Azospirillum brasilense* implicou em 24,7 e 13,3% mais massa de lâminas foliares, considerando o trigo sem e com adubação (150 kg de N ha⁻¹).

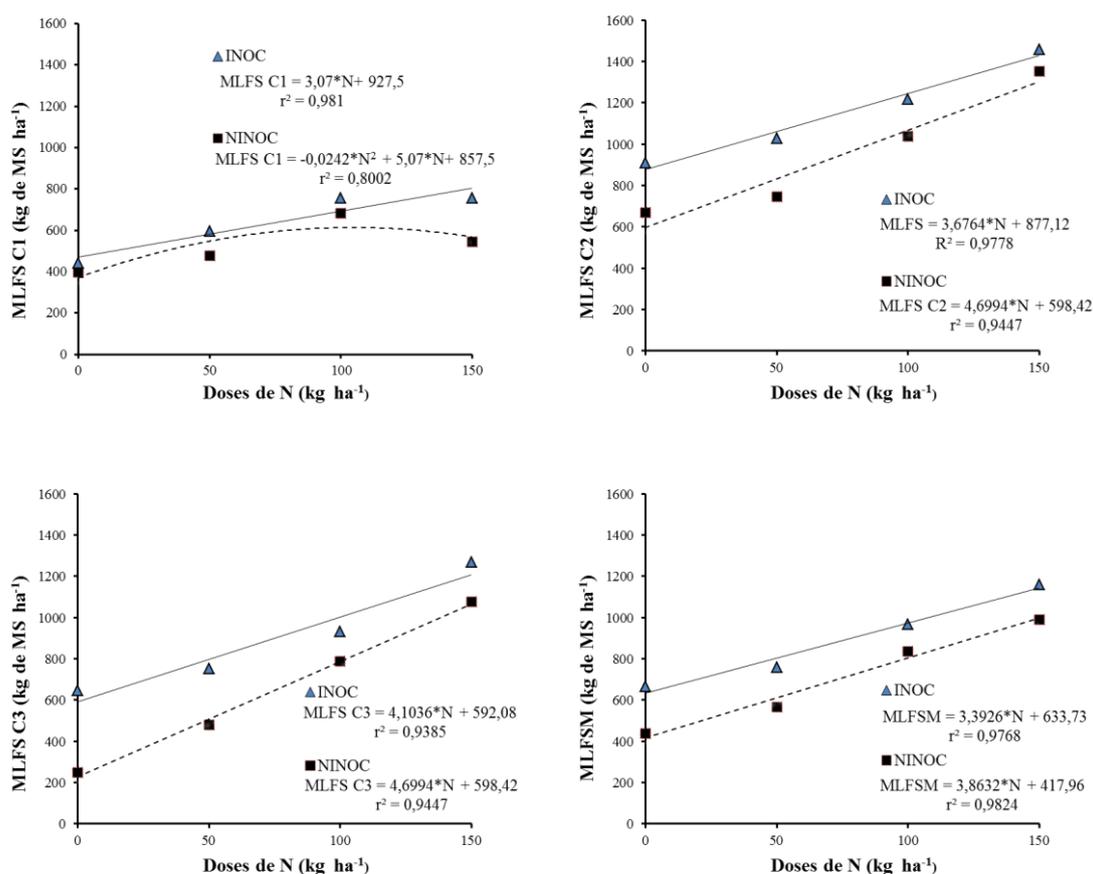


Figura 2. Massa de lâminas foliares do estrato superior para o primeiro (MLFS C1), segundo (MLFS C2) e terceiro (MLFS C3) cortes e para o valor médio dos cortes (MLFSM) para trigo de duplo propósito submetido à inoculação com *Azospirillum brasilense* e doses crescentes de nitrogênio. INOC= inoculado; NINOC= não inoculado. Santa Maria – RS, 2016-2017.

Para a massa de colmos e de material senescente do estrato superior não houve efeito ($P > 0,05$) para o fator qualitativo e quantitativo. Os valores médios obtidos para essas variáveis foram de 187 e 80,5 kg de MS ha⁻¹, correspondente a 22,5 e 9,6% da massa de forragem, respectivamente.

Quanto às variáveis referentes ao estrato inferior, constatou-se que houve aumento linear para a massa de forragem, a massa de lâminas e massa de colmos em função das doses de N (Figura 3), somente no primeiro e terceiro cortes, sem haver efeito da inoculação. Esses resultados se devem ao aumento do tamanho dos colmos, da quantidade de folhas e de perfilhos, quando há alta disponibilidade de nitrogênio no solo para o trigo (Ferreira et al., 2017).

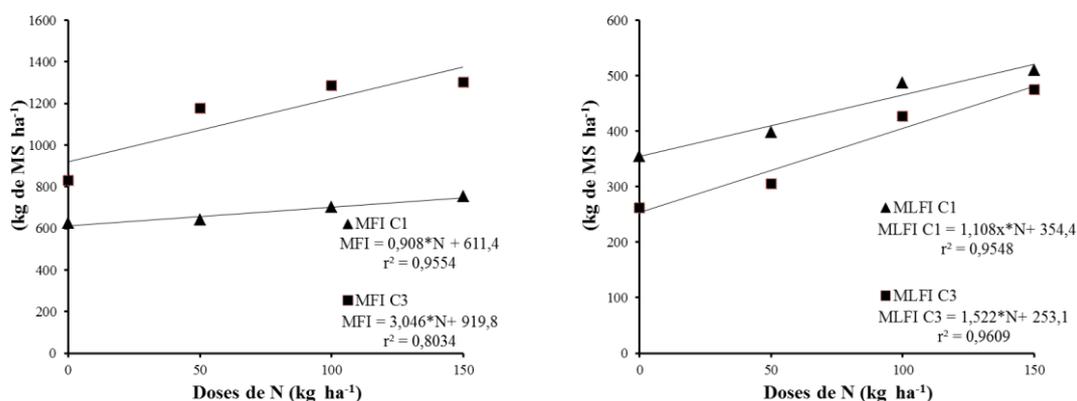


Figura 3. Massa de forragem do estrato inferior (MFI) e de lâminas foliares do estrato inferior (MLFI). Dados referentes ao primeiro (C1) e terceiro cortes (C3). Santa Maria – RS, 2016-2017.

As maiores quantidades de lâminas foliares após os cortes, associadas aos níveis de N, são fundamentais para o rebrote satisfatório, uma vez que o tempo necessário para o período de rebrote está condicionado à área foliar remanescente. Dessa forma, quanto maior a quantidade desse componente, menor o tempo para que a planta atinja novamente a máxima eficiência fotossintética (BRYANT et al., 2012).

No que se refere à massa de colmos e de material senescente do estrato inferior, não foram verificados efeitos dos fatores qualitativo e quantitativo. Os valores médios obtidos para massa de colmos e de material senescente do estrato inferior foram de 339 e 177 kg de MS ha⁻¹, correspondendo a 37 e 19% da massa de forragem do estrato inferior, respectivamente.

O número de perfilhos por m² foi influenciado positivamente pelas doses de N e pelo uso da inoculação (Figura 4). Os incrementos obtidos são atribuídos ao aumento da disponibilidade de nitrogênio com a elevação das doses, já que a disponibilidade de N à planta é fundamental para a sobrevivência e emissão dos perfilhos (PIETRO-SOUZA et al., 2013; RAMOS, 1973). Atribuí-se ao efeito significativo da inoculação a ação dos hormônios vegetais auxina e citocinina, sintetizados por *A. brasilense*, sobre o aumento do número de pêlos radiculares (POP, et al., 2011) e de perfilhos nas plantas de trigo (IVANOV et al., 2018). Além disso, as bactérias contribuem com aporte adicional de N mediante FBN.

O menor número de perfilhos verificado na pastagem em que não se aplicou adubo nitrogenado nem foi inoculada está relacionado com o fato de que nessas condições a nutrição do colmo principal é priorizada em detrimento dos perfilhos (BENIN et al., 2012).

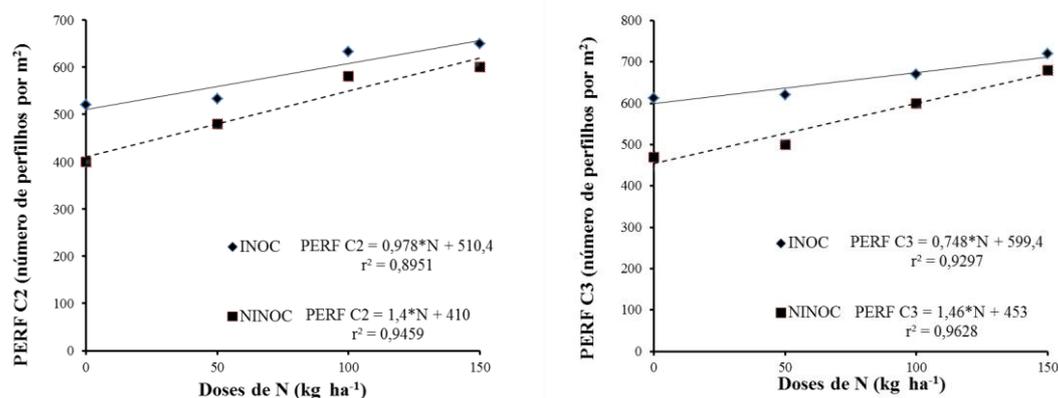


Figura 4. Número de perfilhos por m² no segundo (PERF C2) e terceiro (PERF C3) cortes para trigo de duplo propósito submetido à inoculação com *Azospirillum brasilense* e doses crescentes de nitrogênio. INOC= inoculado; NINOC= não inoculado. Santa Maria – RS, 2016-2017.

Para produção de forragem (Figura 5) observou-se efeito de doses e inoculação para todos os cortes ($P < 0,05$). Para o trigo não inoculado, no primeiro corte, a resposta foi quadrática em relação às doses aplicadas, com produção máxima próxima à dose de 100 kg de N ha⁻¹. Para trigo inoculado, os dados se ajustaram à equação linear.

A resposta quadrática obtida para os tratamentos não inoculados pode ser atribuída às baixas precipitações pluviométricas, já que os cortes iniciaram nos dias 07/07 e 29/07 no ano de 2016 e 2017, respectivamente. Assim, em ambos os anos o momento do primeiro corte foi precedido de precipitações abaixo das normais para Santa Maria (Figura 1). Nessas condições acredita-se que o efeito das bactérias sobre o desenvolvimento radicular possibilitou que as raízes das plantas inoculadas explorassem uma maior área de solo e consequentemente absorvessem maiores quantidades de água e nutrientes (DIMPKA et al., 2009). Assim, o uso da inoculação exerce efeito sinérgico sobre a produção de forragem quando associado à utilização de adubo nitrogenado, que é mais eficiente em estimular a emissão de folhas e perfilhos (DÍAZ-ZORITA e CANIGIA, 2009).

Para o segundo e terceiro cortes houve resposta linear para a produção de forragem, tanto para pastagens inoculadas quanto para não inoculadas. Esse resultado já era esperado, já que nessas avaliações, para a massa de lâminas foliares do estrato superior houve aumento linear em função das doses de N (Figura 3). Em cada uma das avaliações, o uso da inoculação incrementou a produção de forragem em aproximadamente 20%. Esse

incremento pode ser atribuído ao aumento da contribuição de perfilhos na massa de forragem para as pastagens submetidas à inoculação (Figura 4).

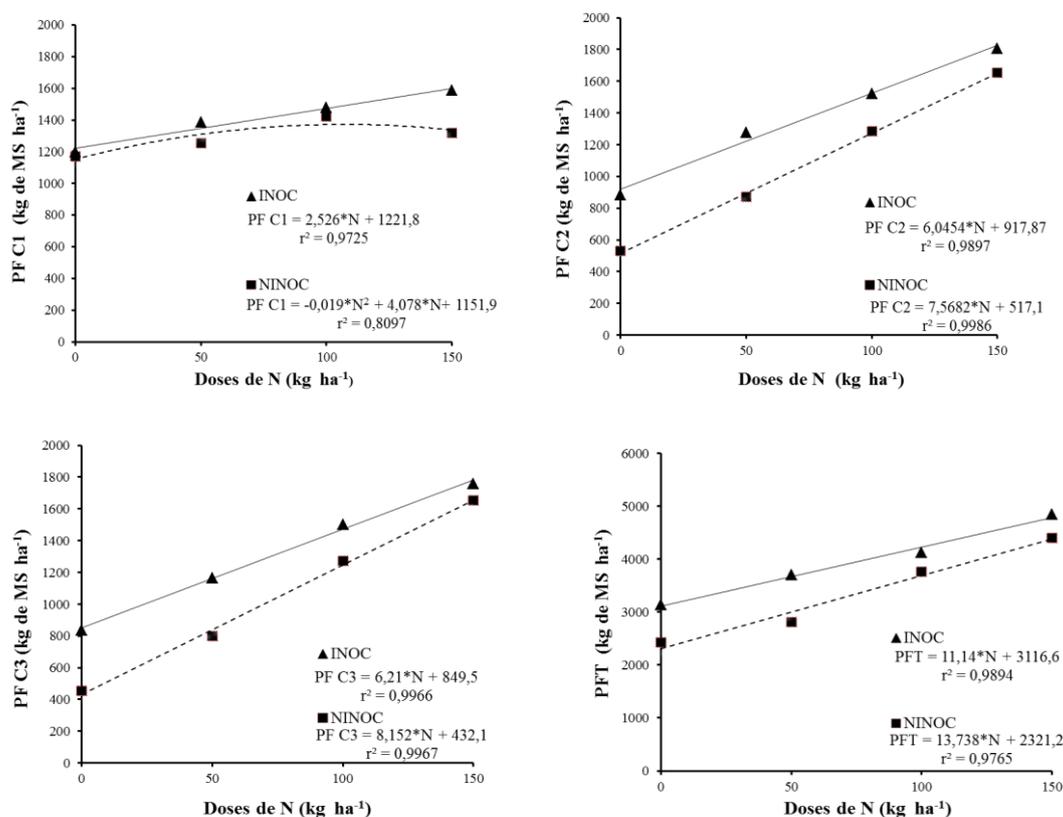
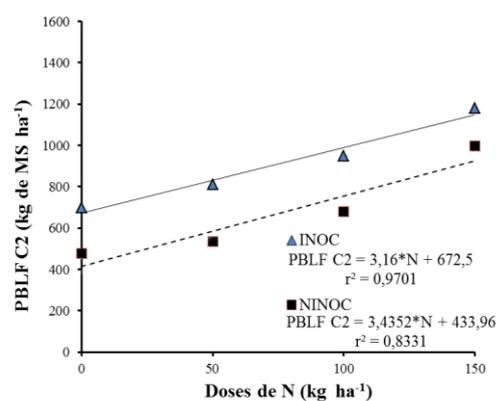
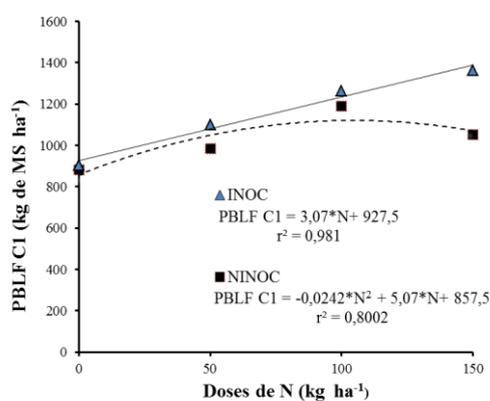


Figura 5. Produção de forragem no primeiro (PF C1), segundo (PF C2), terceiro (PF C3) cortes e produção de forragem total (PFT), para trigo de duplo propósito submetido à inoculação com *Azospirillum brasilense* e doses crescentes de nitrogênio. INOC= inoculado; NINOC= não inoculado. Santa Maria – RS, 2016-2017.

