

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

Matheus Martins Ferreira

**INOCULAÇÃO DE SOJA COM BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS APÓS
PERÍODOS DE MANEJO DAS CULTURAS DE INVERNO**

Santa Maria, RS

2022

Matheus Martins Ferreira

**INOCULAÇÃO DE SOJA COM BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS APÓS PERÍODOS
DE MANEJO DAS CULTURAS DE INVERNO**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Thomas Newton Martin

Santa Maria, RS
2022

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

Ferreira, Matheus Martins
Inoculação de soja com bactérias diazotróficas após períodos de manejo das culturas de inverno / Matheus Martins Ferreira.- 2022.
58 p.; 30 cm

Orientador: Thomas Newton Martin
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Agronomia, RS, 2022

1. Inoculação 2. Bradyrhizobium 3. Azospirillum
brasiliense 4. Plantas de cobertura 5. Manejo entressafra
I. Newton Martin, Thomas II. 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.

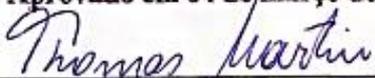
Declaro, MATHEUS MARTINS FERREIRA, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Tese) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, 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.

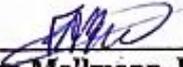
Matheus Martins Ferreira

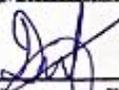
**INOCULAÇÃO DE SOJA COM BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS APÓS PERÍODOS
DE MANEJO DAS CULTURAS DE INVERNO**

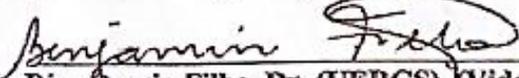
Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Doutor em Agronomia**.

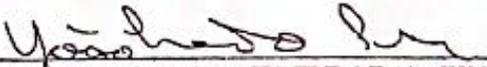
Aprovado em 04 de março de 2022:


Thomas Newton Martin, Dr. (UFSM),
(Presidente/orientador), (Videoconferência)


Fábio Joel Kochem Mallmann, Dr. (UFSM), (Videoconferência)


Diego Nicolau Follmann, Dr. (UFSM), (Videoconferência)


Benjamin Dias Osorio Filho, Dr. (UERGS), (Videoconferência)


João Leonardo Fernandes Pires, Dr. (EMBRAPA), (Videoconferência)

DEDICO

Dedico este trabalho aos meus amados pais, José Caetano Soares Ferreira (*in memoriam*) e Maria das Graças Martins Ferreira, maiores incentivadores e fontes inesgotáveis de apoio, amor e compreensão, aos meus irmãos Marcelo Martins Ferreira e Maycon Martins Ferreira e, a minha namorada Letícia Morsch pelo total apoio durante a realização do curso. Dedico a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste curso.

AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte de todas as coisas, sempre ao nosso lado dando-nos a sabedoria para realização de nossos projetos.

Ao Prof. Dr. Thomas Newton Martin pela orientação e pelo apoio para que eu realizasse o curso de Pós-Graduação.

Ao Prof. Dr. Fábio Joel Kochem Mallmann pela colaboração e apoio nas atividades realizadas durante a condução dos experimentos.

Aos demais professores, minha gratidão a todos que estão contribuindo na minha formação profissional.

A Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, e ao Programa de Pós Graduação em Agronomia pela oportunidade de realização deste curso.

Aos meus amigos, Giovane Matias Burg, Fernando Sintra Fulaneti, Guilherme Almeida, Esequiel Jardim da Rosa, Cilon do Nascimento e, a todos os colegas do grupo de pesquisa de manejo em grande culturas de coxilha.

A todos os colegas de curso pelo convívio e pelos momentos de amizade.

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta pesquisa.

A CAPES pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

RESUMO

INOCULAÇÃO DE SOJA COM BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS APÓS PERÍODOS DE MANEJO DAS CULTURAS DE INVERNO

AUTOR: Matheus Martins Ferreira
ORIENTADOR: Thomas Newton Martin

Os resíduos de culturas com a finalidade de cobertura do solo e a coinoculação (inoculação com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum*) podem influenciar na nodulação, crescimento e produtividade de grãos na cultura da soja. Essa influência pode ser positiva ou negativa, dependendo da planta de cobertura e do período de manejo da biomassa antes da semeadura da cultura. O objetivo foi avaliar plantas de cobertura de inverno, períodos de manejo da biomassa das plantas de cobertura e tipos de inoculação sobre a nodulação, crescimento e produtividade da soja. Foram realizados experimentos de campo nas safras 2019/20 e 2020/21 e em casa de vegetação no ano de 2020. No campo, os tratamentos envolveram duas plantas de cobertura de inverno: trigo (TG) e nabo forrageiro (NB); três períodos de manejo das plantas de cobertura antes da semeadura da soja: 30, 45 e 60 dias e dois tipos de inoculação: inoculação (somente *Bradyrhizobium*) e coinoculação (*Bradyrhizobium* e *Azospirillum*). Em casa de vegetação, os tratamentos envolveram quatro plantas de cobertura: TG, NB, ervilhaca (EV) e testemunha (TS); três períodos de manejo da biomassa: 30, 45 e 60 dias e dois tipos de inoculação: inoculação e coinoculação. Foram avaliados o número e a massa seca de nódulos, as massas seca de raiz e de parte aérea, número de vagens, produtividade de grãos da soja e a densidade do solo. A coinoculação proporcionou melhores resultados para o número de nódulos quando o TG foi cultivado no inverno. No campo, o NB se destacou em relação ao TG para a densidade do solo e a produtividade da soja. O melhor período para o manejo da biomassa das culturas de cobertura foi aos 30 dias antes da semeadura da soja. Para a utilização de bactérias diazotróficas na cultura da soja, especialmente quando for realizada a co-inoculação com o *Azospirillum brasilense*, deve-se considerar o tipo de planta de cobertura e o período de manejo da biomassa. A coinoculação da soja é melhorada com o uso do trigo no inverno e o manejo da biomassa próximo da semeadura da cultura.

Palavras-chave: *Azospirillum brasilense*. *Bradyrhizobium*. Coinoculação. *Glycine max*. L. Plantas de cobertura de inverno.

ABSTRACT

INOCULATION OF SOYBEAN WITH DIAZOTROPHIC BACTERIA AFTER WINTER CROP MANAGEMENT PERIODS

AUTHOR: Matheus Martins Ferreira

ADVISOR: Thomas Newton Martin

Cover crop residues and co-inoculation (inoculation with *Bradyrhizobium* and *Azospirillum*) can influence nodulation, growth and grain yield in soybean. This influence can be positive or negative, depending on the cover plant and the biomass management period before crop sowing. The objective was to evaluate winter cover crops, cover crop biomass management periods and inoculation types on nodulation, growth and yield of soybean. Field experiments were conducted in the 2019/20 and 2020/21 crops season, and in a greenhouse in 2020. In the field, treatments involved two winter cover plants: wheat (TG) and forage turnip (NB); three management periods of cover plants before soybean sowing: 30, 45 and 60 days and two types of inoculation: (only *Bradyrhizobium*) and coinoculação (*Bradyrhizobium* e *Azospirillum*). In the greenhouse, the treatments involved four cover crops: TG, NB, vetch (EV) and control (TS); three management periods of biomass: 30, 45 and 60 days and two types of inoculation: inoculation and coinoculation. The number and dry mass of nodules, root and shoot dry mass, number of pods, soybean grain yield and soil density were evaluated. Coinoculation provided better results for the number of nodules when TG was grown in winter. In the field, NB outperformed TG for soil density and soybean yield. The best management period of the cover crop biomass was 30 days before soybean sowing. For the use of diazotrophic bacteria in soybean, especially when co-inoculation with *Azospirillum brasilense* is performed, the type of cover crop and the biomass management period should be considered. Co-inoculation of soybean is improved by using winter wheat and managing the biomass close to sowing the crop.

Keywords: *Azospirillum brasilense*. *Bradyrhizobium*. Coinoculation. *Glycine max*. Cover crops.

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 - Extrato do balanço hídrico da cultura da soja, em escala decendial, para a safra 2019/20 (A) e safra 2020/21 (B) em Santa Maria – RS.....23
- FIGURA 2 - Número de nódulos por planta (NN) de soja em função da interação entre as plantas de cobertura e o tipo de inoculação (a) e interação entre os período de manejo das culturas de coberturas antes da semeadura da soja e o tipo de inoculação (b) na safra 2019/20, interação entre as plantas de cobertura e o tipo de inoculação (c) e efeito isolado dos período de manejo das culturas de cobertura (d) na safra 2020/21.....26
- FIGURA 3 - Massa seca de nódulos por planta (MSNP) de soja em função da interação entre os período de manejo da biomassa das culturas de coberturas antes da semeadura da soja e o tipo de inoculação (a) na safra 2019/20, efeito isolado dos período de manejo das plantas de cobertura (b) na safra 2020/21.....27
- FIGURA 4 - Número de vagens por planta (NVP) de soja em função da interação entre as plantas de cobertura e os período de manejo das coberturas antes da semeadura (a) na safra 2019/20, interação entre os período de manejo das plantas de coberturas e o tipo de inoculação (b) na safra 2020/21.....28
- FIGURA 5 - Produtividade de grãos de soja (PG) em função da interação entre os período de manejo das culturas de coberturas antes da semeadura da soja e tipo de inoculação (a) e efeito isolado das cultura de cobertura (b) na safra 2019/20, interação entre os período de manejo das culturas coberturas e as plantas de cobertura (c) na safra 2020/21.....30
- FIGURA 6 - Densidade do solo (DS) em função das plantas coberturas, períodos de manejo da biomassa antes da semeadura da soja e diferentes camadas do solo. Safra 2019/20, interação entre as plantas coberturas e os período de manejo da biomassa e interação das diferentes camadas do solo e períodos de manejo das coberturas. Safra 2020/21, interação entre as coberturas, período de manejo e diferentes camadas do solo.....31
- FIGURA 7 - Número de nódulos por planta (NNP) de soja em função da interação entre as plantas de cobertura e o tipo de inoculação (a) e interação entre as plantas de cobertura e os período de manejo das culturas de coberturas antes da semeadura da soja (b).....44
- FIGURA 8 - Massa seca de nódulos por planta (MSN) de soja em função da interação entre as plantas de cobertura e o tipo de inoculação (a) e interação entre as plantas de cobertura e os período de manejo das culturas de coberturas antes da semeadura da soja (b).....45

FIGURA 9 -	Massa seca de raiz (MSR) de soja em função da interação entre as plantas de cobertura e o tipo de inoculação (a) e interação entre as plantas de cobertura e os período de manejo das culturas de coberturas antes da semeadura da soja (b).....	46
FIGURA 10 -	Massa seca da parte aérea (MSPA) de soja em função da interação entre as plantas de cobertura e os período de manejo das culturas de coberturas antes da semeadura da soja.....	47

LISTA DE TABELAS

- TABELA 1 - Massa seca da parte aérea (T/ha) das culturas de coberturas na superfície do solo, população de *Bradyrhizobium* (Bd) (UFC g/solo) e de *Azospirillum* (Az) (NNP g/solo) na camada 0-10 cm no momento da semeadura da soja.....24
- TABELA 2 - Médias do teor de nitrato e amônio no solo, massa seca da parte aérea (MSP) e massa de 1000 grãos (MMG) da soja em função das plantas de cobertura, períodos de manejo da biomassa e tipos de inoculação na safra 2019/20 e 2020/21.....32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	14
3 ARTIGO 1 - IMPLICAÇÕES DA CULTURA DE COBERTURA DE INVERNO, PERÍODOS DE MANEJO DA BIOMASSA E TIPO DE INOCULAÇÃO NA PRODUTIVIDADE DA SOJA	18
3.1 INTRODUÇÃO	20
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	22
3.3. RESULTADOS	25
3.4 DISCUSSÃO	32
3.5 CONCLUSÃO	34
REFERÊNCIAS	35
4 ARTIGO 2- A CULTURA DE COBERTURA DE INVERNO E SEU PERÍODO DE MANEJO INTERFEREM NA NODULAÇÃO E CRESCIMENTO DA SOJA COINOCULADA	40
4.1. INTRODUÇÃO	40
4.2. MATERIAL E MÉTODOS	41
4.3 RESULTADOS	43
4.4 DISCUSSÃO	47
4.5 CONCLUSÃO	49
REFERÊNCIAS	49
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53
REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merr.] é a quarta cultura mais cultivada no mundo, sendo a principal fonte de proteína utilizada para alimentação humana e animal (FAO, 2021). No Brasil, a soja é a cultura mais cultivada. Atualmente, o país é o maior produtor mundial do grão (CONAB, 2021).

A produção economicamente viável de soja em países como o Brasil só é possível devido aos processos biológicos que sustentam a necessidade de nitrogênio (N) da cultura. A fixação biológica de nitrogênio (FBN) realizada por bactérias do gênero *Bradyrhizobium* é o principal processo biológico que fornece N para a soja. Esse processo de fixação de N pode contribuir com mais de 300 kg de N ha⁻¹ (HUNGRIA; CAMPO; MENDES, 2007), dispensando a aplicação de fertilizante mineral nitrogenado na cultura.

Para as bactérias fixarem o N e disponibilizarem para a soja é necessário que ocorra a infecção das raízes e a formação de nódulos. Mas para isso, as bactérias precisam ser boas competidoras pelos exsudatos radiculares para poder colonizar as raízes com eficiência (GOUDA et al., 2018). Desta forma, a utilização de inoculantes contendo bactérias de *Bradyrhizobium* selecionadas é importante, pois são mais eficientes em nodular as raízes de soja do que as bactérias naturalizadas e as nativas (NOGUEIRA; HUNGRIA, 2014).

A inoculação consorciada do *Bradyrhizobium* com outras bactérias como o *Azospirillum brasilense* também é uma técnica utilizada para melhorar a simbiose. O *A. brasilense* é uma bactéria promotora do crescimento de plantas. Essa bactéria produz fitohormônios que podem estimular diferentes processos vegetais como a iniciação da raiz lateral e raízes adventícias, divisão celular, alongamento do caule e raízes (CASSÁN et al., 2015). A inoculação com o *A. brasilense* pode proporcionar maior tolerância das plantas aos estresses bióticos e abióticos (FUKAMI et al., 2018) e aumentar a nodulação da soja pelo *Bradyrhizobium* (RONDINA et al., 2020).

A inoculação anual de *Bradyrhizobium* isoladamente ou em consórcio com *A. brasilense* pode elevar consideravelmente a produtividade da soja comparado à não inoculação (HUNGRIA; MENDES, 2015). No entanto, para as bactérias proporcionarem os benefícios para a soja, o ambiente rizosférico precisa ser favorável ao desenvolvimento desses microrganismos. Condições desfavoráveis de temperatura e umidade do solo (DEAK et al., 2019), disponibilidade de nutrientes (GUINET; NICOLARDOT; VOISIN, 2020) e de alguns atributos físicos do solo podem ser limitantes para essas bactérias (KAI; EFFMERT; PIECHULLA, 2016) e conseqüentemente afetar a cultura da soja.