Embora se verifique aumento linear aos níveis crescentes de N, na produção de forragem para o segundo e terceiro cortes com o uso da inoculação, estes foram mais expressivos no trigo sem adubação e no que recebeu 50 kg de N ha⁻¹. Esse resultado está relacionado à maior capacidade competitiva de *A. brasilense*, em condições de baixa disponibilidade do nitrogênio (SYLVIA et al., 1998). Nesta condição, a síntese de fitohormônios benéficos ao crescimento vegetal é aumentada. Além disso, a fixação biológica de N é reduzida na presença de altas concentrações de amônio (NH⁺₄), originado a partir da hidrólise da ureia. Esse componente causa inibição rápida e reversível da atividade da nitrogenase, enzima responsável pela conversão do nitrogênio atmosférico (N₂) à forma assimilável pelas plantas (NH⁺₄). Essa inibição resulta em menores aportes adicionais de nitrogênio via FBN às plantas inoculadas quando submetidas a níveis mais altos de fertilização nitrogenada (CARVALHO et al., 2014).

A inoculação possibilitou um incremento médio de aproximadamente 22, 24, 10 e 9% sobre a produção total de forragem para as doses de 0, 50, 100 e 150 kg de N ha⁻¹, respectivamente. Esse resultado decorre do aumento da contribuição de lâminas foliares na massa da pastagem que foi inoculada (Figura 2). Os resultados obtidos para produção de forragem com a dose de 100 kg de N ha⁻¹ são similares aos determinados por HENZ et al. (2016) com a dose de 75 kg de N ha⁻¹, sob dois cortes (3660 kg de MS ha⁻¹), ao submeter a cultivar BRS Tarumã a distintas doses de N, na região norte do Rio Grande do Sul.

Para a produção de biomassa de lâminas foliares, observou-se efeito dos fatores qualitativo e quantitativo, à semelhança dos resultados da produção de forragem. A correlação verificada entre a produção total de biomassa de lâminas foliares e a produção de forragem ($r = 0,82$; $P = 0,0015$) confirma essa associação. Observaram-se incrementos nas pastagens de trigo inoculadas de aproximadamente 42, 28, 21 e 15% para as doses de 0, 50, 100 e 150 kg de N ha⁻¹, respectivamente. Maior produção de lâminas foliares em forrageiras é um efeito desejável, visto que elas se constituem na fração mais nutritiva da forragem. Além disso, maiores quantidades de folhas facilitam a apreensão da forragem pelo animal, implicando em aumento na quantidade de forragem consumida e, por consequência, no desempenho animal (ROSA et al., 2013).



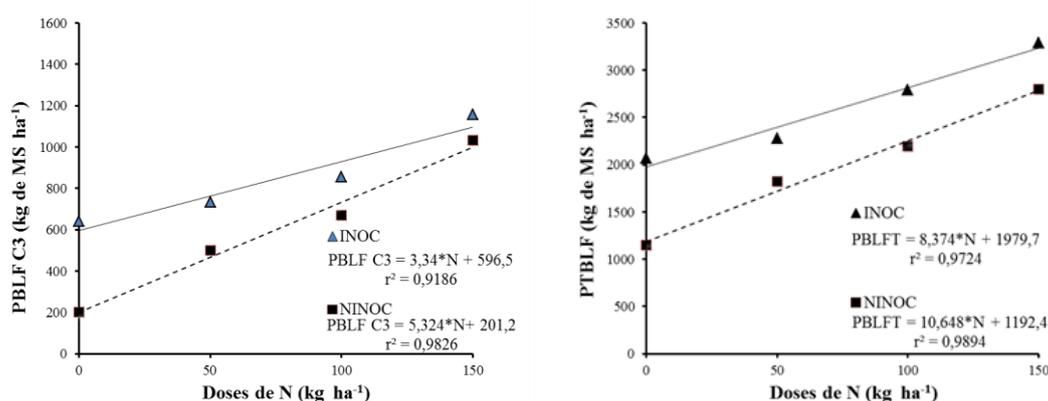


Figura 6. Produção de biomassa de lâminas foliares no primeiro (PBLF C1), segundo (PBLF C2), terceiro (PBLF C3) cortes e produção total (PTBLF), para trigo de duplo propósito submetido à inoculação com *Azospirillum brasilense* e doses crescentes de nitrogênio. INOC= inoculado; NINOC= não inoculado. Santa Maria - RS, 2016-2017.

Para as variáveis associadas à produção de grãos não houve efeito da inoculação. Destaca-se que houve efeito de inoculação sobre a produção de biomassa do trigo inoculado, não resultando, no entanto, em maior rendimento de grãos. Esse resultado pode ser atribuído ao aumento do número de perfilhos do trigo inoculado, implicando em maior competição por fotoassimilados para formação e manutenção de tecidos (PIETRO-SOUZA et al., 2013), não havendo, no entanto, aumento na produção de grãos. Condição similar também foi obtida em trabalho conduzido com trigo de duplo propósito submetido a diferentes doses de N e inoculado com *A. brasilense*, sendo verificado também somente efeito do adubo (SILVA et al., 2017).

Quanto à massa de mil grãos (Figura 7), houve efeito linear de acordo com as doses crescentes de N. Esse resultado está associado à maior formação de tecidos fotossinteticamente ativos nas pastagens em que se aplicou adubo nitrogenado, resultando em maior assimilação e posterior translocação de fotoassimilados para a formação de grãos (BENIN et al., 2012). Essa assertiva é confirmada pela correlação verificada ($r = 0,61$; $P = 0,0072$) entre a massa de lâminas foliares do estrato inferior (último corte) com a massa de mil grãos.

Para o rendimento de grãos, houve efeito linear em relação às doses de N. Comportamento similar foi observado em relação ao número de espigas/m² e ao número de grãos/espiga. Esses resultados estão relacionados com o suprimento de N para a cultura na fase de diferenciação da gema vegetativa em reprodutiva (ESPINDULA et al., 2010). A

produção de trigo não adubado e o que se aplicou 150 kg de N ha⁻¹ foi de 532 e 993 kg ha⁻¹. Os valores são considerados baixos (MEINERZ et al., 2012) e devem-se à ocorrência de precipitações e temperaturas elevadas (Figura 1) no final do ciclo da cultura. Estas condições favoreceram o desenvolvimento de doenças como giberela (*Giberella zeae*) e brusone (*Pyricularia grisea*) que mesmo com a aplicação de fungicidas implicaram em redução da produção de grãos.

Com relação ao PH, cuja média foi de 74,5 kg hl⁻¹, houve efeito linear descendente para doses de N. De forma semelhante, Teixeira Filho et al. (2010) ao testar doses de N de 0 a 200 kg de N ha⁻¹, verificaram que os valores de PH foram inversos. Esse resultado pode ser atribuído ao aumento da disponibilidade de nitrogênio, que elevou o número de grãos de maior tamanho. Assim, no momento da aferição do PH, ocorre aumento de espaços vazios entre eles, reduzindo o peso hectolítrico.

Quanto à produção de palha, houve efeito linear em relação às doses de N e aumentos desta com a inoculação. A maior disponibilidade de N estimulou o perfilhamento do trigo (Figura 3) implicando na formação de maior número de espigas/m², produzindo, após a colheita, mais palha, conseqüentemente. Esse resultado pode ser confirmado a partir das correlações obtidas entre a produção de palha com o número de perfilhos ($r=0,65$; $P=0,0054$) e com o número de espigas ($r= 0,68$; $P= 0,0018$).

O valor adicional de palha, de 28% sem adubo nitrogenado e de 10% para 150 kg de N ha⁻¹, mediante uso da inoculação, pode incrementar os teores de matéria orgânica, reduzir a temperatura da superfície, reter mais água, reduzir a densidade do solo e minimizar a incidência de plantas invasoras (CHERUBIN et al., 2014).

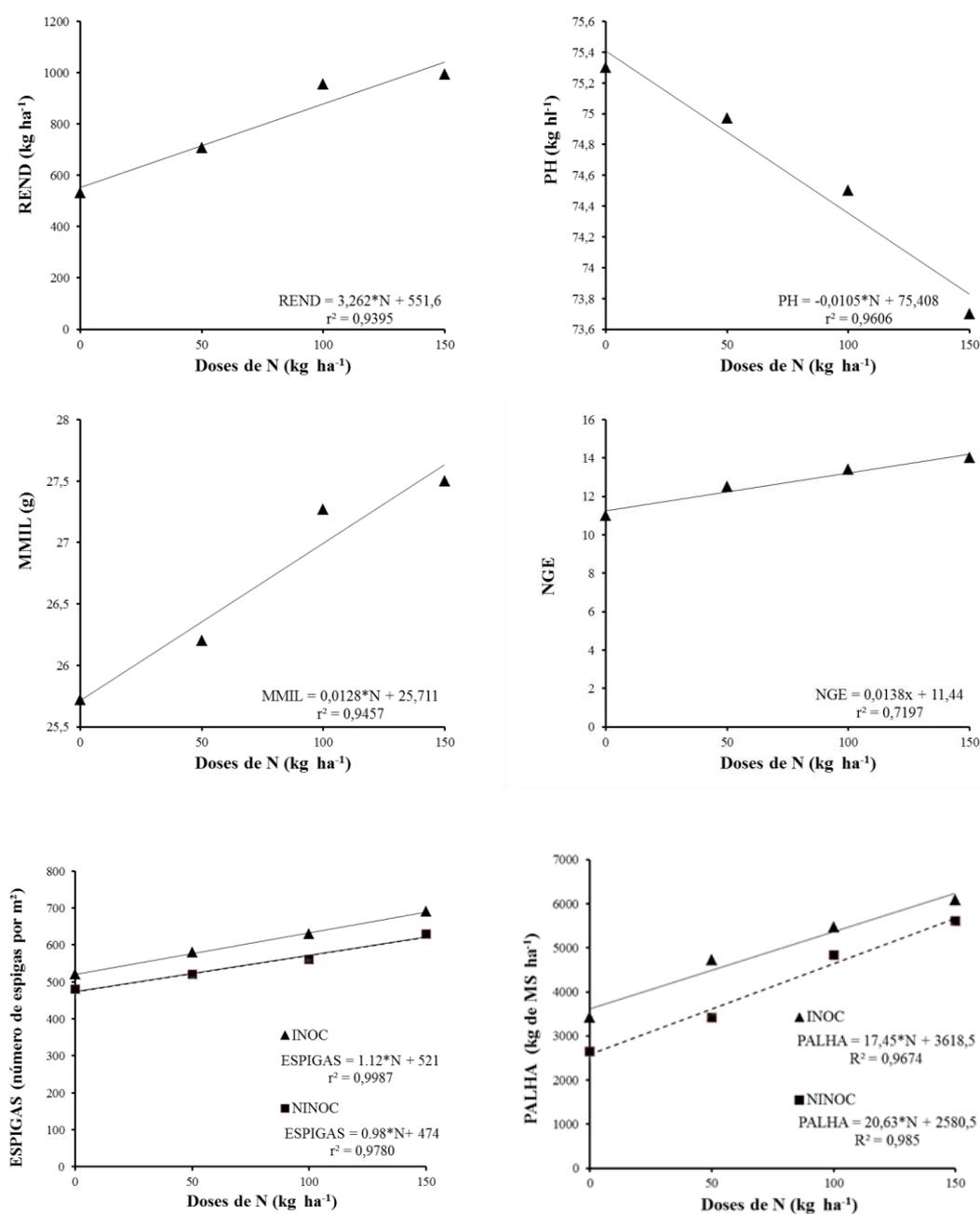


Figura 7. Rendimento de grãos (REND), peso do hectolitro (PH), massa de mil grãos (MMIL), número de grãos por espiga (NGE) número de espigas por m² (ESPIGAS) e produção de palha (PALHA) para trigo de duplo propósito submetido à inoculação com *Azospirillum brasilense* e doses crescentes de nitrogênio. Safras de 2016 e 2017. Santa Maria – RS, 2016-2017. INOC= inoculado; NINOC= não inoculado.

3.4 CONCLUSÃO

Associada com as doses de N utilizadas, a inoculação das sementes com a bactéria *Azospirillum brasilense* (estirpes Ab-V5 e Ab-V6) aumenta a produção de forragem, de lâminas foliares, o número de perfilhos e a produção de palha para trigo de duplo propósito BRS Tarumã. A inoculação não proporciona aumentos sobre o rendimento, PH, massa de grãos e número de grãos por espiga. Doses crescentes de N implicam em maior rendimento, tanto de biomassa quanto de grãos.

3.5 REFERÊNCIAS

- ALVES, C. J. et al. Irrigated wheat subjected to inoculation with *Azospirillum brasilense* and nitrogen doses as top-dressing. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 8, p. 537-542, 2017. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v21n8p537-542.
- BENIN, G. et al. Agronomic performance of wheat cultivars in response to nitrogen fertilization levels. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 34, n. 3, p. 275-283, 2012. DOI: 10.4025/actasciagron.v34i3.14468.
- BRYANT, R. H. et al. Effects of N fertilisation, leaf appearance and time of day on N fractionation and chemical composition of *Lolium perenne* cultivars in spring. **Animal Feed Science and Technology**, v. 173, n. 1, p. 210-219, 2012. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2012.02003.
- CARVALHO, T. L. G. et al. Nitrogen signalling in plant interactions with associative and endophytic diazotrophic bacteria. **Journal of Experimental Botany**, v. 65, n. 19, p. 5631–5642, 2014. DOI: 10.1093/jxb/eru319.
- CHERUBIN, M. R. et al. Desempenho Agronômico do Milho em Sucessão a Espécies de Cobertura do Solo sob Sistema Plantio Direto no Sul do Brasil. **Global Science and Technology**, v. 7, n. 1, p. 76-85, 2014. DOI:10.14688/1984-3801/gst.v7n1p76-85.
- CONFORTIN, A. C. C. et al. Diferentes massas de forragem sobre as variáveis morfológicas e estruturais de azevém anual. **Ciência Rural**, v. 43, n. 3, p. 496–502, 2013. DOI:10.1590/s0103-84782013005000003
- DARTORA, J. et al. Adubação nitrogenada associada à inoculação com *Azospirillum brasilense* e *Herbaspirillum seropedicae* na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 10, p. 1023-1029, 2013. DOI: 10.1590/S1415-43662013001000001.

DÍAZ-ZORITA, M.; FERNANDEZ-CANIGIA, M. V. Field performance of a liquid formulation of *Azospirillum brasilense* on dryland wheat productivity. **European Journal of Soil Biology**, v. 45, n. 1, p. 3-11, 2009. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2008.07.001.

DIMPKA, C. et al. Plant–rhizobacteria interactions alleviate abiotic stress conditions. **Plant Cell Environment**, v. 32, n. 12, p. 1682-1694, 2009. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2009.02028.x.

ESPINDULA, M. C. et al. Doses e formas de aplicação de nitrogênio no desenvolvimento e produção da cultura do trigo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 6, p. 1404-1411, 2010. DOI: 10.1590/s1413-70542010000600007.

EMBRAPA. **The Brazilian soil classification system**, 3th ed. Rio de Janeiro, Brazil: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2013.

FERREIRA, J. P. et al. *Azospirillum brasilense* via foliar e doses de nitrogênio em cobertura na cultura do trigo na região de Itapeva-SP. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 11, n. 2, p. 154-163, 2017. DOI: 10.18011/bioeng2017v11n2p154-163.

GALINDO, F. S. et al. Wheat yield in the Cerrado as affected by nitrogen fertilization and inoculation with *Azospirillum brasilense*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 9, p. 794-805, 2017. DOI: 10.1590/s0100-204x2017000900012.

HENZ, E. L. et al. Dual purpose wheat production with different levels of nitrogen topdressing. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 2, p. 1091-1100, 2016. DOI: 10.5433/1679-0359.

HUNGRIA, M. et al. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant and Soil**, v. 331, n. 1, p. 413-425, 2010. DOI:10.1007/s11104-009-0262-0.

HUNGRIA, M. et al. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant and Soil**, v. 331, n. 1, p. 413-425, 2016. DOI:10.1007/s11104-009-0262-0.

IVANOV, V. B. e FILIN, A. N. Cytokinins regulate root growth through its action on meristematic cell proliferation but not on the transition to differentiation. **Functional Plant Biology**, v. 45, n. 2, p. 215-221, 2018. DOI:10.1071/fp16340.

MARTIN, T. N. et al. Fitomorfologia e produção de cultivares de trigo duplo propósito em diferentes manejos de corte e densidades de semeadura. **Ciência Rural**, v. 40, n. 8, p. 1695-1701, 2010. DOI: 10.1590/S0103-84782010000800004.

MEINERZ, G. R. et al. Produtividade de cereais de inverno de duplo propósito na depressão central do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, n. 4, p. 873-882. 2012, DOI:10.1590/s1516-35982012000400007.

PICCININ, G. G. et al. Efficiency of seed inoculation with *Azospirillum brasilense* on agronomic characteristics and yield of wheat. **Industrial Crops and Products**, v. 43, n. 1, p. 393-397, 2013. DOI:10.1016/j.indcrop.2012.07.052.

PIETRO-SOUZA, W. et al. Desenvolvimento inicial de trigo sob doses de nitrogênio em Latossolo Vermelho de Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 6, p. 575-580, 2013. DOI: 10.1590/S1415-43662013000600001.

POP, T. I. et al. Auxin Control in the Formation of Adventitious Roots. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 39, n. 1, p. 307-316, 2011. DOI:10.15835/nbha3916101.

RAMOS, M. Efeitos do nitrogênio e fósforo sobre características agronômicas da variedade de trigo IAS 54 e suas relações com a produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 8, n. 1 p.213-216, 1973.

ROSA, A. T. N. et al. Consumo de forragem e desempenho de novilhas de corte recebendo suplementos em pastagem de azevém. **Ciência Rural**, v. 43, n. 1, p. 126-131, 2013. DOI: 10.1590/S0103-84782013000100021.

SILVA, S. R.; PIRES, J. L. F. Resposta do trigo BRS Guamirim à aplicação de *Azospirillum*, nitrogênio e substâncias promotoras do crescimento. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 48, n. 4, p. 631-638, 2017. DOI: 10.5935/1806-6690.20170073.

SYLVIA, D. M. et al. **Principles and applications of soil microbiology**. New Jersey: Printice Hall, 1998. 518 p.

TEIXEIRA FILHO, M. C. M. et al. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo irrigado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 8, p. 797-804, 2010. DOI: 10.1590/S0100-204X2010veso0000800004.

VESOHOSKI, F. et al. Componentes do rendimento de grãos em trigo e seus efeitos diretos e indiretos na produtividade. **Revista Ceres**, v. 58, n. 3, p. 337-341, 2011. DOI: 10.1590/S0034-737X2011000300014.

ZAMAN, M. et al. Evaluating the use of plant hormones and biostimulators in forage pastures to enhance shoot dry biomass yield by perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). **Journal Science Food Agricultural**, v. 96, n. 1, p. 715-726, 2016. DOI: 10.1002/jsfa.7238.

CAPÍTULO 4

PRODUTIVIDADE DE TRIGO DE DUPLO PROPÓSITO SOB INOCULAÇÃO DAS SEMENTES COM *Azospirillum brasilense*

RESUMO

No cultivo de cereais de inverno de duplo propósito, a fim de maximizar o rendimento de forragem e grãos, são utilizadas quantidades elevadas de fertilizantes nitrogenados. A inoculação com bactérias promotoras do crescimento vegetal pode ser uma alternativa para reduzir os custos com fertilização e impactos ambientais. Objetivou-se com este estudo avaliar o rendimento de forragem e de grãos de trigo de duplo propósito cultivar BRS Tarumã inoculado com *Azospirillum brasilense* e fertilizado com diferentes níveis de nitrogênio sob condições de corte e pastejo. Realizou-se um estudo inicial em condições de corte no ano de 2016. No ano de 2017, foi testada a dose 100 kg N ha⁻¹ associada à inoculação (100 + I) indicada como mais adequada, sob regime de corte, comparado a adubação com 150 kg N ha⁻¹, em condições de pastejo com vacas em lactação. Estes tratamentos foram escolhidos com base nos resultados do estudo inicial. O delineamento experimental no segundo estudo foi de blocos casualizados com três repetições (piquetes) e medidas repetidas (ciclos de pastejo). Neste estudo, foram avaliados o rendimento de forragem, o rendimento de grãos, as características das pastagens e as respostas de vacas em lactação. Não foram detectadas diferenças para as variáveis relacionadas à produção de forragem e grãos. Os valores médios de produção de forragem, produção de lâminas foliares e taxa de lotação foram de 3,6 t MS ha⁻¹, 2,8 t MS ha⁻¹ e 1,95 UA ha⁻¹, respectivamente. No terceiro ciclo de pastejo, foram verificadas diferenças na eficiência de pastejo (50,5 vs. 36,6%) e no consumo de forragem (2,5 vs. 1,7%) com valores superiores para as pastagens inoculadas. A pastagem de trigo fertilizada com 100 kg N ha⁻¹ associada à inoculação é equivalente à adubada com 150 kg N ha⁻¹ sem inoculação para as respostas da pastagem. Para a eficiência de pastejo, massa de forragem consumida e de massa de lâminas foliares consumida, os melhores resultados foram obtidos com a pastagem inoculada.

Palavras-chave: estirpes Ab-V5 e Ab-V6; nitrogênio; produção de forragem; rendimento de grãos; *Triticum aestivum*.

**YIELD OF DUAL PURPOSE WHEAT UNDER SEED INOCULATION WITH
*Azospirillum brasilense***

ABSTRACT

In winter cereal cultivation in order maximize yield, high amounts nitrogen fertilizer are used. The inoculation with plant growth promoting bacteria is able to be an alternative to reduce the costs with fertilization and environmental impacts. This study evaluated the forage yield and grain yield of dual-purpose wheat “BRS Tarumã” inoculated with *Azospirillum brasilense* and fertilized with different levels of nitrogen subjected to cuts and grazing. Was performed initial study under cut conditions in year 2016. In the year 2017 it was tested the 100 kg N ha⁻¹ been associated with inoculation (100+I) indicated as the most suitable under cutting regime was tested, compared to fertilization with 150 kg N ha⁻¹ under grazing by lactating cows. These treatments were chosen based on the results of the initial study. The experimental design in second study was randomized blocks with three replications (piquetes) and repeated measures (grazing cycles). In this study, forage yield, grain yield, pasture characteristics and responses of lactating cows were evaluated. Differences in forage and grain parameters were not detected. Mean values of forage yield, leaf blade production and stocking rate were 3.6 t DM ha⁻¹, 2.8 t DM ha⁻¹ and 1.95 AU ha⁻¹ respectively. In the third grazing cycle differences were found in grazing efficiency (50.5 vs. 36.6 %) and herbage intake (2.5 vs. 1.7%). Wheat pasture fertilized with 100 kg N ha⁻¹ associated with inoculation is equivalent to 150 kg N ha⁻¹ without inoculation in pasture responses. Better values were found with inoculated pasture in grazing efficiency, forage mass intake and leaf blade biomass intake.

Key-words: forage yield; grain yield; nitrogen; strains Ab-V5 and Ab-V6; *Triticum aestivum*;

4.1 INTRODUÇÃO

O trigo tem sido cultivado em vários países com dupla finalidade (forragem e grãos). Essa prática possibilita o fornecimento de alimento volumoso aos rebanhos em períodos de baixa disponibilidade de forragem, sem deixar de ofertar grãos ao mercado. Dessa forma, a utilização de trigo de duplo propósito pode contribuir com a demanda mundial de alimentos e reduzir custos financeiros e ambientais com a exploração de novas áreas de vegetação natural. Além disso, a dupla finalidade possibilita otimizar a produção de grãos ou a extração de forragem verde, mediante redução ou aumento dos ciclos de pastejo de acordo com o que for mais rentável (MARTIN et al., 2013).

No entanto, para que a produtividade seja maximizada e o manejo de duplo propósito seja rentável, faz-se uso de elevadas quantidades de fertilizante nitrogenado. Porém, essa prática resulta em elevação dos custos de produção e impactos ambientais (ABALOS et al., 2014). Nesse contexto, há preocupação dos pesquisadores em desenvolver uma agricultura mais sustentável e menos poluente, sem reduzir a produtividade (COSTA et al., 2015).

Nesse sentido, o uso da inoculação com bactérias diazotróficas como a *Azospirillum brasilense* na cultura do trigo de duplo propósito, pode se configurar como uma alternativa para reduzir o uso de fertilizantes nitrogenados. Essa redução pode ocorrer, em função da contribuição dessas bactérias com parte do nitrogênio (N) necessário para a planta através da fixação biológica de nitrogênio (HUNGRIA et al., 2010). Além disso, a associação dessas bactérias com gramíneas pode melhorar a eficiência dos fertilizantes aplicados, inclusive os nitrogenados (GALINDO et al., 2019). Essa melhoria pode ocorrer através da produção de fitohormônios capazes de estimular o crescimento das raízes (PANKIEVICZ et al., 2015). Esse incremento sobre a área superficial das raízes possibilita a exploração de maior área de solo pela planta e, conseqüentemente, aumenta as quantidades de água e nutrientes absorvidos (DOORNBOS et al., 2012; TIEN et al., 2012).