As adversidades enfrentadas pelas bactérias simbiotes e a cultura da soja podem ser amenizadas utilizando plantas de cobertura. A biomassa dessas plantas sobre a superfície do solo ajuda a diminuir as flutuações de temperatura e umidade do solo, e suas raízes a melhorar atributos físicos do solo como a densidade. No entanto, dependendo da planta de cobertura utilizada e da época de manejo da biomassa que influenciam no efeito do sistema radicular no solo, na quantidade de palha na superfície do solo, na composição química e na velocidade de decomposição da biomassa, podem ocorrer efeitos inesperados, principalmente, quando é realizada a inoculação consorciada de bactérias. Portanto, se apenas uma população de bactérias for favorecida pelo ambiente, a consorciação pode causar efeito antagônico e prejudicar a planta (VACHERON et al., 2013).

2 REVISÃO DE LITERATURA

A soja [*Glycine max* (L.) Merr.] ocupa uma área de 120,5 milhões de hectares no mundo, sendo a quarta cultura mais cultivada (FAO, 2021). O Brasil é o maior produtor mundial do grão, com uma produção de 136 milhões de toneladas em uma área cultivada de 38,5 milhões hectares na safra 2020/21. No país, a soja é a principal cultura cultivada no período de primavera/verão (CONAB, 2021).

A produção de soja em países como o Brasil, em que o custo na aquisição de fertilizantes nitrogenados é elevado, depende principalmente dos processos biológicos. A soja adquire cerca de 84% do N necessário por meio do processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN), realizado por bactérias do gênero *Bradyrhizobium* (GELFAND; ROBERTSON, 2015). Estima-se que a FBN pode fornecer mais de 300 kg de N ha⁻¹ para a soja e liberar de 20 a 30 kg de N ha⁻¹ para a cultura subsequente (HUNGRIA; CAMPO; MENDES, 2007; HUNGRIA; MENDES, 2015).

A soja necessita de cerca de 80 kg de N para cada tonelada de grãos produzida, sendo que em média 65 kg de N são exportados pelos grãos e 15 kg de N são utilizados para crescimento vegetativo (HUNGRIA; MENDES, 2015). Assim, para uma produtividade média de 3.000 kg ha⁻¹, a cultura precisa absorver 240 kg de N ha⁻¹. Com uma FBN eficiente, a demanda de N pela planta pode ser suprida sem a necessidade de adubação mineral.

O potencial produtivo da soja aumenta em cerca de 43 kg ha⁻¹ ano⁻¹ com a introdução de novas cultivares (DE FELIPE; GERDE; ROTUNDO, 2016), aumentando também a necessidade de N pela cultura. Nesse caso, a FBN precisa acompanhar o aumento da demanda de N pela planta e apresentar maiores taxas de fixação de N. A estratégia recomendada é a inoculação anual das sementes de soja com bactérias selecionadas de *Bradyrhizobium*, as quais são mais eficientes em nodular as raízes de soja do que as bactérias naturalizadas e nativas do solo. A inoculação anual com *Bradyrhizobium* pode aumentar a produtividade de grãos em 8% (HUNGRIA; MENDES, 2015).

A inoculação de bactérias do gênero *Bradyrhizobium* e a sua associação com o *Azospirillum brasilense* também é uma técnica que vem sendo utilizada para melhorar a simbiose e aumentar a produtividade da cultura da soja (BRACCINI et al., 2016). O *A. brasilense* é uma bactéria promotora do crescimento de plantas. Essa bactéria sintetiza fitohormônios do grupo das auxinas, citocininas e giberelinas, sendo que, o principal fitohormônio produzido é do grupo das auxinas, o ácido indol 3-acético (AIA), responsável por estimular diferentes processos vegetais como a iniciação da raiz lateral e das raízes

adventícias, divisão celular, alongamento do caule e raiz (CASSÁN et al., 2015). A inoculação do *A. brasilense* pode proporcionar maior tolerância das plantas aos estresses bióticos e abióticos (FUKAMI et al., 2018) e melhorar a nodulação da soja pelo *Bradyrhizobium* (RONDINA et al., 2020). A inoculação combinada das duas bactérias na sementes da soja apresenta efeito sinérgico (JUGE et al., 2012) e tem proporcionado ganhos de 6,4 a 20% na produtividade da soja (FERRI et al., 2017; FIPKE et al., 2016; SCHENEIDER et al., 2017).

Os benefícios proporcionados pela inoculação de microrganismos em culturas são conhecidos, principalmente, em estudos em que as condições de cultivo são controladas. No entanto, em cultivos de campo muitos fatores podem interferir e diferentes resultados podem ser observados. Os fatores como os atributos físico-químicos do solo, umidade, temperatura, pH e matéria orgânica influenciam na população microbiana do solo (BUCKLEY; SCHMITD, 2001). Nesse sentido, as práticas de manejo do campo devem ser direcionadas para possibilitarem condições favoráveis ao desenvolvimento das bactérias.

Uma das práticas utilizada para melhorar o ambiente edáfico tanto para as bactérias quanto para a soja é o uso de plantas de cobertura. Essas plantas são semeadas na entressafra da cultura, visando manter o solo coberto e posteriormente servir como palhada para semeadura direta. No Brasil, o cultivo da soja sem o revolvimento do solo e uso de culturas de cobertura na entressafra é o principal sistema de cultivo utilizado (FEBRAPDP, 2021).

A Região Sul do Brasil se destaca na utilização de plantas de cobertura para servir como palhada para o cultivo da soja (BASTOS FILHO et al., 2007). Isso ocorre devido ao inverno frio nessa região, que permite a utilização de diversas culturas como aveia, trigo, nabo forrageiro, ervilhaca e azevém (LIMA FILHO et al., 2014). A escolha da cultura a ser implantada está relacionada principalmente a dois objetivos principais: manter o solo coberto por um maior período e fornecer nutrientes para a cultura subsequente, em especial o nitrogênio. Para a cobertura do solo durante o cultivo da soja, no inverno o trigo é utilizado em rotação com a aveia, visto que, além de boa cobertura do solo, a cultura complementa a receita do produtor pela comercialização dos grãos. O nabo forrageiro é utilizado objetivando a atenuação dos efeitos da compactação (DEBIASI et al., 2010) e ciclagem de nutrientes, sendo o nitrogênio, o principal (LIMA FILHO et al., 2014). A ervilhaca pode ser utilizada para o fornecimento de N (ACOSTA et al., 2014). No entanto, devido às diferenças entre as plantas de cobertura (produção de biomassa, composição química, tipo de sistema radicular, relação C/N) os efeitos sob as bactérias e a soja podem variar.

O nabo forrageiro pode apresentar uma alta produção de biomassa seca e acumular mais de 160 kg/ha de N (LIMA FILHO et al., 2014), teores superiores ao do trigo e outras gramíneas como a aveia preta (ACOSTA et al., 2014). Os teores de potássio (K) geralmente são superiores aos teores de N na palhada nabo forrageiro, sendo que, o pico de liberação desses dois nutrientes ocorre em simultâneo, entre 10 e 20 dias após a morte da planta. Porém, a partir desse período, a velocidade de liberação do N diminui e a de K se mantém constante até ser todo disponibilizado. Os teores de P, Ca, Mg e S no nabo forrageiro são mais baixos do que os de K e N, e apresentam padrões similares na velocidade de liberação, tendo o pico entre os 10 e 20 dias (CRUSCIOL et al., 2005; HEINZ et al., 2011). No trigo, os teores de K também são mais altos do que os teores de N e P, no entanto, a taxa de liberação de N e P vão diminuindo gradativamente de forma constante após o período de manejo da biomassa, já a liberação de K ocorre rapidamente (OLIVEIRA; BORSZOWSKI, 2012).

O período de manejo das culturas de cobertura é um fator importante a ser considerado para estabelecimento da cultura da soja, pois está relacionado com o grau de decomposição da palhada no período de cultivo da cultura principal (CRUSCIOL et al., 2008). O nabo forrageiro apresenta relação C/N menor do que o trigo quando o manejo da biomassa ocorre no estágio vegetativo, mas em pleno florescimento ocorre o aumento do teor de lignina e a relação C/N dessas culturas podem ser próximas, ou seja, a velocidade de decomposição de plantas velhas de nabo forrageiro é mais lento (LANG, 2002). A maior concentração de lignina e celulose estão relacionadas com a menor decomposição e liberação de N após a morte da planta (JAHANZAD et al., 2016). Nesse sentido, tanto as plantas de nabo e trigo manejados no florescimento podem apresentar uma considerável quantidade de resíduo na superfície do solo e se decomporem mais lentamente.

As diferenças entre as culturas de cobertura utilizadas podem interferir nas populações de microrganismos no solo, podendo beneficiar a abundância de um determinado grupo e outros não (FINNEY; BUYER; KAYE, 2017). As plantas também podem modular as populações de bactérias que compõe sua rizosfera por meio de exsudatos que atraem ou repelem (RAY et al., 2020). O nabo forrageiro, por exemplo, não realiza associação micorrízica (CARDOSO; ANDREOTE, 2016). As micorrizas podem desempenhar um papel importante no aumento da área superficial das raízes e melhorar a absorção de nutrientes como o fósforo e nitrogênio pelas plantas (PARINSKE, 2008). A interação entre os fungos micorrízicos e bactérias podem contribuir positivamente para aumentar a produção das culturas. A fixação biológica por *Rizóbios* em leguminosa forrageira pode ser melhorada pela inoculação de fungos micorrízicos arbusculares (HACK et al., 2019). Os fungos micorrízicos

associados com as raízes podem ter grande impacto na colonização bacteriana, visto que, as bactérias podem reconhecer compostos voláteis de fungos e alterar parâmetros fenotípicos com a motilidade (SCHMIDT et al., 2016).

Algumas plantas de cobertura podem favorecer demasiadamente algumas bactérias, que por sua vez podem prejudicar as culturas cultivadas em sucessão. O *A. brasilense* foi capaz de reduzir os componentes produtivos de milho e arroz quando essas culturas foram cultivadas em resíduos de plantas de coberturas com baixa relação C/N (GITTI et al., 2012; PORTUGAL et al., 2017). Lima (2020) verificou que a inoculação de milho com *A. brasilense* no sistema de rotação nabo forrageiro/milho foi prejudicial para a produtividade de grãos. Como é comum o uso de nabo forrageiro como plantas de cobertura na entressafra da soja, também pode haver influência na inoculação de *A. brasilense* na cultura.

As condições às quais as bactérias inoculadas na soja são submetidas podem alterar a forma em que interagem com a planta e entre si. O *A. brasilense* pode se tornar um competidor quando se encontra concentrações mais elevadas que o *Bradyrhizobium*, sendo que isso pode ocorrer quando é realizada a inoculação consorciada com doses de inoculante maiores de *A. brasilense*. Normalmente, a concentração de *A. brasilense* no inoculante é dez vezes menor do que a de *Bradyrhizobium* para que não ocorra prejuízo à simbiose (HUNGRIA; NOGUEIRA; ARAUJO, 2013). No entanto, o ambiente de cultivo possui forte influência sobre a dinâmica das bactérias no solo, o qual pode favorecer ou não determinadas populações de microrganismos.

As plantas de cobertura podem alterar a umidade (RIBEIRO et al., 2016), temperatura (RODRIGUES et al., 2018), matéria orgânica (WULANNINGTYAS et al., 2021), pH (BUCKLEY; SCHMITD, 2001), disponibilidade de nutrientes (GARCÍA-GONZÁLEZ et al., 2018; LANDRISCINI et al., 2019) e a densidade do solo (GUBIANI, 2020). Essas alterações podem influenciar as bactérias e as culturas cultivadas em sucessão. No entanto, não se sabe se e como o uso consorciado de *Bradyrhizobium* e *A. brasilense* na soja afeta os parâmetros de nodulação e produtividade da soja quando diferentes culturas de cobertura e período de manejo da biomassa antes da semeadura são utilizadas.

3 ARTIGO 1 - IMPLICAÇÕES DA CULTURA DE COBERTURA DE INVERNO, PERÍODOS DE MANEJO DA BIOMASSA E TIPO DE INOCULAÇÃO NA PRODUTIVIDADE DA SOJA

Resumo: O cultivo da soja sob resíduos de culturas de cobertura e a coinoculação de bactérias se tornaram essenciais no Brasil devido às incertezas das condições ambientais durante a safra. No entanto, as culturas de cobertura e o período de manejo da sua biomassa precisam ser considerados para realizar a coinoculação, pois podem influenciar na relação bactéria-planta e interferir na produtividade de grãos. O objetivo da pesquisa foi avaliar o efeito de culturas de cobertura de inverno, períodos de manejo da biomassa e tipo de inoculação na produtividade de grãos na cultura da soja. Os tratamentos envolveram duas coberturas de inverno: trigo (*Triticum aestivum* L.) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), três períodos entre o manejo das culturas de inverno e a semeadura da cultura da soja: 60, 45 e 30 dias, e dois tipos de inoculação: apenas inoculação com *Bradyrhizobium* (inoculação) e inoculação consorciada de *Bradyrhizobium* e *A. brasilense* (coinoculação). Foram avaliados o número e a massa seca de nódulos, a massa seca da parte aérea no estágio R1, número de vagens, produtividade e massa de 1000 grãos, densidade do solo e teores de amônio e nitrato no solo. A soja cultivada após nabo forrageiro apresentou menor número de nódulos quando coinoculada, em comparação à soja inoculada. O trigo e a coinoculação aumentaram o número de nódulos. O nabo forrageiro melhorou a densidade do solo e a produtividade de grãos de soja. O manejo da biomassa do nabo forrageiro e do trigo aos 30 dias antes da semeadura da soja e a coinoculação proporcionaram os melhores resultados para a maioria das variáveis avaliadas.

Palavras-chave: *Azospirillum brasilense*. *Bradyrhizobium*. *Glycine max*. Nabo forrageiro. Plantas de cobertura.

IMPLICATIONS OF WINTER COVER CROP, BIOMASS TERMINATION TIMING AND INOCULATION TYPE ON SOYBEAN YIELD

Abstract: Cultivation of soybean under cover crop residues and the co-inoculation of bacteria have become essential in Brazil due to the uncertainty of environmental conditions during the crop season. However, cover crops and the termination timing of their biomass need to be considered when performing co-inoculation because they can influence the bacteria-plant relationship and interfere with yield. The objective of the research was to evaluate the effect of winter cover crops, biomass termination timing and inoculation type on soybean yield. The treatments involved two winter covers: wheat (*Triticum aestivum* L.) and forage turnip (*Raphanus sativus* L.), three periods between termination timing of winter crops and sowing of the soybean crop: 60, 45 and 30 days and two types of inoculation: only inoculation with *Bradyrhizobium* (inoculation) and consortium inoculation of *Bradyrhizobium* and *A. brasilense* (co-inoculation). The number of nodules, nodules dry weight, and shoot dry weight at the R1 stage, the number of pods, yield, 1000 grain weight, and density, the content of ammonium and nitrate in the soil were evaluated. Soybean cultivated after forage turnip showed lower number of nodules when coinoculated, compared to inoculated soybean. Wheat and coinoculation increased the number of nodules. Forage turnip improved soil density and soybean grain yield. Biomass management of forage turnip and wheat at 30 days before soybean sowing and coinoculation provided the best results for most of the variables evaluated.