A maioria dos estudos com a inoculação de bactérias diazotróficas em gramíneas tem sido feitos nas culturas do milho e trigo para produção de grãos (MARKS et al., 2015; GALINDO et al., 2018). Estudos sobre o uso dessas bactérias com trigo de duplo propósito em condições de pastejo são escassos. Dessa forma, objetivou-se com essa pesquisa avaliar

o efeito da inoculação das sementes com a bactéria diazotrófica *A. brasilense* em associação com diferentes níveis de adubo nitrogenado no trigo de duplo propósito cultivar BRS Tarumã, sob condições de corte, selecionando-se o melhor nível de N mais inoculação para ser avaliado sob condições de pastejo com vacas em lactação, quanto à produtividade de forragem e de grãos.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Local do estudo

A experimentação foi conduzida em Santa Maria em uma área experimental de 3500 m² do Setor de Bovinocultura de Leite da Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil. A área apresenta altitude média de 95 m, com latitude de 29° 43' Sul e de longitude 53° 42' Oeste. Antes da condução da experimentação a área experimental vinha sendo cultivada com pastagens de gramíneas forrageiras anuais no inverno e no verão. O solo é classificado como Argissolo Vermelho distrófico arênico (EMBRAPA, 2013). O clima da região é do tipo Cfa, subtropical úmido, de acordo com a classificação de Köppen, sendo as médias das normais climatológicas (Figura 1) de temperatura e precipitação, de abril a outubro, de 140,5 mm/mês e 15,7 °C, respectivamente. As médias meteorológicas do período experimental para precipitação pluviométrica mensal e temperatura média diária foram de 122,8 mm e 15,7 °C para o ano de 2016 e de 162,8 mm e 17,8 °C para o ano de 2017. Os dados observados no período experimental foram obtidos junto à estação meteorológica localizada na Universidade Federal de Santa Maria, situada a aproximadamente 700 m da área experimental (Figura 1). As características químicas do solo (0 – 20 cm) antes da instalação do experimento foram: pH= 6,0; MO= 2,7 %; P= 24,8 mg dm⁻³; K= 0,757 cmol_c dm⁻³; Ca= 5,80 cmol_c dm⁻³; Mg= 2,7 cmol_c dm⁻³; CTC= 12,7 cmol_c dm⁻³, respectivamente.

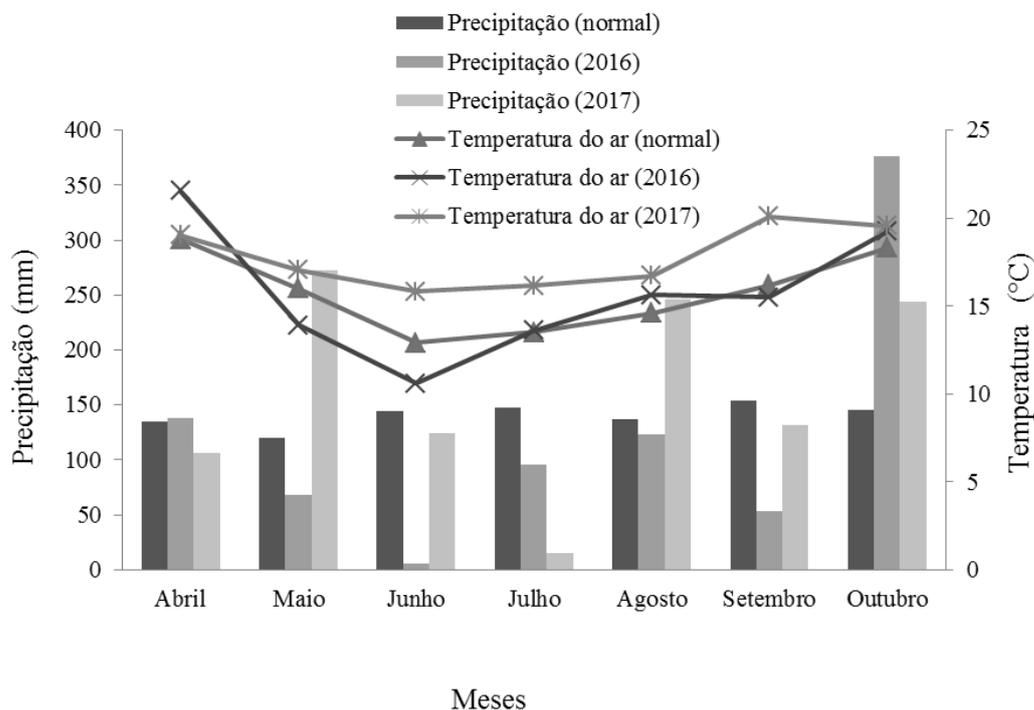


Figura 1- Valores normais de precipitação e temperatura e valores de precipitação e temperatura para os anos agrícolas de 2016 e 2017 (Abril a Outubro). Santa Maria – RS, 2016-2017.

4.2.2 Experimentos

No ano de 2016, conduziu-se um experimento inicial em condições de corte. No ano seguinte realizou-se um segundo estudo sob condições de pastejo. Para a condução do estudo sob condições de corte, dividiu-se uma área de aproximadamente 500 m² em 32 parcelas com dimensões 4 x 3 m e corredores de 1 m de largura. Já para a avaliação em condições de pastejo, dividiu-se uma área de 3000 m² em seis piquetes de aproximadamente 500 m² cada.

4.2.3 Tratamentos e delineamento experimental

No estudo inicial, conduzido em parcelas, o delineamento experimental foi o de blocos ao acaso em esquema fatorial 2 (qualitativo) x 4 (quantitativo) com quatro repetições.

Os fatores qualitativo e quantitativo corresponderam ao uso ou não da inoculação e às doses de N (0, 50, 100 e 150 kg), respectivamente.

Na experimentação em condições de pastejo, o delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com três repetições. Os tratamentos foram a inoculação das sementes de trigo e a fertilização com 100 kg de N ha⁻¹ (IN+100) e ausência de inoculação associada à fertilização com a dose de 150 kg de N ha⁻¹ (NI+150). Em ambas as experimentações o critério de bloqueamento foi a declividade do terreno.

A hipótese deste estudo com animais é confirmar as respostas da experimentação sob regime de corte, e indiretamente com as respostas das vacas, de que a pastagem em que se aplica 100 kg N ha⁻¹ associada à inoculação equivale-se à pastagem adubada com 150 kg N ha⁻¹ sem inoculação.

4.2.4 Experimentação realizada sob condições de corte

A semeadura da cultura foi realizada no dia 20 de abril de 2016. A inoculação das sementes ocorreu aproximadamente duas horas antes do início da semeadura com o produto comercial AzoTotal[®] (inoculante líquido composto de cultura pura de bactérias *Azospirillum brasilense*, estirpes Ab-V5 e Ab-V6, com concentração de 2,0 x 10⁸ UFC/ml), utilizando-se a dose de 500 ml do produto comercial por 100 kg de semente. A densidade de semeadura preconizada foi de 400 sementes viáveis por m².

Para a fertilização nitrogenada, utilizou-se como fonte de nitrogênio a ureia agrícola (46 % de N). As doses de nitrogênio foram divididas igualmente em quatro aplicações, de acordo com cada tratamento, sendo a primeira aos 30 dias após a semeadura e as demais após cada corte. O critério para início dos cortes foi a altura do dossel, em torno de 20 cm, medida com uma régua e um filme de acetato (transparência) com dimensões de 30 x 20 cm e peso aproximado de 25 g colocado sobre o dossel (PEDREIRA, 2002). Em cada parcela foram feitos quatro cortes rente ao solo com o auxílio de um quadro de 25 x 25 cm. Após as amostragens, fez-se o corte das parcelas com um cortador de grama adaptado para altura de resíduo de aproximadamente 10 cm, retirando-se o material cortado com auxílio de

ancinhos. Na sequência foram feitos mais quatro cortes por parcela, rente ao solo, para determinação da massa de forragem residual (estrato inferior). Posteriormente, as amostras foram pesadas e após misturadas, retirando-se uma subamostra para determinação da composição morfológica do trigo, separando-se manualmente em lâmina foliar, colmo+bainha e material senescente. Estes componentes foram secos em estufa com ar forçado a 55°C até atingirem peso constante, para determinação da massa parcialmente seca de cada componente. A produção de forragem no primeiro corte correspondeu à massa disponível do respectivo corte. A produção de forragem no segundo e terceiro corte foi determinada pela subtração entre a massa de forragem do estrato superior e a massa de forragem do estrato inferior do corte anterior. A produção de forragem total foi obtida pelo somatório das produções em cada corte. Para o cálculo da produção de biomassa de lâminas foliares, adotou-se o mesmo procedimento, utilizando-se a massa de lâminas foliares.

Antecedendo o último corte fez-se a estimativa do número de perfilhos por m² por meio da contagem dos perfilhos contidos em uma área de 78,5 cm². Essa área foi delimitada com auxílio de um cilindro de PVC (Polipropileno vinílico) com 5 cm de altura e 10 cm de diâmetro.

A eficiência de uso do nitrogênio para produção de forragem foi determinada pela seguinte equação: $EUN = (PFT_{cf} - PFT_{sf}) / (QNa)$, expressa em kg de MS/kg de N aplicado, em que EUN é a eficiência de uso do N; PFT_{cf}, a produção de forragem total com fertilizante nitrogenado; PFT_{sf}, a produção de forragem total sem fertilizante nitrogenado; e QNa, a quantidade em kg de N aplicado.

Em cada corte foi monitorada a altura do primeiro nó do colmo, que corresponde ao meristema apical. Quando a altura do meristema apical atingiu aproximadamente a altura de 10 cm, os cortes foram interrompidos para que não houvesse remoção dos primórdios florais. A partir do estágio fenológico de emborrachamento e até o início do enchimento de grãos fizeram-se aplicações preventivas de fungicida à base de Trifloxistrobina (100 g/L) e Tebuconazol (200 g/L) a cada 15 dias.

Para estimar a produção de grãos fez-se a colheita manual das plantas em cada parcela. O material colhido foi trilhado, determinando-se o rendimento de grãos ajustados para umidade padrão de 13%. O resíduo obtido após a trilha foi seco em estufa a 55 °C até peso constante para determinação da produção de palha.

4.2.5 Experimentação em condições de pastejo

A semeadura da cultura ocorreu no dia 12 de abril de 2017. Para o processo de inoculação das sementes e fertilização nitrogenada seguiu-se o mesmo protocolo do experimento sob condições de corte. O critério para o início do pastejo foi a altura do dossel, em torno de 20 cm. Antecedendo a entrada (pré-pastejo) e após a saída dos animais (pós-pastejo) dos pastos, fez-se a coleta de amostras da forragem, sendo efetuados 6 cortes por piquete, rente ao solo, com o auxílio de um quadro de metal com dimensões 50 x 50 cm. A forragem das amostras cortadas no pré e pós-pastejo foi homogeneizada, sendo retirada uma subamostra para determinação da composição morfológica do trigo, separando-se em lâmina foliar, colmo + bainha e material senescente. Estes componentes foram secos em estufa com ar forçado a 55°C até atingirem peso constante, para determinação do teor de matéria parcialmente seca, calculando-se, a seguir, a massa de cada componente.

O método de pastejo foi o de lotação rotacionada, com um dia de ocupação. Como animais experimentais foram utilizadas vacas em lactação da raça Holandesa com peso médio de 552 kg (± 56 kg). A produtividade média do rebanho para o período de avaliação foi de 18,5 kg ($\pm 4,5$ kg) de leite por dia. Os animais foram submetidos a duas ordenhas diárias, às 07h 30 min e às 16h, permanecendo nas pastagens de trigo das 9h às 15h e 30 min e das 18 h às 7h. Como complementação alimentar, cada animal recebeu aproximadamente, 1 kg de concentrado para cada 5 litros de leite produzido. Fora das áreas experimentais, as vacas foram mantidas em pastagem da época e mesmo manejo de complementação alimentar.

A taxa de acúmulo de forragem do primeiro pastejo foi calculada a partir da disponibilidade de forragem, dividindo-se pelo número de dias contados a partir da semeadura. A taxa de acúmulo para o segundo e terceiro ciclos de pastejo foi calculada pela diferença entre a massa de forragem de pré com a de pós-pastejo da avaliação anterior, dividindo-se este resultado pelo número de dias de intervalo entre pastejos (ALAVA et al., 2015). A produção de forragem foi obtida somando-se o acúmulo de forragem de cada ciclo de pastejo. O consumo aparente de forragem foi estimado pela subtração entre as massas de forragem de pré e pós-pastejo, dividindo o resultado pela carga animal instantânea (BURNS et al., 1994). A eficiência de pastejo foi estimada através da subtração das massas de forragem de pré e pós-pastejo, dividido pela massa de pré-pastejo e multiplicando-se esse

valor por 100 (HODGSON, 1979). A carga animal foi calculada com base na oferta de forragem, sendo de 6 % (6 kg de forragem seca por 100 kg de peso corporal). Para o cálculo da taxa de lotação, dividiu-se a carga animal pelo número de dias do ciclo de pastejo.

Seguindo-se o protocolo experimental de altura limite do primeiro nó do colmo, a cerca de 10 cm do solo, após o terceiro ciclo de pastejo as pastagens foram diferidas, permitindo que as culturas viessem a produzir grãos. Para a estimativa da produção de grãos, foram coletadas manualmente, em cada piquete, cinco amostras com área de 2 m² cada. O material foi trilhado determinando-se para cada piquete o rendimento de grãos, o peso do hectolitro e a massa de mil grãos ajustados para umidade padrão de 13%. Na ocasião da colheita também se coletaram cinco amostras de 1 m² cada por piquete para determinação do número de espigas por m². Dessa amostra foram coletadas aleatoriamente 15 espigas para determinação do número de grãos por espiga. Posteriormente, essas amostras foram trilhadas, descartando-se os grãos. O resíduo obtido a partir da trilha foi seco em estufa a 55°C para se estimar a produção de palha.

4.2.6 Análise estatística

Os dados do experimento sob condições de corte foram submetidos à análise de variância, valendo-se do teste F de Fisher-Snedecor. Fez-se a comparação das médias, usando-se o teste Tukey a 5% de probabilidade do erro. Para essa análise utilizou-se o procedimento N WAY ANOVA do pacote estatístico SAS (2016). Após essa análise estimaram-se regressões polinomiais para as variáveis avaliadas em função das doses de N. O critério para escolha do modelo foi o coeficiente de determinação (r^2) e o valor da significância (P). O modelo estatístico utilizado foi o seguinte: $Y_{ijk} = \mu + I_i + N_j + I_iN_j + B_k + \epsilon_{ijk}$. Em que, Y_{ijk} representa as variáveis dependentes; μ representa a média das observações; I_i representa o efeito do uso da inoculação ($i = 2$); N_j é o efeito das doses de N ($j = 4$); I_iN_j é o efeito da interação entre inoculação e doses de N; B_k é o efeito de blocos e ϵ_{ijk} é o erro aleatório associado a i -inoculação; j -doses e k -blocos.

Para o estudo sob regime de pastejo, os dados foram submetidos à análise de variância usando-se o teste F. A comparação entre as médias dos ciclos de pastejo foi realizada utilizando-se o teste Tukey a 5% de probabilidade de erro. Para tanto, utilizou-se o procedimento MIXED do pacote estatístico SAS (2016). O modelo estatístico referente às variáveis foi: $Y_{ijk} = \mu + T_i + R_j(T_i) + P_k + (TP)_{ik} + \epsilon_{ijk}$. Em que, Y_{ijk} representa as variáveis dependentes; μ é a média de todas as observações; T_i refere-se aos tratamentos, (pastagens de trigo, $i=2$); $R_j(T_i)$, as repetições (piquetes, $j=3$) dentro dos tratamentos (erro a); P_k ($k=3$) refere-se aos ciclos de pastejo; $(TP)_{ik}$ representa a interação entre os tratamentos e pastejos; ϵ_{ijk} refere-se ao resíduo (erro b).

4.3 RESULTADOS

4.3.1. Experimentação sob regime de corte

4.3.1.1 Número de perfilhos, produção de forragem e eficiência de uso do nitrogênio

No trigo inoculado, tanto sem adubo nitrogenado quanto para as diferentes doses de N, houve aumento ($P \leq 0,05$) do número de perfilhos, verificando-se efeito linear ascendente (Tabela 1).

Houve aumento ($P \leq 0,05$) da produção de lâminas foliares em todas as pastagens inoculadas. As margens de aumento foram menores nas doses mais elevadas de N. Também para produção de forragem, houve efeito ($P \leq 0,05$) da inoculação com aumento médio nas pastagens de aproximadamente 25%.

Para a eficiência de uso do nitrogênio na produção de forragem total, foram obtidos maiores valores nas pastagens inoculadas. Entre as doses de N, houve maior ($P \leq 0,05$) eficiência de uso até a dose de 100 kg de N ha⁻¹. No trigo não inoculado a melhor eficiência de uso foi atingida com a dose de 50 kg de N ha⁻¹. Nessas pastagens não houve diferença ($P > 0,05$) entre as doses de 100 e 150 kg de N ha⁻¹.

4.3.1.2 Rendimento de grãos e produção de palha

Para o rendimento de grãos não houve efeito de inoculação. Houve aumento linear da produção de grãos em função das doses crescentes de N.

Quanto à produção de palha, houve efeito ($P \leq 0,05$) da inoculação na pastagem não adubada com N e nas que receberam 50 e 100 kg de N ha⁻¹. Verificou-se comportamento linear ascendente para a produção de palha em função do aumento das doses de adubo nitrogenado.

Houve aumento da produção de palha em todos os níveis de N, sendo maior ($P \leq 0,05$) no trigo inoculado até 100 kg de N ha⁻¹. Entre as doses de N, não houve diferença para produção de palha de trigo inoculado entre os níveis de 100 e 150 kg de N ha⁻¹.

4.3.2 Experimentação sob condições de pastejo

4.3.2.1 Massa de forragem ao pré e pós-pastejo

Não houve diferença para as massas de forragem ao pré e pós-pastejo (Tabela 2) para o trigo inoculado e adubado com 100 kg de N ha⁻¹, se comparado ao trigo fertilizado com 150 kg de N ha⁻¹. Entre os ciclos de pastejo, houve aumentos na massa de forragem ao pós-pastejo com maior valor no terceiro ciclo de pastejo.

Com relação à massa de lâminas foliares e colmos, não houve diferença entre os pastos, exceto no terceiro ciclo de pastejo, com maior ($P > 0,05$) valor na massa de pós-pastejo do trigo não inoculado. Comparando-se os ciclos de pastejo, menores massas de lâminas e maiores de colmos foram verificadas na terceira avaliação para as duas pastagens. Quanto à massa de material senescente, não houve diferença entre os pastos. Aumentos significativos na massa desse componente foram verificados com o decorrer do período de utilização nas duas pastagens.

Para a relação lâmina foliar/colmo+bainha ao pré e pós-pastejo, houve declínio acentuado no terceiro ciclo de pastejo, tanto na pastagem inoculada quanto não inoculada.

Para as variáveis resposta de produtividade dos pastos (Tabela 3), não houve diferença entre elas. Para o tempo dos ciclos de pastejo, os maiores ($P \leq 0,05$) valores foram verificados no primeiro pastejo. A taxa de acúmulo de lâminas foliares e a produção de lâminas foliares de trigo foram maiores no início da utilização do pasto. Também para a produção de forragem, os valores foram maiores ($P \leq 0,05$) no primeiro ciclo de pastejo, diminuindo nos demais.

Para as variáveis resposta associadas aos animais experimentais, verificaram-se maiores ($P \leq 0,05$) valores para a eficiência de pastejo, consumo de forragem e de lâminas foliares para o trigo inoculado no terceiro ciclo de pastejo. Entre os ciclos de pastejo, foram verificados maiores valores para essas variáveis no primeiro e segundo ciclos, em ambos os pastos.

Com relação à oferta de lâminas foliares e de forragem, não houve diferença entre as pastagens. Os valores médios foram de 3,9 e 5,7%, respectivamente. Para a taxa de lotação, não foram observadas diferenças entre as pastagens. Observou-se entre elas um incremento nas taxas de lotação ($P \leq 0,05$) do primeiro para o segundo e deste para o terceiro ciclo de pastejo.

Quanto às variáveis rendimento de grãos, massa de mil grãos, PH, número de espigas e produção de palha, não houve diferença entre o trigo fertilizado com 150 kg de N ha⁻¹ e o adubado com 100 kg de N ha⁻¹ e inoculado.

4.4 DISCUSSÃO

4.4.1 Estudo sob regime de corte

O aumento do número de perfilhos com o uso da inoculação está associado a vários fatores como a síntese de hormônios vegetais, de óxido nítrico, de poliaminas e ao processo de fixação biológica de N pelas bactérias (CASSÁN et al., 2011).

Dentre os hormônios vegetais sintetizados por *A. brasilense* destaca-se o ácido indolacético (auxina). Um dos precursores usados no processo de síntese desse hormônio vegetal é o óxido nítrico, produzido por *A. brasilense* (COHEN et al., 2010). Assim, no momento da colonização da rizosfera e do interior das raízes pela bactéria, a concentração do fitohormônio auxina é aumentada tanto na superfície quanto no interior desse órgão, implicando em maior emissão de raízes laterais e adventícias (POP et al., 2011). Outro hormônio vegetal produzido por *Azospirillum* sp. é a citocinina. Esse hormônio estimula a alongação de raízes e emissão de perfilhos por ser um regulador da divisão e diferenciação celular (IVANOV et al., 2018). Dessa forma, a planta inoculada sofre alterações morfológicas em suas raízes, possibilitando a absorção de maiores quantidades de água e nutrientes. Além disso, há o aumento da disponibilidade de N via fixação biológica por *A. brasilense* (HUNGRIA et al., 2010). Nessas condições, de melhor nutrição vegetal e maior diferenciação celular, há estímulo à formação de novos perfilhos (PIETRO-SOUZA et al., 2013).

Verificou-se também efeito associativo entre adubação e inoculação resultando em aumento do número de perfilhos em função das doses de N, condição também confirmada por Espíndula et al. (2010) ao avaliarem cultivares de trigo para produção de grãos sob doses distintas de nitrogênio.

Para a produção de lâminas foliares, o efeito positivo da inoculação está associado à ação do *A. brasilense* na indução de alterações morfológicas nas raízes, como a formação de um número maior de pêlos radiculares pela ação do fitohormônio ácido indolacético (AIA), sintetizado por estirpes do gênero *Azospirillum* (COY et al., 2014). Essa alteração possibilita ao vegetal maior absorção de água e nutrientes do solo (HUNGRIA et al., 2010). Esse fato é confirmado pelo aumento da eficiência de uso do nitrogênio observado no trigo inoculado (Tabela 1). Em decorrência disso, há maior emissão e expansão de lâminas foliares e consequentemente, maior produção de biomassa de lâminas foliares e de forragem (GUNTER et al., 2018).

Destaca-se que o efeito da inoculação com *A. brasilense* foi maior nas distintas variáveis da massa de forragem para o trigo em que não se aplicou adubo nitrogenado. Várias pesquisas confirmam esse resultado (GALINDO et al., 2017; GALINDO et al., 2019). Ressalta-se, no entanto, que no presente estudo há respostas positivas da inoculação nas pastagens em que se aplicaram distintas doses de N, embora proporcionalmente menores

se comparado às aquelas não adubadas. Considerando a pastagem sem adubo nitrogenado e para a média das pastagens adubadas, os aumentos na massa de forragem devido à inoculação foram de 36 e 17 %; para produção de forragem foram de 26 e 15%, respectivamente.

Destaca-se a não diferença entre as pastagens, adubadas com 100 kg de N ha⁻¹ e inoculadas em relação à adubada com 150 kg de N ha⁻¹, quanto à produção de lâminas foliares, produção de forragem e de palha. Nas pastagens não inoculadas, houve diferença entre essas doses de N para as referidas variáveis. Esse resultado, de não diferença na produção de biomassa entre as doses de 100 e 150 kg de N ha⁻¹, demonstra que o uso da inoculação de sementes de trigo com *A. brasilense* implicou em economia de 50 kg de N ha⁻¹.

Para a produção de grãos, a ausência de efeito da inoculação é atribuída ao aumento do número de perfilhos e, em consequência, à maior competição por fotoassimilados entre perfilhos de uma mesma planta principal (ESPÍNDULA et al., 2010). Esse resultado converge com o obtido por Rodrigues et al., (2014) em ambiente controlado. Esses autores observaram que a inoculação de *Azospirillum* incrementou a produção de folhas, no entanto, não houve efeito sobre a produtividade de grãos de trigo. O crescimento linear da produção de grãos associada ao aumento das doses de N é similar a outros estudos, considerando como limites de fertilização valores próximos à dose de 150 kg N ha⁻¹ (GALINDO et al., 2019; RONSANI et al., 2018; HENZ et al., 2016; HASTENPFLUG et al., 2011).

4.4.2 Experimentação sob regime de pastejo

Conforme o manejo proposto houve possibilidade de serem feitos três ciclos de pastejo. Os ciclos de pastejo mais longos foram verificados na primeira utilização em função do tempo decorrido, a partir da semeadura do trigo. Para os demais ciclos de pastejo os valores foram menores, sendo em média de 31 dias. Ciclos de pastejo próximos a 30 dias para trigo estão associados ao melhor valor nutritivo e desempenho animal (QUATRIN et al., 2017).

As taxas de acúmulo de lâminas foliares não variaram nos dois primeiros ciclos de pastejo, havendo declínio no terceiro ciclo. A produção de biomassa de lâminas foliares também diminuiu com o decorrer da utilização. Esse resultado está associado à maturação das plantas com aumento na participação de colmos e diminuição de lâminas foliares (Tabela 2). A ausência de diferença verificada entre os pastos aponta contribuição equivalente de lâminas foliares, considerando ter recebido 50 kg de N ha⁻¹a menos em relação ao não inoculado. Esse resultado pode ser atribuído ao efeito de promoção de crescimento de *A. brasilense* sobre o sistema radicular, possibilitando maior absorção de nutrientes associado ao aporte adicional de nitrogênio fixado biologicamente, contribuindo para o aumento da emissão de aflhos (DÍAZ-ZORITA & CANIGIA, 2009).

Para taxa de acúmulo de forragem, verificou-se valor médio de 31 kg de MS ha⁻¹ dia⁻¹, sendo similar ao obtido por Meinerz et al. (2012) com trigo BRS Tarumã submetido a três cortes e adubado com 120 kg de N ha⁻¹. Para a produção de forragem, os valores foram menores no segundo e no terceiro ciclo de pastejo. Essa diferença deve-se ao menor intervalo entre os ciclos de pastejo. A produção média de 3,6 t ha⁻¹ é inferior à obtida por Meinerz (2012) na mesma região, de 5,8 t ha⁻¹, com a mesma cultivar. Valor de produção de forragem, de 2,7 t ha⁻¹, foi obtido por Ronsani et al. (2018) com trigo BRS Tarumã submetido a dois cortes e adubado com 120 kg de N ha⁻¹. Com relação à eficiência de pastejo, os valores são altos no início da utilização, declinando nos ciclos seguintes. A maior eficiência de pastejo e o maior consumo de forragem e de lâminas foliares no trigo inoculado no terceiro ciclo de utilização podem estar associados ao efeito de *A. brasilense* em melhorar o valor nutritivo do pasto, mediante aumento na concentração de nitrogênio (AGUIRRE et al., 2018). O valor médio de eficiência de pastejo próximo a 50% indica que os animais não tiveram restrição no consumo de forragem (PARSONS E CHAPMAN, 2000) e que houve condições adequadas para as vacas selecionarem a dieta (DELAGARDE et al., 2001).