Key words: *Azospirillum brasilense*. *Bradyrhizobium*. *Glycine max*. Forage turnip. Cover crops.

3.1 INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merr.] é uma das culturas mais importante nas cadeias agroindustriais do mundo (PAGANO & MIRANSARI, 2016), sendo componente principal na alimentação de pessoas e animais. No Brasil, é a principal cultura cultivada durante as estações de primavera/verão. Na safra 2020/21, a produção de soja no país foi de 136 milhões de toneladas em uma área cultivada de 38,5 milhões de hectares (CONAB, 2021), sendo 33,1 milhões de hectares cultivados no sistema plantio direto (FEBRAPDP, 2021).

Para a produção de uma tonelada de grãos de soja é necessária a absorção de cerca de 80 kg de N pela planta (HUNGRIA & MENDES, 2015). Desta forma, o cultivo da soja no Brasil é dependente da fixação biológica de nitrogênio (FBN), visto que, a aplicação de N mineral inviabilizaria o cultivo da cultura. No entanto, as bactérias fixadoras de N precisam ser eficientes na infecção das raízes e na formação de nódulos para que a FBN atenda a demanda da cultura. Cerca de 300 kg de N ha⁻¹ podem ser fixados pela soja por meio da FBN (HUNGRIA et al., 2007; HUNGRIA & MENDES, 2015). Porém, isso ocorre quando as condições do solo são favoráveis à simbiose.

O cultivo sem o revolvimento do solo e uso de plantas cobertura na entressafra é importante para a produção de soja no Brasil. Os resíduos das culturas antecessoras protegem o solo contra erosão (CARDOSO et al., 2012), reduzem a perda de umidade (RIBEIRO et al., 2016), diminuem a temperatura (RODRIGUES et al., 2018), aumentam a matéria orgânica (WULANNINGTYAS et al., 2021) e disponibilizam nutrientes no solo (GARCÍA-GONZÁLEZ et al., 2018; LANDRISCINI et al., 2019). Essa realidade contribui para um cultivo economicamente viável e sustentável da soja, pois além de beneficiar diretamente a cultura, favorece o processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN), responsável por suprir 84% do nitrogênio (N) absorvido pela cultura (HUNGRIA & MENDES, 2015).

O cultivo da soja sob resíduos de plantas de cobertura, principalmente de gramíneas, pode proporcionar maior nodulação (AKHTAR et al., 2019) e elevar a FBN (TORABIAN et al., 2019). Na Região Sul do Brasil, as gramíneas de inverno como aveia, avevém e trigo são as principais culturas utilizadas antecedendo a soja (LIMA FILHO et al., 2014). Essas culturas possuem vantagens, pois a decomposição da biomassa é mais lenta e grande parte do N está imobilizado, o que estimula a FBN (GELFAND & ROBERTSON, 2015). No entanto, além das gramíneas, outras culturas de cobertura são utilizadas antecedendo o cultivo da soja, sendo o nabo forrageiro uma planta frequentemente utilizada.

O nabo forrageiro é uma planta da família Brassicaceae, utilizada em consórcios ou em rotação com os cereais de inverno (LIMA FILHO et al., 2014). A planta apresenta uma alta

eficiência de penetração de raízes (CHEN & WEIL, 2010), sendo uma importante estratégia na descompactação biológica do solo (DEBIASI et al., 2010) e fornecimento de nutriente, em especial o nitrogênio (LIMA FILHO et al., 2014). No entanto, a cultura pode interferir na relação dos microrganismos do solo com as plantas cultivadas em sucessão.

O nabo forrageiro (LIMA, 2020) e outras culturas de cobertura não gramíneas (GITTI et al., 2012; PORTUGAL et al., 2017) provocaram redução na produtividade de milho e arroz inoculados com a bactéria *Azospirillum brasilense*. As causas foram associadas a modificação do ambiente rizosférico pelas culturas de coberturas, que podem ter favorecido crescimento elevado da população de bactérias, promovendo competição com a planta (GITTI et al., 2012; PORTUGAL et al., 2017). Além disso, as plantas da família Brassicaceae não realizam associação micorrízica (CARDOSO & ANDREOTE, 2016), o que pode interferir na presença desses microrganismos na área. Os fungos micorrízicos arbusculares podem contribuir positivamente na fixação biológica de N por bactérias em leguminosas (HACK et al., 2019).

Além da cultura de cobertura utilizada, o momento de manejo da biomassa é importante. Dependendo do estágio de manejo da biomassa pode haver diferenças na relação C/N e teor de lignina do resíduo (LANG, 2002), liberação de N (JAHANZAD et al., 2016), quantidade de biomassa na superfície e efeito do sistema radicular no solo. No manejo precoce da biomassa, com plantas no estágio vegetativo, a relação C/N e a quantidade de resíduo no solo é menor, o que acelera a decomposição, por outro lado, no manejo tardio, no estágio reprodutivo, a relação C/N e a quantidade de resíduo é maior, o que diminui a velocidade de decomposição (LANG, 2002). Portanto, diferentes condições no ambiente rizosférico podem ser construídas em função do período de manejo da biomassa das culturas de cobertura, o que pode influenciar nas bactérias inoculadas na soja.

Na cultura da soja, é recomendada a inoculação anual de bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, que são eficientes em fixar o N atmosférico (HUNGRIA & MENDES, 2015). A partir da utilização de cepas selecionadas, viáveis, em uma concentração superior a 10^8 e de um processo adequado de inoculação, espera-se que o número e massa de nódulos da soja sejam elevados. Estudos recentes também têm sugerido a inoculação mista de *Bradyrhizobium* e *Azospirillum brasilense* (coinoculação) na soja devido ao efeito sinérgico (FIPKE et al., 2016; SCHENEIDER et al., 2017; RONDINA et al., 2020). O *A. brasilense* é uma bactéria produtora de fitohormônios. E o principal fitohormônio produzido é o ácido indol-3-acético (AIA), responsável por estimular diferentes processos vegetais como a iniciação da raiz lateral e adventícias, divisão celular, alongamento do caule e raiz (CASSÁN et al., 2015). A inoculação do *A. brasilense* pode proporcionar maior tolerância das plantas aos estresses bióticos e abióticos (FUKAMI et al., 2018), ampliação do número de pêlos

radiculares e raízes secundárias e maior nodulação da soja pelo *Bradyrhizobium* (RONDINA et al., 2020). Porém, o *A. brasilense* pode afetar algumas culturas devido às diferentes condições de cultivo proporcionadas pelos resíduos das culturas antecessoras (GITTI et al., 2012; PORTUGAL et al., 2017; LIMA, 2020). Assim, o ambiente precisa ser favorável a todos os microrganismos consorciados para não ocorrer efeito antagônico entre as bactérias e prejudicar a planta (VACHERON et al., 2013).

O objetivo da pesquisa foi avaliar o efeito da cultura de cobertura de inverno, períodos de manejo da biomassa da cultura de cobertura e o tipo de inoculação sobre a nodulação e produtividade da soja.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na área didática experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (RS, Brasil) em dois anos agrícolas: safras 2019/20 e 2020/21. As coordenadas geográficas são 29°43'04" de latitude sul, 53°43'57" de longitude oeste e 116 metros de altitude. O solo da área é classificado como Argissolo Vermelho distrófico arênico (EMBRAPA, 2013), correspondente a Ultisol de acordo com a classificação do Soil Taxonomy (SOIL SURVEY STAFF, 2014). As características químicas do solo na camada 0-20 cm da área experimental foram: pH (H₂O) = 5,4 e M.O = 2,9%; argila = 28%; P = 20,4 mg dm⁻³; K = 132 mg dm⁻³; Ca = 6,3 cmol_c dm⁻³; Mg = 2,9 cmol_c dm⁻³; H + Al = 9,7 cmol_c dm⁻³; CTC = 19,2 cmol_c dm⁻³ e V% = 49,6%. O clima da região, conforme a classificação de Köppen é do tipo Cfa, subtropical sem estação seca e com verão quente (ALVARES et al., 2013). No mês mais quente a temperatura média é de 24,8°C e no mês mais frio é de 14,1°C (HELDWEIN et al., 2009). O extrato do balanço hídrico está disponível na figura 1.

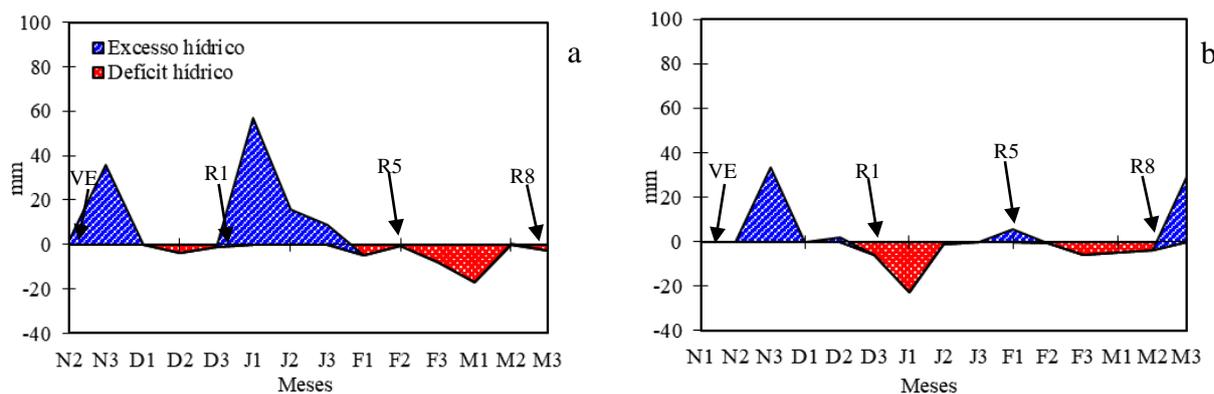


Figura 1. Extrato do balanço hídrico da cultura da soja, em escala decencial (PEREIRA et al., 2002), para a safra 2019/20 (a) e safra 2020/21 (b) em Santa Maria – RS. As setas indicam os estádios fenológicos da soja (FEHR & CANIVES, 1977).

Os experimentos foram realizados a campo segundo o delineamento blocos ao acaso, com os tratamentos distribuídos em um fatorial (2 x 3 x 2), com quatro repetições. Foram avaliadas duas coberturas de inverno: trigo (*Triticum aestivum* L.) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.); três períodos de manejo da cultura de cobertura antes da semeadura da soja: 60, 45 e 30 dias e dois tipos de inoculação apenas inoculação com *Bradyrhizobium* (Bd) e coinoculação (inoculação consorciada de *A. brasilense* e *Bradyrhizobium*) (Az+Bd). A área de cada parcela foi de 2,25 m x 7,75 m, totalizando 17,4 m².

Antes da implantação de cada experimento, as plantas daninhas foram controladas com a aplicação dos herbicidas glyphosate e 2,4 D, na dose de 1080 g e.a ha⁻¹ e 670 g e.a ha⁻¹, respectivamente. O trigo e o nabo forrageiro foram semeados na segunda quinzena do mês de junho em ambas as safras objetivando a cobertura do solo para semeadura direta da soja. Para o trigo foi utilizada a cultivar “Ponteiro” na densidade de 70 sementes m⁻¹ e para o nabo forrageiro cultivar “IPR116” a densidade foi de 109 sementes m⁻¹, ambas no espaçamento entre fileiras de 0,20 m. As adubações de base para ambas as culturas foram realizadas com 220 kg ha⁻¹ na base da fórmula 5-20-25, com a utilização de 65 kg de N ha⁻¹ (ureia) em cobertura (afilhamento do trigo e quatro folhas do nabo). O manejo das culturas de cobertura foi realizada aos 60, 45 e 30 dias antes da semeadura da soja com auxílio de um rolo faca e a aplicação de 1080 g e.a ha⁻¹ de glyphosate.

Nos tratamentos com a inoculação apenas de *Bradyrhizobium*, as sementes da soja foram misturadas com 2 ml kg⁻¹ de semente do bioinsumo contendo as estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* (SEMIA5079 e SEMIA5080 na concentração de 5x10⁹ UFC mL⁻¹). Para os tratamentos com inoculação de *Bradyrhizobium* e *A. brasilense*, as sementes de soja foram misturadas com 2 ml kg⁻¹ de sementados bioinsumos contendo as estirpes de *Bradyrhizobium*

japonicum (SEMIA5079 e SEMIA5080 na concentração de 5×10^9 UFC ml⁻¹) e 2 ml kg⁻¹ de semente contendo as estirpes de *A. brasilense* (Ab-V5 e Ab-V6, na concentração 2×10^8 UFC ml⁻¹). A semeadura da soja foi realizada com a cultivar NS 5959 IPRO de ciclo precoce e crescimento indeterminado, na densidade de 17 sementes m⁻¹ e espaçamento entre fileiras de 0,45 m. Os manejos fitossanitários foram realizados de acordo com as recomendações para a cultura soja (OLIVEIRA & ROSA, 2014).

No estágio de desenvolvimento VC da soja (FEHR & CANIVES, 1977) foram coletadas amostras para a quantificação da biomassa seca do trigo e nabo forrageiro acima do solo, um volume de 0,0005 m³ de solo na entre fileira de semeadura para quantificação de nitrato e amônio (apenas safra 2019/20) e na fileira de semeadura para quantificação da população naturalizada de *Bradyrhizobium* e *Azospirillum*. Foi obtida a quantidade de unidades formadoras de colônias (UFC) para *Bradyrhizobium* e o número mais provável (NMP) de células por grama de solo para o *Azospirillum* (Tabela 1).

Tabela 1. Massa seca da parte aérea (T/ha) das culturas de coberturas na superfície do solo, população de *Bradyrhizobium* (Bd) (UFC g/solo) e de *Azospirillum* (Az) (NNP g/solo) na camada 0-10 cm no momento da semeadura da soja.

Cobertura	Safr 2019/20			Safr 2020/21		
	Períodos de manejo			Períodos de manejo		
	30	45	60	30	45	60
Nabo forrageiro	6,0	4,4	1,9	6,3	3,5	1,1
Trigo	4,8	4,1	2,7	4,4	3,1	2,5
	Bd		Az	Bd		Az
Nabo forrageiro	1,2 x 10 ⁶		1,1 x 10 ⁵	1,1 x 10 ⁶		4,5 x 10 ⁵
Trigo	1,3 x 10 ⁷		2,0 x 10 ⁴	4,7 x 10 ⁶		1,1 x 10 ⁶

No estágio de desenvolvimento R2 (FEHR & CANIVES, 1977) da soja, coletou-se quatro plantas por parcela para quantificação do número de nódulos por planta (NNP), massa seca de nódulos por planta (MSNP) e massa seca da parte aérea (MSP). O número e a massa seca de nódulos foram avaliados coletando o volume de 20 x 20 x 20 cm de solo com pá de corte. Os nódulos das raízes foram destacados para contagem e posteriormente secados em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 72 h para quantificação da massa seca (BRANDELERO et al., 2009).