As diferenças verificadas para eficiência de pastejo e consumo de forragem, com maior valor no trigo inoculado, não podem ser atribuídas à oferta de lâminas foliares que, em média, manteve-se próxima do valor preconizado. Para oferta de lâminas foliares houve declínio, naturalmente esperado, no decorrer da utilização do pasto, em função da maturação das plantas.

Os aumentos obtidos para as taxas de lotação com o decorrer da utilização devem-se à redução no tempo de cada ciclo de pastejo. Esse menor tempo é resultante da maior alongação dos colmos nesse período. Esse comportamento permite que a altura preconizada para a utilização do pasto seja atingida em menos tempo, o que reduz o intervalo de descanso, aumentando as taxas de lotação.

A ausência de diferenças verificada para o rendimento de grãos e massa de mil grãos indica equivalência entre a pastagem em que se aplicou 100 kg de N ha⁻¹ mais inoculação em relação àquela em que se aplicou 150 kg de N ha⁻¹ sem inoculação. Esses resultados apontam que houve efeito positivo da inoculação com bactérias *A. brasilense*, mantendo o número de perfilhos por m² semelhante entre os tratamentos, possivelmente em função da sua contribuição com a síntese de auxinas (BASHAN e BASHAN, 2010), melhorando absorção de água e nutrientes, somada ao N adicional disponibilizado via FBN (NUNES et al., 2015; HUNGRIA et al., 2010).

A não diferença para o PH do trigo aponta que o uso de *A. brasilense* manteve a disponibilidade de nitrogênio elevada evitando que houvesse partição de fotoassimilados para formação de estruturas vegetativas em detrimento de grãos no trigo adubado com 100 kg de N ha⁻¹ mais inoculação, comparado com aquele em que se aplicou 150 kg N sem inoculação (PEREIRA et al., 2017). O valor médio de 75 kg hL⁻¹, abaixo do ideal, obtido nesse estudo está associado às precipitações pluviométricas acima das normais (SILVA et al., 2018) para a época próxima à colheita (Figura 1). Outro fator que contribuiu para o baixo valor de PH foi a intensidade de utilização, com três pastejos, uma vez que as desfolhas sucessivas das plantas reduzem a área fotossintética, e conseqüentemente, a produção e o acúmulo de fotoassimilados (CARLETTO et al., 2015). Essa redução da área fotossintética ocorreu do segundo para o terceiro pastejo, mediante diminuição da massa de lâminas foliares ao pré e pós-pastejo (Tabela 2).

Atribui-se à equivalência na produção de palha entre o trigo inoculado e adubado com 100 kg de N ha⁻¹ e o que recebeu a dose de 150 kg de N ha⁻¹, o fato de não haver diferenças entre a massa de lâminas foliares (Tabela 2), produção de forragem e de lâminas foliares (Tabela 3) entre os pastos, confirmando a contribuição da inoculação com 50 kg de N ha⁻¹ sobre o desenvolvimento de estruturas vegetativas.

4.4.3 Relações entre as experimentações sob condições de corte e pastejo

No experimento sob condições de corte os valores de número de perfilhos por m², produção total de forragem, produção total de biomassa de lâminas foliares, rendimento de grãos e produção de palha (Tabela 1) são equivalentes entre as adubações de 100 kg de N ha⁻¹ com inoculação e a fertilização com 150 kg de N ha⁻¹ sem inoculação.

Para o experimento sob condições de pastejo ocorre o mesmo comportamento de equivalência para as variáveis relacionadas à massa de forragem, produção de forragem, produção de grãos e produção de palha para esses níveis de adubação nitrogenada.

Com base nesses resultados confirma-se que há equivalência entre a adubação com 100 kg de N ha⁻¹ mais inoculação e a adubação com 150 kg de N ha⁻¹ sem inoculação sob condições de pastejo com vacas em lactação. Os valores obtidos indicam que, entre as doses de N testadas, o melhor nível de N para trigo de duplo propósito cultivar BRS Tarumã quando inoculado é o de 100 kg de N ha⁻¹.

4.5 CONCLUSÃO

O uso da inoculação com a bactéria *Azospirillum brasilense*, estirpes Ab-V5 e Ab-V6 em sementes de trigo de duplo propósito BRS Tarumã em condições de corte incrementa a produção de forragem e de palha, não interferindo na produção de grãos.

Sob condições de pastejo, a pastagem adubada com 100 kg de N ha⁻¹ e inoculada com *A. brasilense* equivale-se à adubada com 150 kg de N ha⁻¹ para as variáveis associadas à produção de forragem e de grãos. Melhores resultados para eficiência de pastejo e consumo de lâminas foliares são obtidos no trigo inoculado.

4.6 REFERÊNCIAS

- ABALOS, D. et al. Meta-analysis of the effect of urease and nitrification inhibitors on crop productivity and nitrogen use efficiency. **Agricultural, Ecosystem & Environmental**. v. 189, n. 1, p. 136-144, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.03.036>.
- ALAVA, E. I. et al. Rotational Stocking of Tifton 85 Bermudagrass and Supplementation Level Effects on Performance of Replacement Dairy Heifers. **Agronomy journal**, v. 107, n. 1, p. 388-394, 2015. DOI: 10.2134/agronj14.0376.
- AGUIRRE, P. F. et al. Valor nutritivo da Coastercross-1 inoculada com *Azospirillum brasilense*. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 70, n. 6, p. 1997-2006, 2018. DOI:10.1590/1678-4162-9977.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 38, de 30 de novembro de 2010. **Regulamento técnico do trigo**. Diário Oficial da União, Brasília.
- BASHAN, Y. E DE-BASHAN, L. E. How the Plant Growth-Promoting Bacterium *Azospirillum* Promotes Plant Growth - A Critical Assessment. **Advances in Agronomy**, v. 108, n. 1, 77-136, 2010. DOI:10.1016/s0065-2113(10)08002-8.
- BURNS, J. C. Measurement of forage intake. In: FAHEY JR., G.C. (Ed.) **Forage quality, evaluation and utilization**. Winsconsin: American Society of Agronomy. p. 494-532, (1994).
- CARLETTO, R. et al. Efeito do manejo de cortes sucessivos sobre a produção e qualidade de grãos de trigo duplo propósito. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, v. 13, n. 1, p. 127-135, 2015. DOI:10.7213/academica.13.fc.ao13.
- CASSÁN, F. et al. Basic and Technological Aspects of Phytohormone Production by Microorganisms: *Azospirillum* sp. as a Model of Plant Growth Promoting Rhizobacteria. **Bacteria in Agrobiolgy: Plant Nutrient Management**, p. 141-182, 2011. DOI:10.1007/978-3-642-21061-7_7
- COHEN, M. et al. Nitric oxide signaling by plant-associated bacteria. In: Hayat S, Mori M, Pichtel J, Ahmad A (eds) Nitric oxide in plant physiology. Wiley-VCH, Weinheim, Germany, p. 161-172, 2010.
- COSTA, R. R. G. F. et al. Efficiency of inoculant with *Azospirillum brasilense* on the growth and yield of second-harvest maize. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 3, p. 304-311, 2015. DOI:10.1590/1983-40632015v4534593.
- COY, M. R. et al. Bacterial Inoculant Treatment of Bermudagrass Alters Ovipositional Behavior, Larval and Pupal Weights of the Fall Armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). **Environmental Entomology**, v. 46, n. 4, p. 831-838, 2017. doi:10.1093/ee/nvx102.
- DELAGARDE, R. et al. Ingestion de l'herbe par les ruminants au pâturage. **Fourrages**, v. 166, n. 1, p. 189-212, 2001.

DÍAZ-ZORITA, M.; FERNANDEZ-CANIGIA, M. V. Field performance of a liquid formulation of *Azospirillum brasilense* on dryland wheat productivity. **European Journal of Soil Biology**, v. 45, n. 1, p. 3-11, 2009. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2008.07.001.

DOORNBOS, R. F. et al. Impact of root exudates and plant defense signaling on bacterial communities in the rhizosphere. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 32, n. 1, p. 227-243, 2012. DOI: [http:// 10.1007/s13593-011-0028-y](http://10.1007/s13593-011-0028-y).

EMBRAPA. **The Brazilian soil classification system**, 3th ed. Rio de Janeiro, Brazil: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2013.

ESPINDULA, M. et al. Doses e formas de aplicação de nitrogênio no desenvolvimento e produção da cultura do trigo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 1, p. 1404-1411, 2010.

GALINDO, F. S. et al. Nitrogen fertilization efficiency and wheat grain yield affected by nitrogen doses and sources associated with *Azospirillum brasilense*. **Acta Agriculturae Scandinavica**, v. 69, n. 7, p. 606-617, 2019. DOI:10.1080/09064710.2019.1628293.

GALINDO, F. S. et al. Technical and Economic Viability of Corn with *Azospirillum brasilense* Associated with Acidity Correctives and Nitrogen. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 3, p. 213-227, 2018. DOI:10.5539/jas.v10n3p213.

GALINDO, F. S. et al. Wheat yield in the Cerrado as affected by nitrogen fertilization and inoculation with *Azospirillum brasilense*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 9, p. 794-805, 2017. DOI: 10.1590/s0100-204x2017000900012.

GUNTER, P. et al. Digestibility and N-use efficiency of bermudagrass treated with plant growth-promoting rhizobacteria or N fertilizer. **Journal of Animal Science**, v. 96, n. 1, p. 210-211, 2018. DOI:10.1093/jas/sky404.456.

HASTENPFLUG, M. et al. Cultivares de trigo duplo propósito submetidos ao manejo nitrogenado e a regimes de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 63, n. 1, p. 196-202, 2011. DOI:10.1590/s0102-09352011000100029.

HENZ, É. L. et al. Dual purpose wheat production with different levels of nitrogen topdressing. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 2, p. 1091-1100, 2016. DOI:10.5433/1679-0359.2016v37n2p1091.

HODGSON, J. Nomenclature and definitions in grazing studies. **Grass and Forage Science**, v. 34, n. 1, p. 11-18, 1979.

HUNGRIA, M. et al. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant and Soil**, v. 331, n. 1, p. 413-425, 2010. DOI:10.1007/s11104-009-0262-0.

IVANOV, V. B. et al. Cytokinins regulate root growth through its action on meristematic cell proliferation but not on the transition to differentiation. **Functional Plant Biology**, v. 45, n. 2, p. 215-221, 2018. DOI:10.1071/fp16340.

MARKS, B. B. et al. Growth promotion by inoculation with *Azospirillum brasilense* and metabolites of *Rhizobium tropici* enriched on lipo-chitoooligosaccharides (LCOs). **AMB Express**, v. 5, n. 1, p. 71-82. 2015. DOI: 10.1186/s13568-015-0154-z.

MARTIN, T. N. et al. Importância da relação entre caracteres em trigo duplo propósito no melhoramento da cultura. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 6, p. 1932-1940, 2013.

MEINERZ, G. R. (2012). **Avaliação de cereais de estação fria de duplo propósito em pastejo com bovinos leiteiros** (Tese de doutorado). Universidade Federal de Santa Maria, Rio grande do Sul, RS, Brasil.

MEINERZ, G. R. et al. Produtividade de cereais de inverno de duplo propósito na depressão central do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, n. 4, p. 873-882, 2012. DOI:10.1590/S1516-35982012000400007.

NUNES, P. H. M. P. et al. Produtividade do trigo irrigado submetido à aplicação de nitrogênio e à inoculação com *Azospirillum brasilense*. **Revista Brasileira de Ciência Do Solo**, v. 39, n. 1, p. 174-182, 2015. DOI:10.1590/01000683rbc20150354.

PANKIEVICZ, V. C. S. et al. Robust biological nitrogen fixation in a model grass-bacterial association. **The Plant Journal**, v. 81, n. 6, p. 907-919, 2015. DOI:10.1111/tpj.12777.

PARSONS, A. J.; CHAPMAN, D. F. The principles of pasture growth and utilization. In: Hopkins, A. (ed.). **Grass: its production & utilization**. 3th ed. Oxford: Blackwell Science, 2000. p.31-89.

PEDREIRA, C. G. S. 2002. Avanços metodológicos na avaliação das pastagens. Disponível em:

<<http://javali.fcav.unesp.br/sgcd/Home/departamentos/zootecnia/ANACLAUDIARUGGIERI/termospedreira.pdf>>. Acesso em: 30 de janeiro de 2020.

PEREIRA, L. C. et al. Rendimento do trigo (*Triticum aestivum*) em resposta a diferentes modos de inoculação com *Azospirillum brasilense*. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 1, p. 105-113, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.19084/RCA16089>.

PIETRO-SOUZA, W. et al. Desenvolvimento inicial de trigo sob doses de nitrogênio em Latossolo Vermelho de Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 6, p. 575-580, 2013. DOI: 10.1590/S1415-43662013000600001.

POP, T. I. et al. Auxin Control in the Formation of Adventitious Roots. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 39, n. 1, p. 307-316, 2011. DOI:10.15835/nbha3916101.

QUATRIN, M. P. et al. Response of dual-purpose wheat to nitrogen fertilization and seed inoculation with *Azospirillum brasilense*. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 43, n. 1, p. 1-10, 2019. DOI:10.1590/1413-7054201943027718.

QUATRIN, M. P. et al. Produtividade de genótipos de trigo duplo propósito submetidos ao pastejo com vacas em lactação. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 69, n. 6, p. 1615-1623, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/1678-4162-9470>.

RODRIGUES, L. F. O. S. et al. Características agronômicas do trigo em função de *Azospirillum brasilense*, ácidos húmicos e nitrogênio em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 31-37, 2014. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662014000100005>.

RONSANI, S. C. et al. Adubação nitrogenada na produção de grãos e matéria seca de cultivares de trigo de duplo propósito. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 17, n. 2, p. 174-181, 2018. DOI: 10.5965/223811711722018174.

SAS INSTITUTE, SAS, **Studio user's guide version 3.5**, Cary: SAS Institute, 2016. 302p.

SILVA, E. R. et al. Épocas de semeadura do trigo para a região centro-sul mato-grossense. *Journal of Neotropical Agriculture*, v. 5, n. 1, p. 23-27, 2018. DOI:10.32404/rean.v5i1.1762.

TIEN, T. M. et al. The potential contribution of plant growth promoting bacteria to reduce environmental degradation - a comprehensive evaluation. **Applied Soil Ecology**, v. 61, n. 1, p. 171-189, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.09.003>.

Tabela 1 – Produção total de forragem, produção total de biomassa de lâminas foliares, número de perfilhos por m², rendimento de grãos e produção de palha para trigo de duplo propósito inoculado com *Azospirillum brasilense* e doses crescentes de nitrogênio sob condições de corte. Safra 2016. Santa Maria, RS, 2017.

| Inoculação | Doses de N | | | | SEM | Regressão |
|--|-------------------|---------------------|----------------------|---------------------|-----|--|
| | 0 | 50 | 100 | 150 | | |
| Número de perfilhos por m ² | | | | | | |
| Com | 580 ^{Ac} | 595 ^{Ac} | 650 ^{Ab} | 712 ^{Aa} | 0,2 | Y= 0,95*N+569,0 (r ² = 0,94; P= 0,003) |
| Sem | 450 ^{Bc} | 482 ^{Bc} | 570 ^{Bb} | 657 ^{Ba} | | Y= 1,42*N+433,4 (r ² = 0,96; P= 0,003) |
| Produção total de forragem (t de MS ha ⁻¹) | | | | | | |
| Com | 2,9 ^{Ac} | 3,9 ^{Ab} | 4,7 ^{Aa} | 5,2 ^{Aa} | 0,1 | Y= 0,0154*N+2,9 (r ² =0,98; P< 0,001) |
| Sem | 2,5 ^{Bc} | 3,1 ^{Bb} | 3,4 ^{Bb} | 4,1 ^{Ba} | | Y= 0,0104*N+2,5 (r ² = 0,99; P< 0,001) |
| Produção total de lâminas foliares (t de MS ha ⁻¹) | | | | | | |
| Com | 2,4 ^{Ac} | 2,7 ^{Ab} | 3,1 ^{Aa} | 3,4 ^{Aa} | 0,6 | Y= 0,0068*N+2,4 (r ² = 0,96; P< 0,001) |
| Sem | 1,3 ^{Bc} | 2,2 ^{Bb} | 2,4 ^{Bb} | 2,7 ^{Ba} | | Y= 0,0088*N+1,3 (r ² = 0,98; P< 0,001) |
| Eficiência de uso do nitrogênio para produção de forragem total (kg de MS ha ⁻¹ /kg de N) | | | | | | |
| Com | - | 18,72 ^{Aa} | 17,82 ^{Aab} | 15,21 ^{Ab} | 0,1 | Y= -0,0351*N+20,76 (r ² = 0,93; P< 0,001) |
| Sem | - | 13,49 ^{Ba} | 10,16 ^{Bb} | 10,48 ^{Bb} | | Y= -0,0101*N+11,72 (r ² = 0,63; P< 0,001) |
| Rendimento de grãos (t ha ⁻¹) | | | | | | |
| - | 0,5 ^b | 0,8 ^{ab} | 1,1 ^a | 1,4 ^a | 0,3 | Y= 0,006*N+0,5 (r ² = 0,91; P= 0,004) |
| Produção de palha (t de MS ha ⁻¹) | | | | | | |
| Com | 3,4 ^{Ac} | 4,7 ^{Ab} | 5,4 ^{Aa} | 5,7 ^{Aa} | 0,6 | Y= 0,02*N+3,4 (r ² = 0,98; P< 0,001) |
| Sem | 2,6 ^{Bd} | 3,4 ^{Bc} | 4,8 ^{Bb} | 5,6 ^{Aa} | | Y= 0,15*N+2,6 (r ² = 0,92; P< 0,001) |

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, diferem entre si a 5% de probabilidade de erro. SEM= erro padrão da média.

Tabela 2 - Massa de forragem e massa dos componentes estruturais de trigo de duplo propósito inoculado com *Azospirillum brasilense* + 100 kg de N ha⁻¹ e não inoculado + 150 kg de N ha⁻¹ em condições de pastejo com vacas em lactação. Santa Maria, RS, 2017.

| Tratamento | Pastejos | | | | | | | | | |
|--|------------------|-------------------|------------------|-------|------|--------------------|-------------------|-------------------|-------|------|
| | 1º | | | | | 2º | | | | |
| | 1º | 2º | 3º | Média | SEM | 1º | 2º | 3º | Média | SEM |
| | Pré-pastejo | | | | | Pós-pastejo | | | | |
| Massa de forragem (t MS ha ⁻¹) | | | | | | | | | | |
| INOC+100 | 1,9 | 1,6 | 1,8 | 1,8 | 0,80 | 0,5 ^b | 0,8 ^b | 0,9 ^a | 0,7 | 0,88 |
| NINOC+150 | 1,8 | 1,6 | 1,7 | 1,7 | 0,84 | 0,7 ^b | 0,7 ^b | 1,1 ^a | 0,8 | 0,74 |
| SEM | 0,62 | 0,76 | 0,88 | | | 0,64 | 0,78 | 0,90 | | |
| Lâmina foliar (t MS ha ⁻¹) | | | | | | | | | | |
| INOC+100 | 1,5 ^a | 1,2 ^b | 0,8 ^c | 1,2 | 0,47 | 0,3 ^{Aa} | 0,4 ^{Aa} | 0,1 ^{Bb} | 0,2 | 0,63 |
| NINOC+150 | 1,4 ^a | 1,2 ^a | 0,8 ^b | 1,1 | 0,47 | 0,3 ^{Aab} | 0,4 ^{Aa} | 0,2 ^{Ab} | 0,3 | 0,40 |
| SEM | 0,68 | 0,40 | 0,21 | | | 0,46 | 0,33 | 0,16 | | |
| Colmo+bainha (t MS ha ⁻¹) | | | | | | | | | | |
| INOC+100 | 0,3 ^b | 0,2 ^b | 0,7 ^a | 0,4 | 0,67 | 0,3 ^b | 0,2 ^b | 0,4 ^a | 0,2 | 0,56 |
| NINOC+150 | 0,3 ^b | 0,2 ^b | 0,6 ^a | 0,4 | 0,67 | 0,1 ^b | 0,1 ^b | 0,5 ^a | 0,3 | 0,29 |
| SEM | 0,20 | 0,15 | 0,32 | | | 0,39 | 0,20 | 0,28 | | |
| Material senescente (t MS ha ⁻¹) | | | | | | | | | | |
| INOC+100 | 0,1 ^b | 0,2 ^{ab} | 0,2 ^a | 0,2 | 0,55 | 0,1 ^b | 0,2 ^b | 0,4 ^a | 0,2 | 0,46 |
| NINOC+150 | 0,1 ^c | 0,2 ^b | 0,3 ^a | 0,2 | 0,55 | 0,2 ^b | 0,2 ^b | 0,4 ^a | 0,3 | 0,44 |
| SEM | 0,25 | 0,56 | 0,70 | | | 0,35 | 0,23 | 0,60 | | |
| Relação lâmina foliar/colmo+bainha | | | | | | | | | | |
| INOC+100 | 5,2 ^a | 6,5 ^a | 1,2 ^b | 4,3 | 0,4 | 1,6 ^a | 2,1 ^a | 0,2 ^b | 1,3 | 0,3 |
| NINOC+150 | 4,9 ^a | 6,3 ^a | 1,3 ^b | 4,2 | 0,5 | 1,2 ^b | 2,2 ^a | 0,3 ^b | 1,2 | 0,4 |
| SEM | 0,4 | 0,5 | 0,6 | | | 0,2 | 0,1 | 0,3 | | |

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, diferem entre si a 5% de probabilidade de erro. SEM= erro padrão da média; INOC+100= trigo inoculado com *Azospirillum brasilense* + 100 kg de N ha⁻¹; NINOC+150= trigo não inoculado + 150 kg de N ha⁻¹.

Tabela 3 - Produtividade e resposta animal para trigo de duplo propósito inoculado com *Azospirillum brasilense* + 100 kg de N ha⁻¹ e não inoculado + 150 kg de N ha⁻¹ em condições de pastejo com vacas em lactação. Santa Maria, RS, 2017.

| Tratamento | Pastejos | | | Total*/Média | SEM |
|--|--------------------|--------------------|--------------------|--------------|-----|
| | 1° | 2° | 3° | | |
| Tempo de cada ciclo de pastejo (dias) | | | | | |
| INOC+100 | 57 ^a | 32 ^b | 28 ^b | 39 | 2,5 |
| NINOC+150 | 60 ^a | 34 ^b | 32 ^b | 42 | 2,9 |
| SEM | 1,2 | 1,3 | 1,7 | - | - |
| Taxa de acúmulo diário de lâminas foliares (kg MS ha ⁻¹ dia ⁻¹) | | | | | |
| INOC+100 | 27 ^a | 29 ^a | 16 ^b | 24 | 2,7 |
| NINOC+150 | 23 ^a | 27 ^a | 13 ^b | 21 | 2,0 |
| SEM | 1,7 | 1,9 | 1,5 | - | - |
| Produção de biomassa de lâminas foliares (t MS ha ⁻¹) | | | | | |
| INOC+100 | 1,5 ^a | 1,0 ^b | 0,5 ^c | 3,0* | 0,7 |
| NINOC+150 | 1,4 ^a | 0,9 ^b | 0,4 ^c | 2,7* | 0,3 |
| SEM | 0,6 | 0,7 | 0,4 | 0,9 | - |
| Taxa de acúmulo diário de forragem (kg MS ha ⁻¹ dia ⁻¹) | | | | | |
| INOC+100 | 32 ^a | 35 ^a | 34 ^a | 33 | 1,9 |
| NINOC+150 | 30 ^a | 25 ^a | 32 ^a | 29 | 2,1 |
| SEM | 7,2 | 3,1 | 4,7 | - | - |
| Produção de forragem (t MS ha ⁻¹) | | | | | |
| INOC+100 | 1,6 ^a | 1,1 ^b | 1,0 ^b | 3,7* | 0,9 |
| NINOC+150 | 1,6 ^a | 0,9 ^c | 1,0 ^b | 3,5* | 1,2 |
| SEM | 1,0 | 1,4 | 1,1 | 1,1 | - |
| Eficiência de pastejo (% da massa de forragem inicial) | | | | | |
| INOC+100 | 72,8 ^{Aa} | 50,5 ^{Ab} | 50,5 ^{Ab} | 57,9 | 4,9 |
| NINOC+150 | 60,9 ^{Aa} | 56,7 ^{Aa} | 36,6 ^{Bb} | 50,4 | 2,9 |
| SEM | 5,3 | 3,6 | 3,5 | - | - |
| Massa de forragem consumida (t MS ha ⁻¹) | | | | | |
| INOC+100 | 1,4 ^{Aa} | 0,9 ^{Ab} | 0,9 ^{Ab} | 1,0 | 0,4 |
| NINOC+150 | 1,0 ^{Aa} | 0,9 ^{Aa} | 0,6 ^{Bb} | 0,9 | 0,2 |
| SEM | 0,4 | 0,3 | 0,2 | - | - |
| Massa de lâminas foliares consumida (t MS ha ⁻¹) | | | | | |

| | | | | | |
|---|-------------------|--------------------|-------------------|-----|-----|
| INOC+100 | 1,3 ^{Aa} | 0,8 ^{Aab} | 0,8 ^{Ab} | 1,0 | 0,3 |
| NINOC+150 | 1,1 ^{Aa} | 0,8 ^{Aab} | 0,6 ^{Bb} | 0,8 | 0,4 |
| SEM | 0,4 | 0,5 | 0,3 | - | - |
| Oferta de lâminas foliares (kg MS 100 Kg PC ⁻¹) | | | | | |
| INOC+100 | 5,0 ^a | 4,2 ^a | 2,2 ^b | 3,8 | 0,2 |
| NINOC+150 | 5,5 ^a | 4,3 ^a | 2,2 ^b | 3,9 | 0,2 |
| 0 | | | | | |
| SEM | 0,3 | 0,1 | 0,1 | - | - |
| Oferta real de forragem (kg MS 100 Kg PC ⁻¹) | | | | | |
| INOC+100 | 6,5 ^a | 5,5 ^a | 4,6 ^a | 5,5 | 0,2 |
| NINOC+150 | 7,2 ^a | 5,7 ^b | 4,7 ^b | 5,9 | 0,4 |
| SEM | 0,5 | 0,2 | 0,2 | - | - |
| Taxa de lotação (UA ha ⁻¹ dia ⁻¹) | | | | | |
| INOC+100 | 1,2 ^c | 2,0 ^b | 3,0 ^a | 2,1 | 0,1 |
| NINOC+150 | 0,9 ^c | 1,8 ^b | 2,6 ^a | 1,8 | 0,2 |
| SEM | 0,1 | 0,07 | 0,2 | - | - |

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, diferem entre si a 5% de probabilidade de erro. SEM= erro padrão da média; *= produção total; PC= peso corporal; INOC+100= trigo inoculado com *Azospirillum brasilense* + 100 kg de N ha⁻¹; NINOC+150= trigo não inoculado + 150 kg de N ha⁻¹.