Na maturação fisiológica (estádio R8) (FEHR & CANIVES, 1977), uma área de 6 m² foi colhida para avaliação do número de vagens por planta (NVP), produtividade de grãos (PG) e massa de 1000 grãos (MMG). As plantas foram trilhadas e realizou-se a pesagem em balança analítica ajustando-se para 13% de umidade (BRASIL, 2009). Após a colheita, em ambas as safras foi determinada a densidade do solo (DS) nas parcelas do experimento. Foram

coletadas amostras de solo nas camadas 0-4, 5-9 e 10-14 cm do solo. As amostras foram obtidas com auxílio de anéis volumétricos. Na avaliação da densidade foram consideradas as diferentes coberturas, os períodos de manejo e as três camadas do solo como fatores.

Os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk e Bartlett para verificação da normalidade e homogeneidade da variância, respectivamente. Após o atendimento dos pressupostos da ANOVA, os dados das variáveis foram submetidos à análise de variância com $p < 0,05$, por meio do teste F. Quando identificada diferença significativa foi realizado o teste de separação de médias de Scott-Knott, com $p < 0,05$. O software R foi utilizado para as análises estatísticas.

3.3. RESULTADOS

Na safra 2019/20, nos estádios de enchimento dos grãos e maturação da soja verificou-se um período de déficit hídrico (Figura 1a). Na safra 2020/21, houve déficit hídrico no estágio de florescimento e maturação da soja (Figura 1b). O déficit hídrico no estágio de enchimento dos grãos da soja na safra 2020/21 foi menor do que na safra 2019/20.

Na safra 2019/20, o NNP foi influenciado pela interação entre as plantas de cobertura e o tipo de inoculação ($p < 0,01$), e pelos períodos de manejo da biomassa das plantas coberturas e o tipo de inoculação ($p < 0,01$). Na safra 2020/21, houve interação entre as plantas de cobertura e o tipo de inoculação ($p < 0,01$) e efeito isolado dos períodos de manejo da biomassa das coberturas ($p < 0,05$).

O NNP de soja na safra 2019/20 e 2021/21 com a utilização do trigo como planta de cobertura e a coinoculação foi de $70,4(\pm 11)$ e $65,7(\pm 13)$, respectivamente (Figura 2a, c). Esses valores foram significativamente 23% e 30% superiores aos encontrados na utilização do trigo e a inoculação (Figura 2a, c). Já o cultivo do nabo forrageiro no inverno e a coinoculação de bactérias na soja proporcionaram $43,1(\pm 7)$ e $54,2(\pm 5)$ NNP na safra 2019/20 e 2021/21, respectivamente. No entanto, esses resultados foram em média 28% menores do que a utilização de nabo forrageiro e a inoculação (Figura 2 a, c).

Na safra 2019/20, o cultivo de trigo no inverno e a coinoculação da soja aumentou o NNP em cerca de 63% em relação ao cultivo do nabo forrageiro e a coinoculação (Figura 2 a, c). Na safra 2020/21, não houve diferença significativa entre as duas plantas de coberturas no NNP quando foi realizada a coinoculação. O NNP de soja não diferiu para as duas plantas de cobertura (média de 58 nódulos planta⁻¹) na safra 2019/20 quando foi realizada inoculação, porém, na safra 2020/21, houve um aumento de 39% no NNP quando o nabo forrageiro foi a cultura antecessora (Figura 2 a, c).

Quando a soja foi coinoculada na safra 2019/20, o melhor período de manejo das plantas de cobertura foi aos 30 dias antes da semeadura, que proporcionou NNP de 70(\pm 16) (Figura 2 b). E quando foi feita apenas a inoculação, o melhor período foi aos 45 dias, que produziu 72(\pm 10) nódulos planta⁻¹. Na safra 2020/21, independente do cultivo antecessor e do tipo de inoculação, os melhores períodos de manejo da biomassa foram aos 30 e 45 dias antes da semeadura, com a soja produzindo 64(\pm 8) e 66(\pm 11) nódulos por planta⁻¹, respectivamente (Figura 2 d).

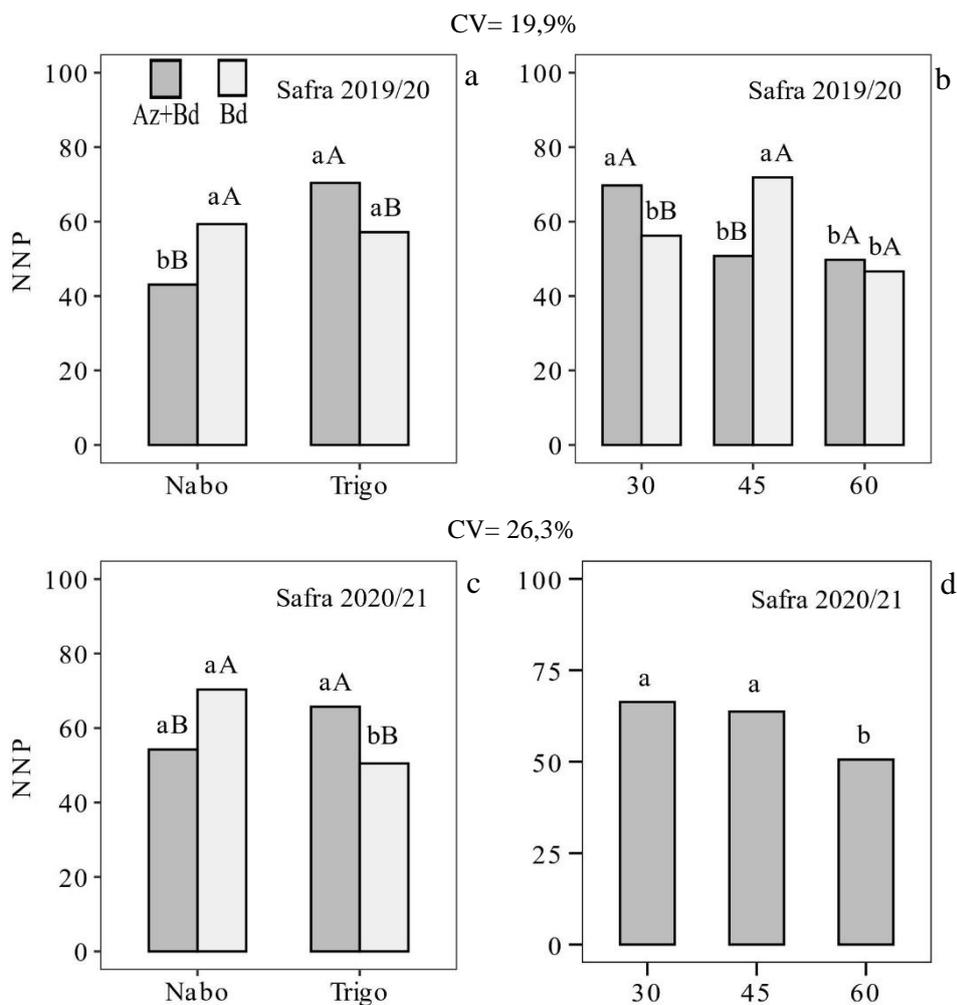


Figura 2. Número de nódulos por planta (NNP) de soja em função da interação entre as plantas de cobertura e o tipo de inoculação (a) e interação entre os períodos de manejo das culturas de coberturas antes da semeadura da soja e o tipo de inoculação (b) na safra 2019/20, interação entre as plantas de cobertura e o tipo de inoculação (c) e efeito isolado dos períodos de manejo das culturas de cobertura (d) na safra 2020/21. Barras com letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro. Letras maiúsculas comparam o tipo de inoculação dentro de cada cultura de cobertura e período, e as letras minúsculas comparam o tipo de inoculação entre as culturas de cobertura e períodos. Az+Bd, coinoculação; Bd, inoculação, Santa Maria – RS, 2022.

A MSNP de soja na safra 2019/20 foi influenciada pela interação entre os períodos de manejo das plantas de cobertura e tipo de inoculação ($p < 0,05$). Na safra 2020/21, houve efeito significativo apenas dos períodos de manejo das coberturas ($p < 0,01$).

O manejo das plantas de coberturas realizado aos 45 dias antes da semeadura da soja associada a inoculação proporcionou a maior MSNP ($0,270 \pm 0,07$ g) na safra 2019/20 (Figura 3 a). Já na safra 2020/21, o manejo das plantas de cobertura realizado aos 30 dias antes da semeadura promoveu a maior MSNP ($0,290 \pm 0,04$ g) (Figura 3 b). O manejo tardia da biomassa das plantas de cobertura na safra 2020/21 aumentou em 52,6% a MSNP de soja em relação ao manejo precoce, realizado aos 60 dias antes da semeadura.

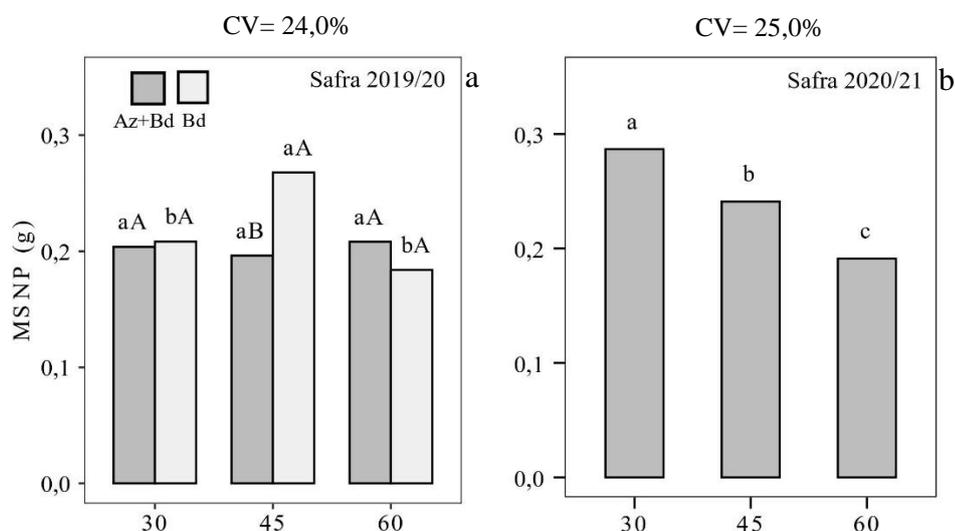


Figura 3. Massa seca de nódulos por planta (MSNP) de soja em função da interação entre os períodos de manejo da biomassa das culturas de coberturas antes da semeadura da soja e o tipo de inoculação (a) na safra 2019/20, efeito isolado dos períodos de manejo da plantas de cobertura (b) na safra 2020/21. Barras com letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam o tipo inoculação dentro de cada período de manejo, e as letras minúsculas comparam o tipo de inoculação entre os períodos. Az+Bd, coinoculação; Bd, inoculação, Santa Maria – RS, 2022.

O NVP na safra 2019/20 foi afetado significativamente ($p < 0,05$) pela interação das plantas de cobertura utilizadas e dos períodos de manejo das coberturas antes da semeadura da soja. Na safra 2020/21, o NVP por planta foi afetado significativamente ($p < 0,01$) pela interação dos períodos de manejo das coberturas e o tipo de inoculação.

Na safra 2019/20, o melhor período para realizar o manejo da biomassa do trigo foi aos 30 dias antes da semeadura da soja, visto que, proporcionou $49(\pm 4)$ vagens por planta, 35,4% maior do que o manejo da biomassa aos 60 dias (Figura 4 a). O manejo do nabo forrageiro aos 45 e 30 dias antes semeadura da soja foram os que proporcionaram os melhores resultados, $51(\pm 3)$ e $48(\pm 6)$ vagens, respectivamente. Quando foi realiza o manejo da biomassa das

culturas de cobertura aos 30 dias antes da semeadura da soja, o trigo e o nabo não diferiram, no entanto, no manejo realizado aos 45 dias, o nabo forrageiro foi superior ao trigo, com um aumento de 24,4% no número de vagens de soja. Independente da cultura de cobertura utilizada, o manejo da biomassa das culturas de cobertura aos 60 dias antes da semeadura da soja proporcionou o menor NVP (Figura 4 a).

Na safra 2020/21, para a soja coinoculada, o melhor período para realizar o manejo das culturas de coberturas foi aos 30 e 60 dias antes da semeadura (Figura 4b). Já para a soja inoculada, não houve diferença entre os períodos de manejo das coberturas para o NVP. No manejo da biomassa das culturas de cobertura mais próximo da semeadura, aos 30 dias, a coinoculação proporcionou 48(\pm 4) vagens por planta, sendo 12,4% superior a inoculação. No entanto, quando o manejo da biomassa foi realizada aos 45 dias antes da semeadura, a soja inoculada produziu 45(\pm 6) vagens, valor 27,5% superior ao da coinoculação (Figura 4 b).

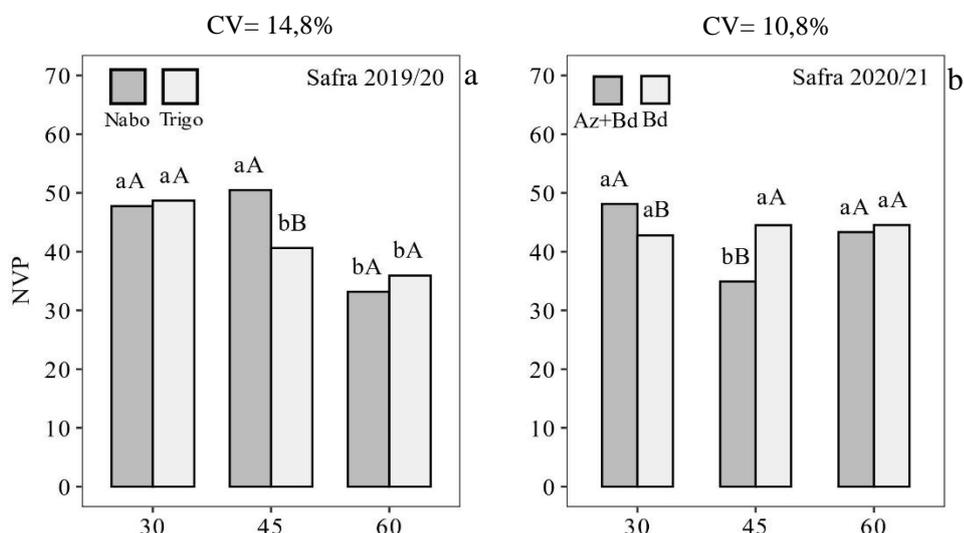


Figura 4. Número de vagens por planta (NVP) de soja em função da interação entre as plantas de cobertura e os períodos de manejo das coberturas antes da semeadura (a) na safra 2019/20, interação entre os períodos de manejo das plantas de coberturas e o tipo de inoculação (b) na safra 2020/21. Barras com letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam as plantas de cobertura e o tipo de inoculação dentro de cada período de manejo, e as letras minúsculas comparam as plantas de cobertura e o tipo de inoculação entre os períodos. Az+Bd, coinoculação; Bd, inoculação, Santa Maria – RS, 2022.

A PG de soja na safra 2019/20 foi influenciada significativamente ($p < 0,05$) pela interação dos períodos de manejo e tipo de inoculação, bem como, pelo efeito isolado das culturas de cobertura ($p < 0,01$). Na safra 2020/21, a PG de soja foi afetada pelas plantas coberturas e períodos de manejo das culturas de coberturas antes da semeadura ($p < 0,01$).

Na safra 2019/20, a PG da soja não diferiu entre os períodos de manejo para a inoculação e coinoculação (Figura 5 a). No entanto, quando o manejo das culturas de coberturas foi realizada aos 30 dias antes da semeadura, a soja que recebeu a coinoculação foi superior a soja que recebeu a inoculação, tendo um ganho de 9% de PG, atingindo $3.919(\pm 283)$ kg ha⁻¹. Ainda na safra 2019/20, o nabo forrageiro antecedendo a soja foi melhor do que o trigo, proporcionando um aumento de 6,6% na PG (Figura 5 b).

Na safra 2020/21, o manejo do nabo forrageiro aos 60, 45 e 30 dias antes da semeadura da soja não alterou a PG da cultura (Figura 5 c). Por outro lado, o manejo precoce do trigo, aos 60 e 45 dias antes da semeadura, proporcionou produtividades de soja inferiores a realizada aos 30 dias. O manejo da biomassa do trigo aos 30 dias antes da semeadura da soja proporcionou $4.305(\pm 299)$ kg ha⁻¹ de grãos, um aumento de 16,3% na produtividade em relação aos 60 dias antes da semeadura. O nabo forrageiro proporcionou maior produtividade em relação ao trigo apenas quando as culturas de coberturas foram manejadas aos 60 dias antes da semeadura, na qual a soja produziu $4.149(\pm 306)$ kg ha⁻¹, um aumento de 12%.

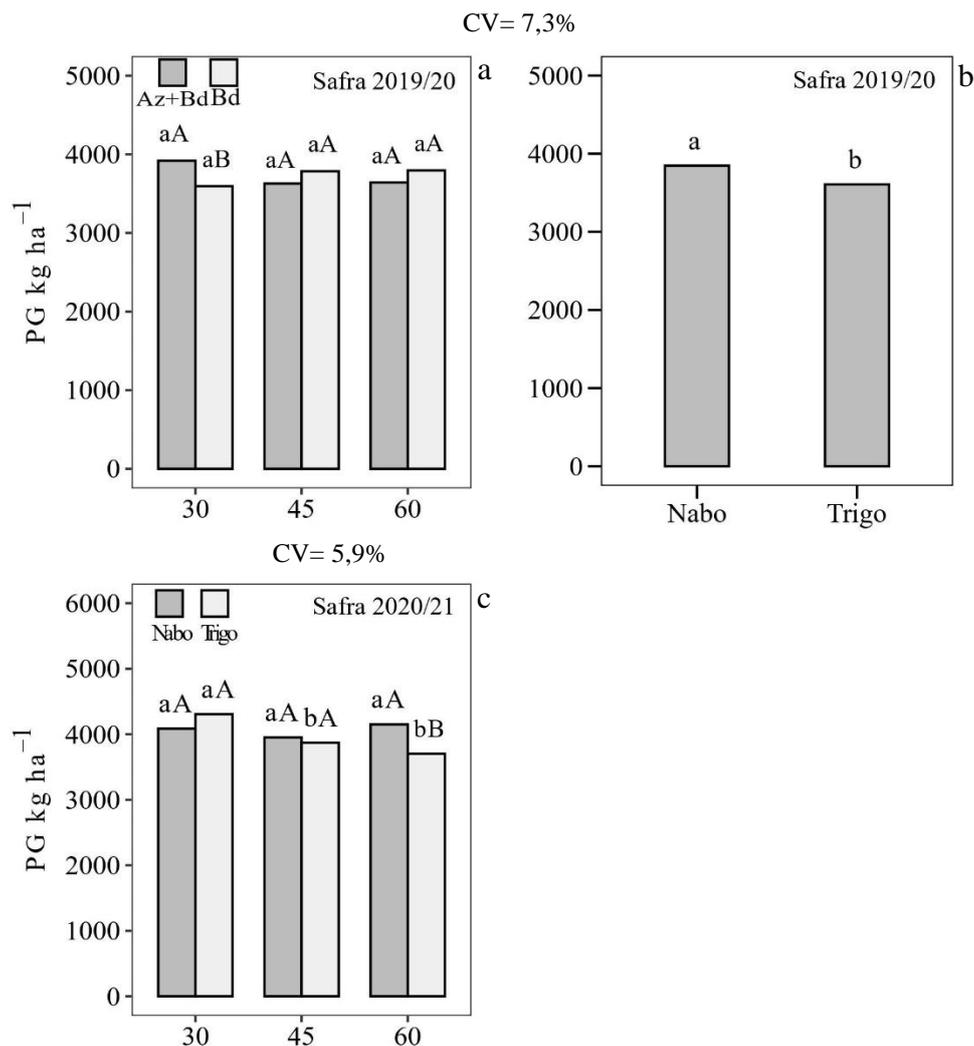


Figura 5. Produtividade de grãos de soja (PG) em função da interação entre os períodos de manejo das culturas de coberturas antes da semeadura da soja e tipo de inoculação (a) e efeito isolado das culturas de cobertura (b) na safra 2019/20, interação entre os períodos de manejo das culturas coberturas e as plantas de cobertura (c) na safra 2020/21. Barras com letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam o tipo de inoculação e as plantas de cobertura dentro de cada período de manejo, e as letras minúsculas comparam o tipo de inoculação e as plantas de cobertura entre os períodos. Az+Bd, coinoculação; Bd, inoculação, Santa Maria – RS, 2022.

Na safra 2019/20, a menor DS ($1,47 \text{ g cm}^3$) foi observada quando a área foi cultivada com nabo forrageiro e a biomassa terminada aos 45 dias antes da semeadura da soja. Já a maior DS ($1,63 \text{ g cm}^3$) foi encontrada quando o trigo foi utilizado como planta de cobertura e a biomassa terminada aos 60 dias antes da semeadura da soja (Figura 6 a). A camada de 0-4 cm apresentou a maior densidade do solo nos três períodos de manejo, porém quando as plantas de cobertura foram manejadas precocemente, aos 60 dias antes do plantio, a camada de 5-9 cm não diferiu da camada 0-4 cm (Figura 6 b). Na safra 2020/21, a menor DS foi observada quando o nabo forrageiro foi cultivado na área e a biomassa terminada aos 30 dias antes da semeadura da soja (Figura 6 c-e).

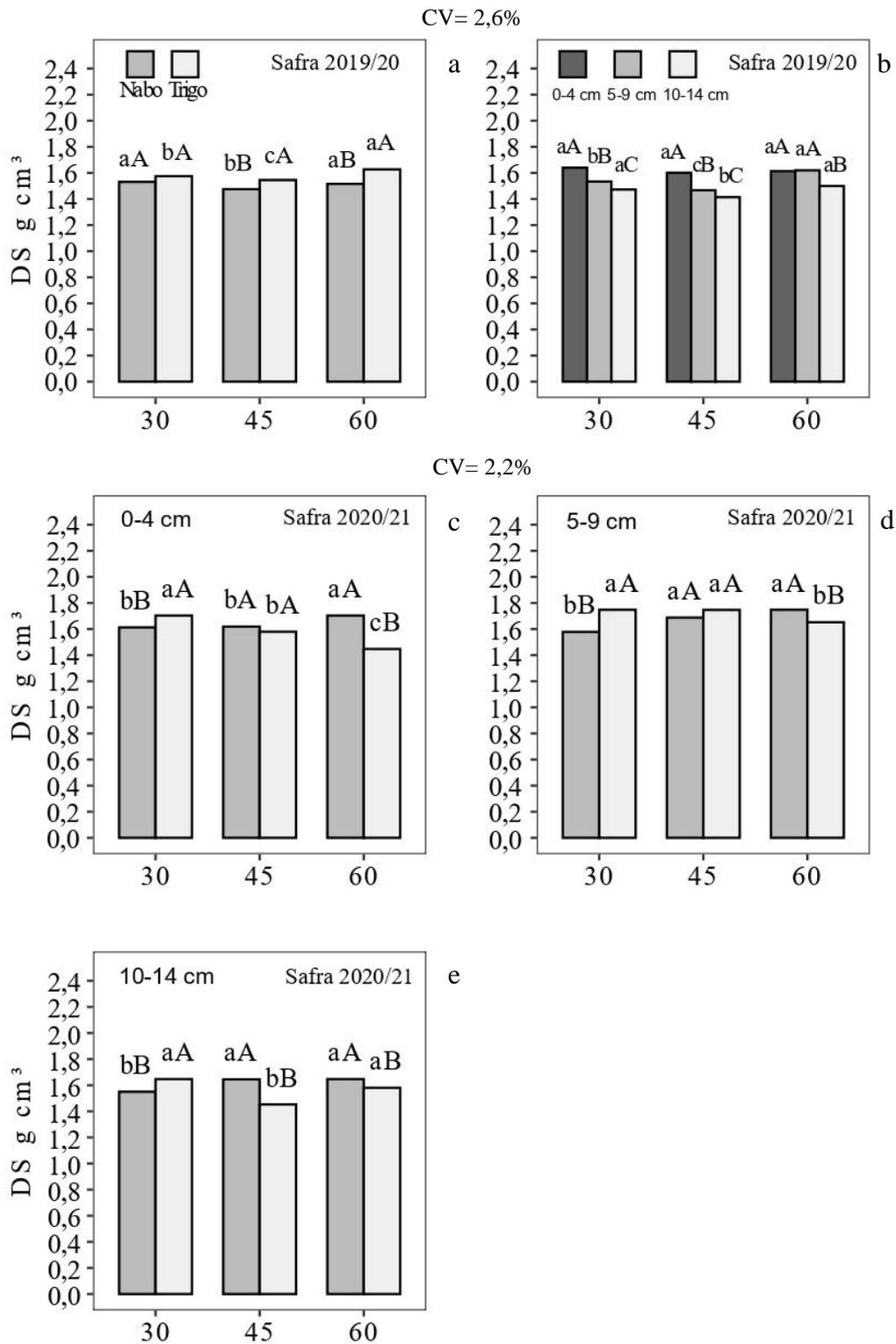


Figura 6. Densidade do solo (DS) em função das plantas coberturas, períodos de manejo da biomassa antes da semeadura da soja e diferentes camadas do solo. Safra 2019/20, interação entre as plantas coberturas e os períodos de manejo da biomassa e interação das diferentes camadas do solo e períodos de manejo das coberturas. Safra 2020/21, interação entre as coberturas, período de manejo e diferentes camadas do solo. Barras com letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam as plantas coberturas e as camadas do solo em cada período de manejo, e as letras minúsculas comparam as plantas de cobertura e as camadas de solo entre os períodos de manejo, Santa Maria – RS, 2022.

O teor de amônio e nitrato no solo na safra 2019/20 e a MSP da soja na safra 2019/20 e 2020/21 não foram alteradas pelos tratamentos a $p < 0,05$ (Tabela 2). A MMG na safra 2019/20 foi maior para o nabo forrageiro ($p < 0,01$). Na safra 2020/21, a MMG não foi afetada significativamente pelos tratamentos.

Tabela 2. Médias do teor de nitrato e amônio no solo, massa seca da parte aérea (MSP) e massa de 1000 grãos (MMG) da soja em função das plantas de cobertura, períodos de manejo da biomassa e tipos de inoculação na safra 2019/20 e 2020/21.

	Safras					
	2019/20		2019/20	2020/21	2019/20	2020/21
	Amônio	Nitrato	MSP		MMG	
Coberturas	mg/kg		(g/planta)		(g)	
Nabo forrageiro	10,3	6,6	12,0	11,0	156,6 a*	217,3
Trigo	11,5	7,0	11,7	10,3	149,6 b	218,8
Períodos						
30	10,1	6,0	12,5	11,1	153,6	213,8
45	12,0	6,6	12,0	10,8	152,1	220,4
60	10,5	7,8	10,7	9,9	153,7	219,8
Tipos de inoculação						
Inoculação	11,1	6,6	12,3	10,3	154,8	217,9
Coinoculação	10,7	7,0	11,2	10,9	151,4	218,1
CV(%)	32	39	23	19	3,8	4,3

*, significativo ($p < 0,01$) pelo teste de Scott-Knott.

3.4 DISCUSSÃO

O cultivo da soja sobre a palhada é uma estratégia que pode melhorar a simbiose (FREITAS et al., 2022). No entanto, as diferenças entre os resíduos das culturas de cobertura podem causar algumas mudanças na rizosfera que afeta a coinoculação na soja. Nessa pesquisa houve interação entre as culturas de cobertura utilizadas e a coinoculação na nodulação da soja. O cultivo do trigo na entressafra e a coinoculação aumentaram a nodulação da soja em relação ao nabo forrageiro e a coinoculação (Figura 2 a, c).

O menor NN observado nas duas safras de soja cultivada em sucessão ao nabo forrageiro e a coinoculação confirmou a hipótese de que a planta de cobertura pode implicar no tipo de inoculação. No entanto, ainda falta compreender quais fatores contribuem para este efeito. Uma hipótese é de que nabo forrageiro criou condições favoráveis para o *A. brasilense* aumentar sua população no solo e a adição de mais *A. brasilense* ao meio pela coinoculação pode ter gerado maior competição entre as bactérias, vindo a causar redução do número de nódulos. De fato, no primeiro ano agrícola, o campo cultivado com nabo forrageiro no

inverno apresentou no dia da semeadura da soja uma menor população de *Bradyrhizobium* e maior *A. brasilense* (Tabela 1).

As estratégias de manejo das plantas de cobertura podem impactar na diversidade e abundância bacteriana no solo devido aos atributos como o pH, N total, C orgânico, umidade (ROMDHANE et al., 2019) e interação com fungos micorrízicos (CARDOSO & ANDREOTE, 2016). O nabo forrageiro, por exemplo, é planta com alto potencial de ciclagem de N (ACOSTA et al., 2014), mas não realiza associação micorrízica (CARDOSO & ANDREOTE, 2016). Os fungos micorrízicos associados às raízes podem ter grande impacto na colonização bacteriana, visto que, as bactérias podem reconhecer compostos voláteis de fungos e alterar parâmetros fenotípicos com a motilidade (SCHMIDT et al., 2016).

Alguns tipos de plantas de cobertura podem afetar os componentes produtivos das culturas cultivadas em sucessão que são inoculadas com o *A. brasilense*. Em milho, o cultivo de nabo forrageiro na entressafra e a inoculação com *A. brasilense* reduziu a produtividade da cultura (LIMA, 2020). As culturas de coberturas que aumentam a concentração de N no solo podem favorecer o *A. brasilense* (GITTI et al., 2012; PORTUGAL et al., 2017), que ao invés de aumentar o crescimento das plantas, pode acabar inibindo, pela produção excessiva de fitohormônios (YAHALOM et al., 1991). O N pode estimular a produção de auxinas pelo *A. brasilense* (RADWAN et al., 2004), no entanto, no estudo, as contrações de N observada no solo no estágio VC na safra 2019/20 foi similar para o trigo e o nabo forrageiro (Tabela 2).