Tabela 4 - Rendimento de grãos, massa de mil grãos, peso do hectolitro (PH), número de espigas, número de grãos por espiga e produção de palha de trigo de duplo propósito inoculado com *Azospirillum brasilense* + 100 kg de N ha⁻¹ e não inoculado + 150 kg de N ha⁻¹, em condições de pastejo com vacas em lactação. Santa Maria, RS, 2017.

| Tratamento | Rendimento (t ha ⁻¹) | Massa de mil grãos (g) | PH (kg hL ⁻¹) | Espigas (m ²) | Grãos (nº/espiga) | Produção de palha (t de MS ha ⁻¹) |
|------------|-------------------------------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------|----------------------|--|
| INOC+100 | 0,9 | 27,7 | 76,0 | 91 | 13 | 2,8 |
| NINOC+150 | 0,9 | 25,7 | 74,0 | 107 | 12 | 3,0 |
| SEM | 0,6 | 0,7 | 0,3 | 5,3 | 2,1 | 0,9 |

Médias seguidas por letras distintas, na coluna, diferem entre si a 5% de probabilidade de erro. SEM= erro padrão da média; INOC+100= trigo inoculado com *Azospirillum brasilense* + 100 kg de N ha⁻¹; NINOC+150= trigo não inoculado + 150 kg de N ha⁻¹.

CAPÍTULO 5

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A inoculação de bactérias *A. brasilense*, estirpes Ab-V5 e Ab-V6, em sementes da cultivar de trigo de duplo propósito BRS Tarumã teve resultados positivos, possibilitando aumentos sobre a produção de forragem deste genótipo.

Quando avaliado sob regime de corte, nos anos agrícolas de 2016 e 2017, o efeito da inoculação foi maior em níveis mais baixos de adubação nitrogenada. A inoculação das sementes da gramínea propiciou maior massa de forragem, massa de lâminas foliares, produção de forragem, e produção de palha. Também foram constatados incrementos no número de perfilhos/m². Todos estes resultados podem ser relacionados com o efeito de promoção de crescimento desencadeado pelas bactérias através da síntese de fitohormônios. Além disso, os incrementos obtidos sobre a produção de estruturas vegetativas deve-se em parte ao aumento da disponibilidade de N fixado através da FBN, sobretudo nas menores doses de fertilizante nitrogenado. Por outro lado, quanto ao rendimento de grãos, massa de mil grãos e PH não foi verificado efeito de inoculação. Essas variáveis foram influenciadas apenas pelas doses de N.

No estudo realizado na safra de 2016 (estudo inicial) constatou-se equivalência entre os trigos inoculados e adubados com 100 kg de N ha⁻¹ e os que receberam a aplicação de 150 kg de N ha⁻¹ para o número de perfilhos/m², produção de forragem, de lâminas foliares e de palha.

Na avaliação em condições de pastejo constatou-se similaridade entre a adubação com 100 kg de N ha⁻¹ mais inoculação e a fertilização com 150 kg de N ha⁻¹ para produção de forragem, palha e grãos. Esse resultado indica que a inoculação pode contribuir com 50 kg de N ha⁻¹. Além disso, verificaram-se melhorias na eficiência de pastejo e consumo de lâminas foliares na pastagem inoculada, no último ciclo de pastejo. Esse resultado indica que a inoculação pode ter aumentado a concentração de nitrogênio na massa de forragem.

Os resultados apresentados demonstram o potencial da utilização da inoculação com *A. brasilense* em trigo de duplo propósito BRS Tarumã associada à níveis baixos de adubação nitrogenada. Seria relevante a realização de trabalhos com métodos diferentes de

inoculação, como via foliar ou via sulco de semeadura. Além disso, recomenda-se a realização de pesquisas a respeito do efeito da inoculação sobre o valor nutricional da forragem de trigo de duplo propósito, bem como avaliações com cultivares e estirpes de *A. brasilense* distintas.

5.2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILAR, J. P. L. **Inoculação de sementes com a estirpe 245 de *Azospirillum*: uma contribuição para o sistema de produção orgânico de mudas e flores de *statice* (*Limonium sinuatum*)**. 2016. 69 p. (Dissertação em Agricultura Orgânica)-Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2016.

AGUIRRE, P. F. et al. Forage yield of Coastcross-1 pastures inoculated with *Azospirillum brasilense*. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, v. 40, n. 1, p. 1-8, 2018.

ALBERTO, C. M. Resposta à vernalização de cultivares brasileiras de trigo. **Bragantia**, v. 68, n. 2, p. 535-543, 2009.

ALEN'KINA, S. A.; TRUTNEVA, K. A.; NIKITINA, V. E. Change in the Content of Salicylic Acid and Activities of Phenylalanine AmmoniaLyase and Catalase in Wheat Seedling Roots under the Influence of *Azospirillum Lectins*, **Biology Bulletin**, v. 40, n. 6, p. 567-570, 2013.

BARTMEYER, T. N. **Produtividade de trigo de duplo propósito submetido ao pastejo de bovinos na Região dos Campos Gerais - Paraná**. 2006. 57 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal)-Universidade Federal do Paraná, 2006.

BULEGON, L. G.; GUIMARAES, V. F.; LAURETH, J. C. U. *Azospirillum brasilense* affects the antioxidant activity and leaf pigment content of *Urochloa ruziziensis* under water stress. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 46, n. 3, p. 343-349, 2016.

CBPTT. Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale. **Informações técnicas para trigo e triticale - safra 2019**. Passo Fundo, 2018. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/196239/1/ID445702018InfTecTrigoTriticale2019.pdf>>. Acesso em 10 de fev. de 2020.

COHEN, A. C.; TRAVAGLIA, C. N.; BOTTINI, R.; PICCOLI, P. N. Participation of abscisic acid and gibberellins produced by endophytic *Azospirillum* in the alleviation of drought effects in maize. **Botany**, v. 87, n. 5, p. 455-462, 2009.

CORASSA, G.M. et al. Inoculação com *Azospirillum brasilense* associada à adubação nitrogenada em trigo na região norte do Rio Grande do Sul. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 16, p. 1298-1308, 2013.

COSTA, K. A. P.; OLIVEIRA, I. P.; FAQUIN, I. **Adubação nitrogenada para pastagens do gênero *Brachiaria* em solos do Cerrado**. Planaltina: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. (Embrapa Arroz e Feijão. 60 p. (Documentos, 192).

DÍAZ-ZORITA, M.; CANIGIA, M. V. F. Análisis de la producción de cereales inoculados con *Azospirillum brasilense* en la República Argentina. In: CASSÁN, F. D.; SALAMONE, I. G. *Azospirillum sp.*: cell physiology, plant interaction sand agronomic research in Argentina. Buenos Aires: Asociación Argentina de Microbiología, 2008. p. 155-164.

DÖBEREINER, J.; MARRIEL, I.; NERY, M. Ecological distribution of *Spirillum lipoferum* Beijerinck. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 22, n. 1, p. 1464-1473, 1976.

FAOSTAT. **Food Agriculture and Organization (FAOSTAT)**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 26 nov. 2019.

FERRAZZA, J. M. et al. Dinâmica de produção de forragem de gramíneas anuais de inverno em diferentes épocas de semeadura. **Ciência Rural**, v. 43, n. 7, p. 1174-1181, 2013.

FICAGNA, T.; GAI, T. Adubação nitrogenada e inoculante de gramínea em tifton 85. **Cultivando o Saber**, v. 5, n. 2, p. 113-119, 2012.

FONTANELI, R. S. Trigo de duplo propósito na integração lavoura-pecuária. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo: Aldeia Norte Editora, ed. 99, 2007.

FUKAMI, J.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S.; HUNGRIA, M. Acessing inoculation methods of maize and wheat with *Azospirillum brasilense*. **AMB Express**, v. 6, p. 1-13, 2016.

GALINDO, F. S. Nitrogen fertilisation efficiency and wheat grain yield affected by nitrogen doses and sources associated with *Azospirillum brasilense*. **Acta Agriculturae Scandinavica**, v. 69, n. 7, p. 606-617, 2019.

GUIMARÃES, G. L. et al. Produção de capim-marandu inoculado com *Azospirillum* spp. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 13, p. 816-825, 2011.

HENZ, E. L. et al. Dual purpose wheat production with different levels of nitrogen topdressing. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 2, p. 1091-1100. 2016.

HUERGO, L. F. et al. Regulation of nitrogen fixation in *Azospirillum brasilense*. In: CASSÁN, F. D.; SALAMONE, I. G. *Azospirillum sp.*: cell physiology, plant interaction sand agronomic research in Argentina. Buenos Aires: Asociación Argentina de Microbiología, 2008. p. 17-28.

HUNGRIA, *Azospirillum*: um velho novo aliado. In: FERTBIO. SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIENCIA DO SOLO, Goiânia, 2016. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1057259/1/MariangelaHungriaAzospirillumFertbio.pdf>> Acesso em: 26 nov. 2019.a

HUNGRIA, M. et al. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. Lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant and Soil**, v. 331, p. 413-425, 2010.

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo**. Londrina [EMBRAPA Soja], 2011. 38 p. (Documentos 325)

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Inoculation of *Brachiaria* spp. with the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*: An environment-friendly component in the reclamation of degraded pastures in the tropics. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 221, n. 1, p. 125-131, 2016.b

KALPULNIK Y.; GAFNY R.; OKON Y. Effect of *Azospirillum* spp. inoculation on root development and N³ uptake in wheat (*Triticum aestivum* cv. Miriam) in hydroponic systems. **Canadian Journal of Botany**, v. 63, n. 1, p. 627-631, 1985.

MALAVOLTA, E.; MORAIS, M. F. Fundamentos do nitrogênio e do enxofre na nutrição de plantas cultivadas. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (Eds.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**, Piracicaba: IPNI, 2007. p. 189-249.

MEINERZ G. R. et al. Produtividade de cereais de inverno de duplo propósito na depressão central do Rio Grande do Sul, **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, n. 4, p. 873-882, 2012.

MOREIRA, F. M. S. et al. Bactérias diazotróficas associativas: diversidade, ecologia e potencial de aplicações. **Comunicata Scientiae**, v. 1, n. 2, p. 74-99, 2010.

NOVAKOWISKI, J. H. et al. Efeito residual da adubação nitrogenada e inoculação de *Azospirillum brasilense* na cultura do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 1, p. 1687-1698, 2011.

NUNES, F. S.; RAIMONDI, A. C.; NIEDWIESKI, A. C. Fixação de nitrogênio: estrutura, função e modelagem bioinorgânica das nitrogenases. **Química Nova**, v. 26, n. 6, p. 872-879, 2003.

OLIVEIRA, P. P. A.; OLIVEIRA, W. S.; BARIONI, W. J. **Produção de forragem e qualidade de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu com *Azospirillum brasilense* e fertilizada com nitrogênio**. São Carlos: Embrapa pecuária sudeste, 2007, 4 p. (Circular Técnico, 54).

PEREIRA, L.C. et al. Rendimento do trigo (*Triticum aestivum*) em resposta a diferentes modos de inoculação com *Azospirillum brasilense*. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n.1, p. 106-114, 2017.

QUARESMA, J.P.S. et al. Produção e composição bromatológica do capim-tifton 85 (*Cynodon* spp.) submetido a doses de nitrogênio. **Acta Scientiarum Animal Sciences**. v. 33, n. 2, p. 145-150, 2011.

QUATRIN, M.P. et al. Efeito da adubação nitrogenada na produção de forragem, teor de proteína bruta e taxa de lotação em pastagens de azevém. **Boletim de Indústria Animal**, v. 72, n. 1, p. 21-26, 2015.

QUATRIN, M.P. et al. Nutritional value of dual-purpose wheat genotypes pastures under grazing by dairy cows. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, v. 39, n. 3, p. 303-308, 2017.

ROESCH, L.F.W. et al. Characterization of diazotrophic bacteria associated with maize: effect of plant genotype, ontogeny and nitrogen-supply. **World Journal of Microbiology & Biotechnology**, v. 22, n. 9, p. 967-974, 2006.

SALA, V. M. R. et al. Resposta de genótipos de trigo à inoculação de bactérias diazotróficas em condições de campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 6, p. 833-842, 2007.

SANTOS, S. M. C.; ANTONANGELO, J. A.; DEUS, A. C. F.; FERNANDES, D. M. Perdas de amônia por volatilização em resposta a adubação nitrogenada do feijoeiro. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 3, n. 1, p. 16-20, 2016.

SOLLENBERGER, L. E. Sustainable production systems for *Cynodon* species in the subtropics and tropics. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 1, p. 85-100, 2008.

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

TARRANT, J. J.; KRIEG, N. R.; DÖBEREINER, J. A taxonomic study of the *Spirillum lipoferum* group, with descriptions of a new genus, *Azospirillum* gen. nov. and two species, *Azospirillum lipoferum* (Beijerinck) comb. nov. and *Azospirillum brasilense* sp. nov. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 24, n. 1, p. 967-980, 1978.

TAVARES, O. M. **Produção de forragem de azevém anual de ressemeadura natural na sucessão da cultura da soja submetido à adubação nitrogenada em integração lavoura-pecuária**. 2012, 59 p. (Dissertação de mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Pelotas, 2012.

TIEN T.; GASKIN M.; HUBBEL D. Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.). **Applied Environmental Microbiology**, v. 37, n. 1, p.1016-1024, 1979.

VOGEL, G. F. et al. Efeitos da utilização de *Azospirillum brasilense* em poáceas forrageiras: Importâncias e resultados. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v. 10, n. 1, p. 01-06, 2014.

WENDT, W.; DEL DUCA, L. J. A.; CAETANO, V. da R. **Avaliação de cultivares de trigo de duplo propósito, recomendados para cultivo no Estado do Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006. 2 p. (Comunicado Técnico, 137).