Para as variáveis massa de nódulos, número de vagens e produtividade de grãos, o período de manejo da biomassa das culturas de cobertura antes da semeadura da soja foi importante. No geral, o manejo das culturas de cobertura mais próximo da semeadura da soja (30 dias) melhorou as variáveis de nodulação e produtividade. Isso pode estar relacionado com a maior quantidade de palha na superfície do solo (Tabela 1), devido ao maior tempo de acúmulo de biomassa. O aumento da palhada de trigo pode proporcionar maiores valores para o número de nódulos da soja (AKHTAR et al., 2019), devido a maior umidade do solo e a menor flutuação da temperatura (SICZEK & LIPIEC 2011). Em cultivos não irrigado, a palhada é eficiente em aumentar a nodulação da soja (KADER et al., 2019) e a fotossíntese da cultura (AKHTAR et al., 2019).

As duas safras agrícolas foram caracterizadas por períodos de restrição hídrica prolongados, principalmente no enchimento dos grãos (Figura 1 a, b). O déficit hídrico é o principal fator que pode causar redução do número de vagens, o que é devido à queda excessiva de flores durante o florescimento. No entanto, manejos que atenuam os efeitos da falta de água durante o florescimento contribuem para o aumento do número de vagens. No experimento, foi observado que o manejo tardia da biomassa das culturas de cobertura e a

coinoculação proporcionaram melhores resultados. O manejo tardio das culturas de cobertura é importante para proporcionar uma maior quantidade de resíduo vegetal na superfície do solo e manter uma maior umidade e menor flutuação da temperatura (SICZEK & LIPIEC 2011). A coinoculação pode aumentar a tolerância da planta contra os estresses abióticos devido à produção de fitohormônios pelo *A. brasilense* (FUKAMI et al., 2018).

O aumento no intervalo entre o manejo da biomassa das coberturas de inverno e a semeadura da soja diminuiu o número de vagens. Isso ficou mais evidente para a soja cultivada após o trigo na safra 2019/20 (Figura 4 a), safra com maior período de déficit hídrico no enchimento de grãos (Figura 1 a). O resultado inferior do trigo em relação ao nabo forrageiro observado aos 45 dias pode estar relacionado com a maior densidade do solo para o trigo (Figura 6 a), uma vez que, a quantidade de palha na superfície do solo nas duas culturas foi similar (Tabela 1). O nabo forrageiro é uma cultura que apresenta alta eficiência de penetração das raízes (CHEN & WEIL, 2010), com capacidade de descompactação do solo (DEBIASI et al., 2010), fator que pode ter contribuído para ser superior ao trigo nesse período de manejo da biomassa.

O manejo da biomassa das culturas de cobertura aos 30 dias antes da semeadura aumentou a produtividade da soja, sendo que isso ficou mais evidente para o trigo (Figura 5 b). No manejo da biomassa aos 45 dias, o nabo forrageiro é a melhor opção, pois produziu elevada quantidade de biomassa, diminuiu a densidade do solo e manteve a produtividade. O nabo forrageiro é uma alternativa para melhorar os atributos físicos do solo e aumentar a produtividade da soja (NICOLOSO et al., 2008).

A coinoculação aumentou a produtividade da soja comparado a inoculação isolada quando as culturas de coberturas foram manejadas aos 30 dias antes da semeadura da soja (Figura 5 a). Essa técnica tem proporcionado aumento da produtividade da soja (FIPKE et al., 2016; FERRI et al., 2017; SCHENEIDER et al., 2017), pois há efeito sinérgico das duas bactérias, que proporcionam maior tolerância das plantas aos estresses bióticos e abióticos e melhoram o desempenho da planta em condições adversas (FUKAMI et al., 2018). Isso pode ser verificado no estudo, visto que, nas duas safras houve períodos de déficit hídrico longos (Figura 1), e a coinoculação elevou a produtividade.

3.5 CONCLUSÃO

O uso do nabo forrageiro no inverno e a coinoculação reduziu o NN da soja. Contudo o nabo forrageiro melhorou a densidade do solo e incrementou a produtividade de grãos de soja. O manejo tardio da biomassa do nabo forrageiro e do trigo (30 dias antes da semeadura da

soja) e a coinoculação proporcionaram melhores resultados para a cultura da soja. O período de manejo da biomassa das culturas de cobertura foi o fator mais importante na maioria das variáveis avaliadas.

REFERÊNCIAS

ACOSTA, J. A de A. et al. Decomposição da fitomassa de plantas de cobertura e liberação de nitrogênio em função da quantidade de resíduos aportada ao solo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 44, n. 5, p. 801-809, mai. 2014. Disponível em <<https://www.scielo.br/j/cr/a/7vtYZ4w6PcpFFXDxHJMGggK/abstract/?lang=pt>>. Acesso: 18 set. 2021. doi: 10.1590/S0103-84782014005000002.

AKHTAR, K. et al. Wheat straw mulching offset soil moisture deficient for improving physiological and growth performance of summer sown soybean. **Agricultural Water Management**, v. 211, p. 16-25, jan. 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377418305559>>. Acesso: 8 set. 2021. doi: 10.1016/j.agwat.2018.09.031.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, jan. 2013. Disponível em: <https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil>. Acesso: 5 mai. 2019. doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507.

BRANDELERO, E. M. et al. Nodulação de cultivares de soja e seus efeitos no rendimento de grãos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 30, n. 3, p. 581-588, jul/set. 2009. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/4457/445744093008.pdf>>. Acesso: 12 set. 2021. doi: 10.5433/1679-0359.2009v30n3p58.

BRASIL - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. **Secretaria de Defesa Agropecuária**, Brasília, 2009. 399p. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise__sementes.pdf>. Acesso: 8 mai. 2020.

CASSÁN, F. D. et al. Handbook for *Azospirillum*. **Springer**, v. 10, p. 978-3, 2015. Disponível em: <<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-06542-7?noAccess=true#toc>>. Acesso: 12 set. 2021. doi: 10.1007/978-3-319-06542-7.

CARDOSO, D. P. et al. Plantas de cobertura no controle das perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 632-638, jun. 2012. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/8dWRD5SN4rhnfchrYsVJskd/abstract/?lang=pt>>. Acesso: 11 set. 2021. doi: 10.1590/S1415-43662012000600007.

CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. 2ed. Piracicaba: ESALQ, 2016. 221p.

CHEN, G.; WEIL, R. R. Penetration of cover crop roots through compacted soils. **Plant and Soil**, v. 331, n. 1, p. 31-43, nov. 2010. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-009-0223-7>>. Acesso: 15 set. 2021. doi: 10.1007/s11104-009-0223-7.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. **Conab**, v. 8, p. 1-108, 2021. Disponível em:<<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso: 27 set. 2021.

DEBIASI, H. et al. Produtividade de soja e milho após coberturas de inverno e descompactação mecânica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 6, p. 603-612, jun. 2010. Disponível em:<<https://www.scielo.br/j/pab/a/6GN8qpwyZtQGdm8wYp3P6t/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso: 16 set. 2021. doi:10.1590/S0100-204X2010000600010.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 2013. 353p.

FEBRAPDP - Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha. **Evolução da área de plantio no Brasil**. 2021. Disponível em:<<https://febrapdp.org.br/download/14588evolucao-pd-nobasil-2021-jpg.jpg>>. Acesso: 30 nov. 2021.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 15p. (Special Report, 80)

FERRI, G. C. et al. Effects of associated co-inoculation of *Bradyrhizobium japonicum* with *Azospirillum brasilense* on soybean yield and growth. **African Journal of Agricultural Research**, v.12, n. 1, p. 6-11, jan. 2017. Disponível em:<<https://academicjournals.org/journal/AJAR/article-abstract/32CC5CC62225>>. Acesso: 02 abr. 2021. doi:10.5897/AJAR2016.11711.

FIPKE, G. M. et al. Co-inoculation with diazotrophic bacteria in soybeans associated to urea topdressing. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n. 5, p. 522-533, sep/oct. 2016. Disponível em:<<https://www.scielo.br/j/cagro/a/6nvw8HzbRJBf4Q93bDtBjsw/?format=pdf&lang=en>>. Acesso: 02 abr. 2021. doi:10.1590/1413-70542016405001316.

FREITAS, V. F. et al. Strategies to deal with drought-stress in biological nitrogen fixation in soybean. **Applied Soil Ecology**, v. 172, p. 104352, apr. 2022. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139321004753>>. Acesso: 20 dez. 2021. doi:10.1016/j.apsoil.2021.104352.

FUKAMI, J.; CERZINI, P.; HUNGRIA, M. *Azospirillum*: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. **AMB Express**, v. 8, n. 73, p. 1-12, may. 2018. Disponível em:<<https://link.springer.com/article/10.1186/s13568-018-0608-1>>. Acesso: 02 set. 2021. doi:10.1186/s13568-018-0608-1.

GARCÍA-GONZÁLEZ, I. et al. Cover crops to mitigate soil degradation and enhance soil functionality in irrigated land. **Geoderma**, v. 322, n. 15, p. 81-88, jul. 2018. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706117322309>>. Acesso: 12 set. 2021. doi:10.1016/j.geoderma.2018.02.024.

GELFAND, I; ROBERTSON, G. P. A reassessment of the contribution of soybean biological nitrogen fixation to reactive N in the environment. **Biogeochemistry**, v. 123, n. 1-2, p. 175-184, dec. 2015. Disponível em:<<https://link.springer.com/article/10.1007/s10533-014-0061-4>>. Acesso: 12 set. 2021. doi:10.1007/s10533-014-0061-4.

GITTI, D. D. C. et al. Coberturas vegetais, doses de nitrogênio e inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* em arroz de terras altas no sistema plantio direto. **Bragantia**, v. 71, n. 4, p. 509-517, out. 2012. Disponível em:<<https://www.scielo.br/j/brag/a/HFBVxnLXhQVrKRwTTtHbgWk/abstract/?lang=pt>>. Acesso: 09 set. 2021. doi:10.1590/S0006-8705201300500 0002.

HACK, C. M. et al. Arbuscular mycorrhiza mediated effects on growth, mineral nutrition and biological nitrogen fixation of *Melilotus alba* Med. in a subtropical grassland soil. **Applied Soil Ecology**, v. 134, p. 38-44, feb. 2019. Disponível em:<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139318306760?casa_token=ZypO6DqFLYoAAAAA:YsILuNG9B_a_cPJY1uSYb9XnZ5S_t-H6mJuTMkE8bI9KNtaPygk8WNIarlb3mSLnNbZF8WAL0uo>. Acesso: 14 set. 2021. doi: 10.1016/j.apsoil.2018.10.008.

HELDWEIN, A. B. et al. O clima de Santa Maria. **Ciência e Ambiente**, v. 38, n. 1, p. 43-58, jan/jun. 2009.

HUNGRIA, M.; MENDES, I. C. Nitrogen fixation with soybean: the perfect symbiosis?. In: DE BRUIJN, F. J. **Biological nitrogen fixation**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2015. Cap.99, p.1009-1024.

JAHANZAD, E. et al. Nitrogen release dynamics and decomposition of buried and surface cover crop residues. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 4, p. 1735-1741, jul. 2016. Disponível em:<<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2134/agronj2016.01.0001>>. Acesso: 14 set. 2021. doi:10.2134/agronj2016.01.0001.

KADER, M. A. et al. Soil hydro-thermal regimes and water use efficiency of rain-fed soybean (*Glycine max*) as affected by organic mulches. **Agricultural Water Management**, v. 223, p. 105707, aug. 2019. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377418303317>>. Acesso: 02 out. 2021. doi:10.1016/j.agwat.2019.105707.

LANDRISCINI, M. R. et al. Nitrogen balance in a plant-soil system under different cover crop-soybean cropping in Argentina. **Applied Soil Ecology**, v. 133, p. 124-131, jan. 2019. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139318304591>>. Acesso: 14 set. 2021. doi:10.1016/j.apsoil.2018.10.005.

LANG, C. R. Dinâmica da decomposição e liberação de nutrientes da palhada de aveia preta e nabo forrageiro cortadas em diferentes estágios de desenvolvimento. **Scientia Agraria**, v. 3, n. 1-2, p. 115, 2002. Disponível em:<<https://www.redalyc.org/pdf/995/99517939018.pdf>>. Acesso: 14 set. 2021. doi:10.5380/rsa.v3i1.1042.

LIMA, C. dos S. **Rendimento da cultura do milho em resposta à inoculação com *Azospirillum brasilense* associado às diferentes doses de nitrogênio e plantas de cobertura**. 2020. 42f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Graduação em Agronomia, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.

LIMA FILHO, O. F. et al. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília: Embrapa, 2014. 512p.

NICOLOSO, R. da S. et al. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1723-1734, ago. 2008. Disponível

em:<<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/p4q4Ds46LZ95rhxgwwRympp/abstract/?lang=pt>>. Acesso: 02 nov. 2021. doi:10.1590/S0100-06832008000400037.

OLIVEIRA, A. C. B.; ROSA, A. P. S. A. **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2014/2015 e 2015/2016**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2014. 124p. (Documentos, 382).

PAGANO, M. C.; MIRANSARI, M. The importance of soybean production worldwide. In: Miransari, M. **Abiotic and biotic stresses in soybean production**. Isfahan: Academic Press, 2016. Cap.1, p.1-26.

PEREIRA, A. R. et al. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2002. 478p.

PORTUGAL, J. R. et al. Coberturas vegetais, doses de nitrogênio e inoculação com *Azospirillum brasilense* em milho no Cerrado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 4, p. 639, out/dec. 2017. Disponível em:<<https://www.scielo.br/j/rca/a/sMgZHsKFbkJKM9FRvkwHRgR/abstract/?lang=pt>>. Acesso: 09 set. 2021. doi:10.5935/1806-6690.20170074.

RIBEIRO, L. Da S. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos de solo coeso sob sistemas de manejo convencional e de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1699-1702, set. 2016. Disponível em:<<https://www.scielo.br/j/pab/a/QmJjkySRpnSjGtNyBG8VcZH/abstract/?lang=pt>>. Acesso: 09 set. 2021. doi:10.1590/S0100-204X2016000900071.

RODRIGUES, G. A. et al. Oscilações da temperatura do solo em função de quantidades de palha e horários ao longo do dia. **Revista Interface Tecnológica**, v. 15, n. 1, p. 293-304, jun. 2018. Disponível em:<<https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica/article/view/353>>. Acesso: 09 set. 2021. doi:10.31510/infa.v15i1.353.

ROMDHANE, S. et al. Cover crop management practices rather than composition of cover crop mixtures affect bacterial communities in no-till agroecosystems. **Frontiers in Microbiology**, v. 10, p. 1618, 2019. Disponível em:<<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2019.01618/full>>. Acesso: 10 set. 2021. doi:10.3389/fmicb.2019.01618.

RONDINA, A. B. L. et al. Changes in root morphological traits in soybean co-inoculated with *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense* or treated with *A. brasilense* exudates. **Biology and Fertility of Soils**, p. 1-13, mar. 2020. Disponível em:<<https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-020-01453-0#citeas>>. Acesso: 10 set. 2021. doi:10.1007/s00374-020-01453-0.

SCHENEIDER, F. et al. Eficiência agronômica da cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) submetida a coinoculação. **Scientia Agraria**, v. 18, n. 4, p. 72-79, out/dez. 2017. Disponível em:<<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6294992>>. Acesso: 12 dez. 2021. doi:10.5380/rsa.v18i4.52047.

SCHMIDT, R. et al. Microbial small talk: volatiles in fungal-bacterial interactions. **Frontiers in Microbiology**, v.6, p. 1495, jan. 2016. Disponível em:<<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2015.01495/full>>. Acesso: 12 dez. 2021. doi:10.3389/fmicb.2015.01495.

SICZEK, A.; LIPIEC, J. Soybean nodulation and nitrogen fixation in response to soil compaction and surface straw mulching. **Soil and Tillage Research**, v. 114, n. 1, p. 50-56,

jul. 2011. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198711000791>>. Acesso: 20 dez. 2021. doi:10.1016/j.still.2011.04.001.

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to Soil Taxonomy by Soil Survey Staff Twelfth Edition**. Washington: Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, 2014. 362p.

TORABIAN, S.; FARHANGI-ABRIZ, S.; DENTON, M. D. Do tillage systems influence nitrogen fixation in legumes? A review. **Soil and Tillage Research**, v. 185, p. 113-121, jan. 2019. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198718310201>>. Acesso: 14 dez. 2021. doi:10.1016/j.still.2018.09.006.

VACHERON, J. et al. Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning. **Frontiers in plant science**, v. 4, p. 356, sep. 2013. Disponível em:<<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2013.00356/full>>. Acesso: 20 dez. 2021. doi:10.3389/fpls.2013.00356.

WULANNINGTYAS, H. S. et al. A cover crop and no-tillage system for enhancing soil health by increasing soil organic matter in soybean cultivation. **Soil and Tillage Research**, v. 205, p. 104749, jan. 2021. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198720305316>>. Acesso: 20 dez. 2021. doi:10.1016/j.still.2020.104749.

YAHALOM, E. et al. Effect of inoculation with *Azospirillum brasilense* strain Cd and *Rhizobium* on the root morphology of burr medic (*Medicago polymorpha* L.). **Israel Journal of Botany**, v. 40, n. 2, p. 155-164, apr. 1991. Disponível em:<<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0021213X.1991.10677188>>. Acesso: 04 set. 2021. doi:10.1080/0021213X.1991.10677188.

4 ARTIGO 2 - A CULTURA DE COBERTURA DE INVERNO E SEU PERÍODO DE MANEJO INTERFEREM NA NODULAÇÃO E CRESCIMENTO DA SOJA COINOCULADA

Resumo: os resíduos de culturas de cobertura do solo e a inoculação da soja com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum brasilense* podem melhorar a nodulação e o crescimento da cultura. No entanto, essa melhoria depende da interação entre os resíduos das culturas de cobertura e as bactérias. A espécie utilizada como cobertura do solo e o período de manejo da biomassa são os principais influenciadores nessa interação. O objetivo da pesquisa foi avaliar o efeito das culturas de cobertura de inverno, do período de manejo da biomassa da planta de cobertura na nodulação e crescimento da soja coinoculada. O experimento foi conduzido em vasos entre os meses de junho e dezembro de 2020. Os tratamentos envolveram três plantas de cobertura: TG, trigo (*Triticum aestivum* L.), NB, nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), EV, ervilhaca (*Vicia sativa* L.) e TS, testemunha, três períodos de manejo da biomassa: 60, 45 e 30 dias e dois tipos de inoculação: inoculação com *Bradyrhizobium* (inoculação) e inoculação mista de *A. brasilense* e *Bradyrhizobium* (coinoculação). Foram avaliados o número e massa seca de nódulos, massa seca da raiz e parte aérea no estágio R1. O número e massa seca de nódulos, massa seca da raiz e parte aérea foram beneficiados com o cultivo do TG, NB e EV, principalmente, na biomassa manejada aos 30 dias antes da semeadura da soja. No entanto, o número de nódulos da soja foi 23% superior para TG e a coinoculação em relação ao NB. O tipo de inoculação e o período de manejo da biomassa causaram menor alteração na nodulação e crescimento da soja quando o TG foi utilizado.

Palavras-chave: *Azospirillum brasilense*. *Bradyrhizobium*. Inoculação mista. *Glycine max*. Plantas de cobertura.

WINTER COVER CROP AND ITS MANAGEMENT PERIOD AFFECT NODULATION AND GROWTH OF COINOCULATED SOYBEAN

Abstract: Cover crop residues and inoculation of soybean with *Bradyrhizobium* and *Azospirillum brasilense* can improve nodulation and crop growth. However, this improvement depends on the interaction between the cover crop residues and the bacteria. The species used as soil cover and the period of biomass management are the main influencers in this interaction. The objective of the research was to evaluate the effect of winter cover crops, the time of termination of cover crop biomass on nodulation and the growth of co-inoculated soybean. The treatments involved three cover crops: TG, wheat (*Triticum aestivum* L.), NB, forage turnip (*Raphanus sativus* L.), EV, vetch (*Vicia sativa* L.) and TS, a control, three biomass termination timing: 60, 45 and 30 days and two types of inoculation: inoculation with *Bradyrhizobium* (*Bd*) and mixed inoculation of *A. brasilense* and *Bradyrhizobium* (*Az+Bd*). The number and dry weight of nodules, roots and shoot dry weight were evaluated at the R1 stage. The number and dry mass of nodules, root and aboveground dry mass were benefited by growing TG, NB and EV, mainly, in the biomass managed at 30 days before soybean sowing. However, the number of nodules of soybean was 23% higher for TG and coinoculation compared to NB. The type of inoculation and biomass management period caused less change in nodulation and growth of soybean when TG was used.

Key words: *Azospirillum brasilense*. *Bradyrhizobium*. Mixed inoculation. *Glycine max*. Cover crops.

4.1. INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merr.] é a quarta cultura mais cultivada no mundo, sendo a principal fonte de proteína utilizada para alimentação humana e animal (FAO, 2021). No Brasil, a soja é a cultura mais cultivada, com uma área de 38,5 milhões de hectares na safra 2020/21 (CONAB, 2021). O principal sistema de cultivo da cultura no país é o plantio direto (PD), sem o revolvimento do solo e uso de plantas cobertura na entressafra (FEBRAPDP, 2021).

No manejo conservacionista do solo, PD, de 30% a 90% dos resíduos da cultura anterior são mantidos na superfície do solo (CTIC, 2021). Em ambientes tropicais e subtropicais, a manutenção dos resíduos na superfície do solo é fundamental para a sustentabilidade agrícola. A semeadura sobre a palhada pode melhorar consideravelmente o uso do N no ambiente cultivado (ZHANG et al., 2020), aumentar a nodulação e a fixação biológica de nitrogênio (FBN) em leguminosas (TORABIAN et al., 2019).

A cobertura vegetal pode influenciar diretamente no crescimento da soja e no desenvolvimento das bactérias simbióticas, que também são necessárias para o crescimento da cultura (TORABIAN et al., 2019). A palhada formada após o manejo da biomassa das plantas de cobertura diminui a perda de umidade (RIBEIRO et al., 2016), a temperatura do solo (RODRIGUES et al., 2018) e fornece nutrientes (LIMA FILHO et al., 2014). Em soja coinoculada, verificou-se maior nodulação quando a umidade do solo situou-se entre 56 e 96% (DEAK et al., 2019).

As gramíneas são as culturas mais utilizadas como cobertura do solo para semeadura direta de culturas de grãos leguminosas (LIMA FILHO et al., 2014). Devido à grande parte do N estar imobilizado e ser liberado lentamente, a contribuição da FBN é maior (GELFAND & ROBERTSON, 2015). Na Região Sul do Brasil, diversas plantas sendo utilizadas antecedendo à soja, com destaque para o nabo forrageiro e a ervilhaca. As principais vantagens do nabo forrageiro são a alta eficiência de penetração das suas raízes, que atua na redução da compactação do solo (CHEN & WEIL, 2010), e a ciclagem de nutrientes (LIMA FILHO et al., 2014). A ervilhaca é importante, principalmente, no fornecimento de N (ACOSTA et al., 2014).

As melhorias do ambiente edáfico proporcionadas pelas plantas de cobertura para as bactérias e a soja são evidentes na literatura. No entanto, quando é realizada a inoculação consorciada de bactérias na soja, o tipo de planta de cobertura utilizada e o período de manejo da biomassa podem ser determinantes. As diferenças na produção de biomassa, composição

química da biomassa, sistema radicular, relação carbono/nitrogênio, e que também dependem do período de manejo da biomassa, podem afetar a relação entre as bactérias e a soja.

Algumas plantas de cobertura podem influenciar na resposta de algumas culturas de grãos quando é inoculado o *A. brasilense* (GITTI et al., 2012; PORTUGAL et al., 2017). Por exemplo, o uso de nabo forrageiro como planta de cobertura e a inoculação do milho com *A. brasilense* reduziu produtividade de grãos da cultura (LIMA, 2020). Por outro lado, quando foram utilizadas gramíneas como plantas de cobertura, a inoculação de *A. brasilense* em milho e arroz foi positiva em relação as coberturas não gramíneas (GITTI et al., 2012; PORTUGAL et al., 2017). Na cultura da soja, no entanto, faltam dados para saber se o tipo de planta de cobertura e a inoculação mista de bactérias podem afetar a nodulação e o crescimento das plantas.

Aproximadamente 78% da área cultivada com soja no Brasil recebe inoculação anualmente com *Bradyrhizobium* com base nas doses vendidas (ANPII, 2018), sendo que, o *A. brasilense* é a principal bactéria utilizada em consórcio, devido a sua contribuição no crescimento das raízes (CASSÁN et al., 2015; HUNGRIA & MENDES, 2015). Nesse tipo de inoculação verifica-se aumento na nodulação da soja (DEAK et al., 2019). No entanto, quando se utiliza bactérias consorciadas, o ambiente precisa ser favorável a todos os microrganismos para não ocorrer efeito antagônico e prejudicar a planta (VACHERON et al., 2013).

O objetivo da pesquisa foi avaliar o efeito de diferentes culturas de cobertura de inverno, períodos de manejo da biomassa dessas culturas e tipo de inoculação (*Bradyrhizobium* isolado e em consorcio com *A. brasilense*) na nodulação e crescimento da soja.

4.2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em vasos no período de junho a dezembro de 2020. Os vasos foram alocados em casa de vegetação não climatizada, localizada no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, nas coordenadas geográficas, 29°43'04" de latitude sul, 53°43'57" de longitude oeste e 116 metros de altitude. O solo utilizado foi um Argissolo Vermelho distrófico arênico (EMBRAPA, 2013).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com os tratamentos distribuídos em um fatorial 4 x 3 x 2, com três repetições. Os tratamentos envolveram quatro coberturas de solo de inverno: trigo (TG) (*Triticum aestivum* L.), nabo forrageiro (NB) (*Raphanus sativus*

L.), ervilhaca comum (EV) (*Vicia sativa* L.) e testemunha (TS) sem cobertura, três períodos de manejo da cultura de cobertura antes da semeadura da soja: 60, 45 e 30 dias, e dois tipos de inoculação: *Bradyrhizobium* (inoculação) e consórcio de *A. brasilense* e *Bradyrhizobium* (coinoculação).

O solo utilizado para o preenchimento dos vasos apresentou as seguintes características físico-químicas: pH (H₂O) = 5,4 e M.O = 3,4%; Argila = 22%; P = 43,5 mg dm⁻³; K = 184 mg dm⁻³; Ca = 5,8 cmol_c dm⁻³; Mg = 2,4 cmol_c dm⁻³; H + Al = 8,7 cmol_c dm⁻³; CTC_{pH7} = 17,4 cmol_c dm⁻³ e V% = 50,2%. Foi feita uma adubação básica para vasos com 300 e 150 mg dm⁻³ de P e K, respectivamente (NOVAIS et al., 1991). O solo foi misturado com os nutrientes e, então cada vaso foi preenchido com 6 dm³ de solo previamente adubado.

Na primeira quinzena de junho foram semeadas as culturas de cobertura nos vasos. A densidade de sementes para o trigo, nabo forrageiro e ervilhaca foi ajustada para 350, 250 e 150 sementes m⁻², respectivamente. As plantas de cobertura foram cultivadas nos vasos até os 60, 45 e 30 dias antes da semeadura da soja, quando ocorreu o manejo da biomassa. Em cada um dos períodos, as plantas foram cortadas rente ao solo e a biomassa das plantas retirada e seca em estufa por 72 h. Após esse tempo, a biomassa seca foi pesada e novamente adicionada nos vasos. A quantidade de biomassa foi ajustada para 5 T/ha.

Para semeadura da soja foi utilizada a cultivar NS 5959 IPRO de ciclo precoce e crescimento indeterminado. Nos tratamentos com a inoculação apenas de *Bradyrhizobium*, as sementes da soja foram misturadas com 2 ml kg⁻¹ de sementedo bioinsumo contendo as estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* (SEMIA5079 e SEMIA5080 na concentração de 5x10⁹ UFC ml⁻¹). Para os tratamentos com inoculação de *Bradyrhizobium* e *A. brasilense*, as sementes de soja foram misturadas com 2 ml kg⁻¹ de sementedo bioinsumo contendo as estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* (SEMIA5079 e SEMIA5080 na concentração de 5x10⁹ UFC mL⁻¹) e 2 ml kg⁻¹ de semente contendo as estirpes de *A. brasilense* (Ab-V5 e Ab-V6, na concentração 2x10⁸ UFC ml⁻¹). A semeadura da soja foi realizada no dia 21/10/2020. Foram semeadas 6 sementes vaso⁻¹, e após a emergência foi realizado o desbaste deixando duas plantas por vaso.

Por ocasião da semeadura da soja foram coletadas amostras de todos os vasos para uma quantificação geral da população naturalizada de *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum spp.* do solo utilizado. Foi obtida a quantidade de unidades formadoras de colônias para *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum spp.* por grama de solo. A população média naturalizada de *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum spp.* no solo utilizado nos vasos foi de 6,8 x 10⁶ e 3,5 x 10⁴ UFC/g de solo, respectivamente.

No estágio de desenvolvimento R2 da soja (FEHR; CANIVES, 1977), as plantas foram retiradas dos vasos para quantificação do número de nódulos por planta (NNP), massa seca de nódulos por planta (MSNP), massa seca de raiz (MSR) e massa seca da parte aérea (MSPA). O número de nódulos foi obtido pela contagem dos nódulos destacados das raízes. Posteriormente, os nódulos, as raízes e parte aérea foram secados em estufa de circulação forçada de ar, a 65 °C, por 72 h, para então serem pesados visando a quantificação da massa seca (BRANDELERO et al., 2009).

Os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk e Bartlett para verificação da normalidade e homogeneidade da variância, respectivamente. Após o atendimento dos pressupostos da ANOVA, os dados das variáveis resposta foram submetidos à análise de variância com $p < 0,05$, por meio do teste F. Quando identificada diferença significativa, foi realizado o teste de Scott-Knott, com $p < 0,05$. O software R foi utilizado para as análises estatísticas.

4.3 RESULTADOS

O NNP de soja foi influenciado pela interação entre as plantas de cobertura e os tipos de inoculação ($p < 0,01$) e pela interação das plantas de cobertura e períodos de manejo da biomassa das plantas de coberturas antes da semeadura da soja ($p < 0,01$). Para a MSN houve interação das plantas de cobertura e os períodos de manejo da biomassa ($p < 0,01$). A MSR de soja foi influenciada pela interação entre as plantas de cobertura e os tipos de inoculação ($p < 0,01$) e pela interação das plantas de cobertura e períodos de manejo da biomassa das plantas de coberturas antes da semeadura da soja ($p < 0,01$). Para a MSPA houve interação das plantas de cobertura e os períodos de manejo da biomassa ($p < 0,01$).

As diferentes culturas de cobertura cultivadas no inverno não influenciaram o NNP quando foi realizada a coinoculação na soja (Figura 7 a). No entanto, quando foi realizada a inoculação isolada e utilizou o nabo forrageiro, a soja produziu 292,8($\pm 34,8$) nódulos por planta, um aumento de 43% em relação à testemunha. O NNP com o cultivo do trigo e a coinoculação foi de 256(± 46), cerca de 23% maior em relação ao trigo e a inoculação (Figura 7 a). Por outro lado, a utilização de nabo forrageiro e a coinoculação proporcionaram 209(± 36) nódulos, sendo cerca de 28% menor do que a inoculação isolada. A ervilhaca e a testemunha não diferiram entre os tipos de inoculação (Figura 7 a).

Quando as biomassas das culturas de cobertura foram manejadas aos 30 dias antes da semeadura da soja, o trigo e o nabo forrageiro proporcionaram o maior NNP (Figura 7 b). No

manejo da biomassa aos 45 dias não houve diferença no NNP entre as plantas de coberturas. Já no manejo da biomassa das culturas de cobertura aos 60 dias antes da semeadura, o nabo forrageiro e a ervilhaca proporcionaram o maior NNP. Quando a biomassa do trigo foi manejada aos 30 dias antes da semeadura da soja houve um aumento no NNP de 71 e 43% em relação a biomassa manejada aos 45 e 60 dias, respectivamente. Os períodos de manejo da biomassa do nabo forrageiro e a testemunha não influenciaram o NNP da soja. O melhor período para o manejo da biomassa da ervilhaca foi aos 60 dias antes da semeadura da soja, que proporcionou 282(\pm 45) nódulos por planta (Figura 7 b).

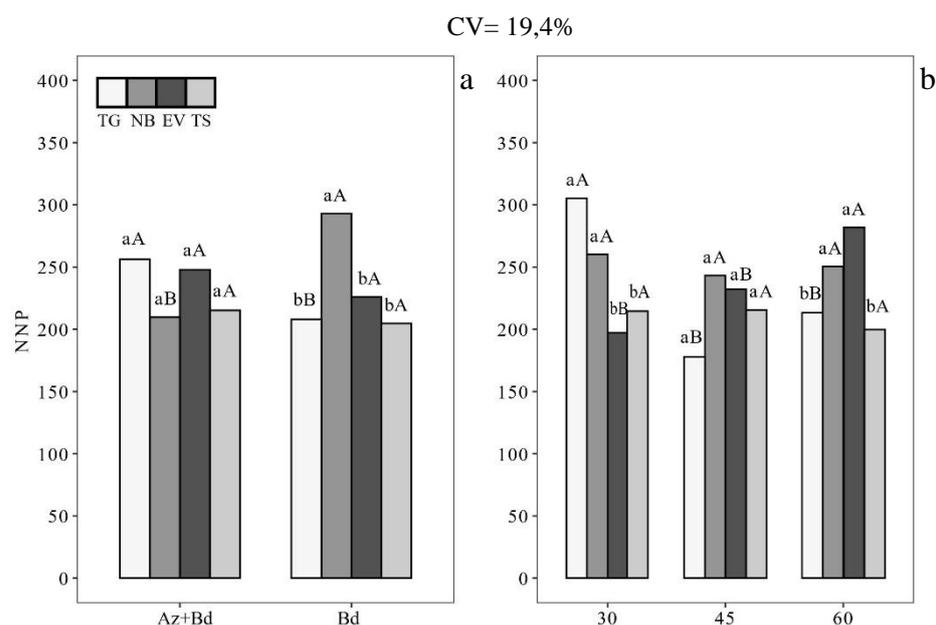


Figura 7. Número de nódulos por planta (NNP) de soja em função da interação entre as plantas de cobertura e o tipo de inoculação (a) e interação entre as plantas de cobertura e os períodos de manejo das culturas de cobertura antes da semeadura da soja (b). Barras com letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro. Letras minúsculas comparam as coberturas dentro cada tipo de inoculação e período de manejo da biomassa, e as letras maiúsculas comparam as coberturas entre os tipos de inoculação e período de manejo. TG, trigo; NB, nabo forrageiro; EV, ervilhaca; TS, testemunha; Az+Bd, coinoculação; Bd, inoculação, Santa Maria – RS.

As diferentes culturas de cobertura cultivadas no inverno não influenciaram a MSN quando foi realizada a coinoculação da soja (Figura 8 a). Já quando foi realizada a inoculação isolada, o nabo forrageiro foi a melhor cultura de cobertura de solo, com a soja apresentando 0,93(\pm 0,09) g por planta, um aumento de 41% em relação à testemunha e 26% em relação a coinoculação. O trigo, ervilhaca e a testemunha não diferiram entre os tipos de inoculação (Figura 8 a).

Quando as biomassas das culturas de cobertura foram manejadas aos 30 dias antes da semeadura da soja, o trigo, nabo forrageiro e a ervilhaca proporcionaram a maior MSN (Figura 8 b). No entanto, no manejo da biomassa aos 45 dias, o trigo apresentou a menor MSN. Já no manejo da biomassa das culturas de cobertura aos 60 dias antes da semeadura, o trigo e o nabo forrageiro proporcionaram a maior MSN. O nabo forrageiro e a testemunha não diferiram entre os períodos de manejo da biomassa. A ervilhaca terminada aos 30 e 45 dias e o trigo aos 30 e 60 dias antes da semeadura da soja proporcionaram a maior MSN (Figura 8 b).

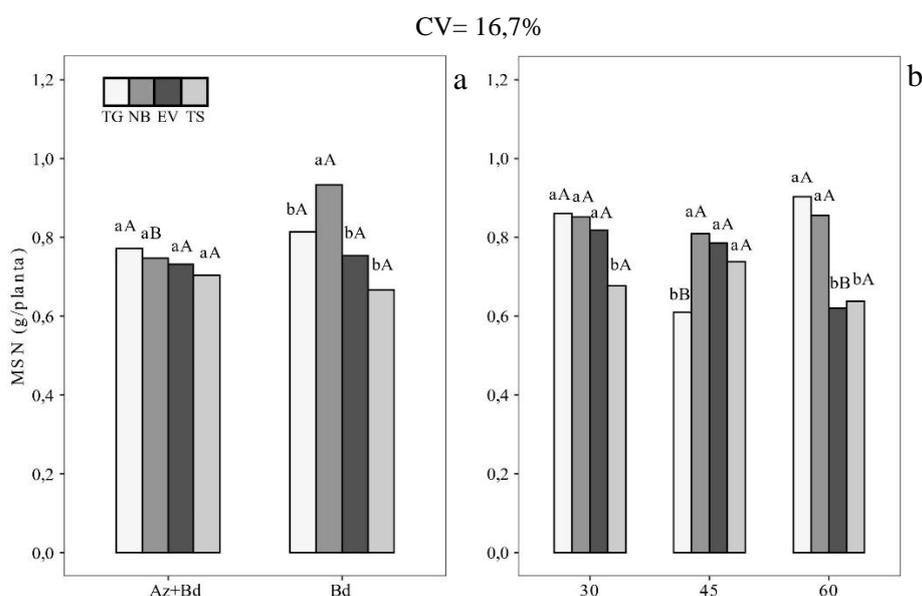


Figura 8. Massa seca de nódulos por planta (MSN) de soja em função da interação entre as plantas de cobertura e o tipo de inoculação (a) e interação entre as plantas de cobertura e os períodos de manejo das culturas de coberturas antes da semeadura da soja (b). Barras com letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro. Letras minúsculas comparam as coberturas dentro cada tipo de inoculação e período de manejo da biomassa, e as letras maiúsculas comparam as coberturas entre os tipos de inoculação e período de manejo. TG, trigo; NB, nabo forrageiro; EV, ervilhaca; TS, testemunha; Az+Bd, coinoculação; Bd, inoculação, Santa Maria – RS.

As três culturas de cobertura cultivadas no inverno aumentaram em média 51% a MSR da soja comparado à testemunha quando foi realizada a coinoculação (Figura 9 a). Já quando foi realizada a inoculação isolada, o trigo foi a melhor cultura de cobertura de solo, proporcionando 11,3(±1,7) g de MSR de soja, um aumento de 99% em relação a testemunha. A maior MSR de soja foi encontrada quando o trigo foi cultivado no inverno e realizada a inoculação. O nabo forrageiro, ervilhaca e a testemunha não diferiram entre os tipos de inoculação (Figura 9 a).

Quando as biomassas das culturas de cobertura foram manejadas aos 30 e 45 dias antes da semeadura da soja, o trigo, nabo forrageiro e a ervilhaca proporcionaram a maior MSR (Figura 9 b). No entanto, no manejo da biomassa aos 60 dias, o trigo proporcionou a maior MSR da soja. O trigo e a testemunha não diferiram entre os períodos de manejo da biomassa. O manejo da biomassa da ervilhaca aos 30 dias e do nabo forrageiro aos 30 e 45 dias antes da semeadura da soja proporcionaram a maior MSR (Figura 9 b).

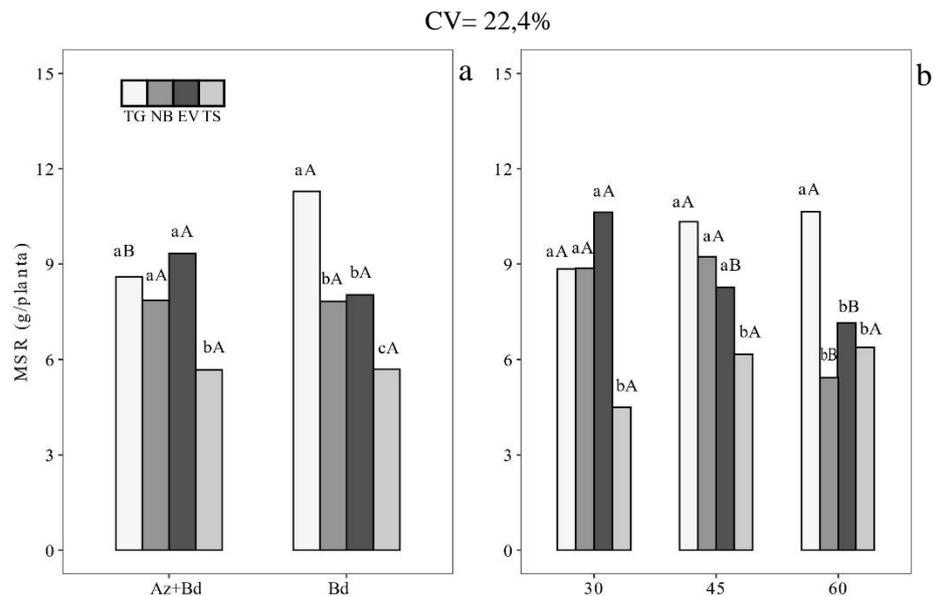


Figura 9. Massa seca de raiz (MSR) de soja em função da interação entre as plantas de cobertura e o tipo de inoculação (a) e interação entre as plantas de cobertura e os períodos de manejo das culturas de coberturas antes da semeadura da soja (b). Barras com letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro. Letras minúsculas comparam as coberturas dentro cada tipo de inoculação e período de manejo da biomassa, e as letras maiúsculas comparam as coberturas entre os tipos de inoculação e período de manejo. TG, trigo; NB, nabo forrageiro; EV, ervilhaca; TS, testemunha; Az+Bd, coinoculação; Bd, inoculação, Santa Maria – RS.

O manejo da biomassa do trigo, nabo forrageiro e ervilhaca aos 30 dias antes da semeadura da soja aumentaram em média 124% a MSPA da cultura em relação à testemunha (Figura 10). No manejo realizado aos 45 dias antes da semeadura, o trigo e a ervilhaca proporcionaram a maior MSPA da soja em relação ao nabo forrageiro e testemunha. Já no manejo da biomassa aos 60 dias, o trigo proporcionou a maior MSPA da soja em relação as demais culturas de cobertura. A MSPA da soja não diferiu entre os períodos de manejo da biomassa do trigo e a testemunha. Já quando o nabo forrageiro foi manejado aos 30 dias antes da semeadura da soja e a ervilhaca aos 30 e 45 dias, a MSPA foi maior (Figura 10).

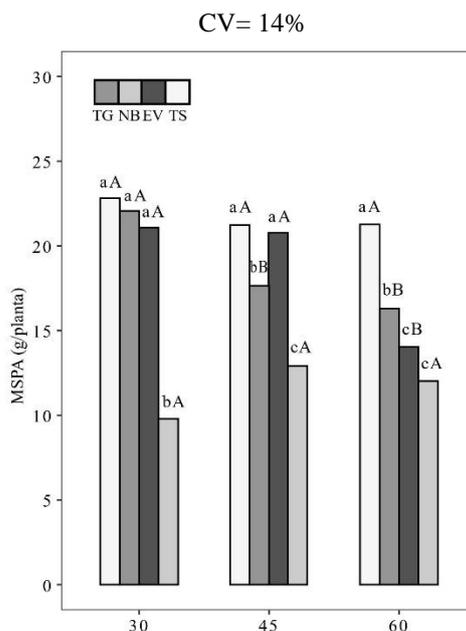


Figura 10. Massa seca da parte aérea (MSPA) de soja em função da interação entre as plantas de cobertura e os períodos de manejo das culturas de coberturas antes da semeadura da soja. Barras com letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro. Letras minúsculas comparam as coberturas dentro período de manejo da biomassa, e as letras maiúsculas comparam as coberturas entre os períodos de manejo. TG, trigo; NB, nabo forrageiro; EV, ervilhaca; TS, testemunha, Santa Maria – RS.

4.4 DISCUSSÃO

As implicações do TG e NB na nodulação da soja dependeram do tipo de inoculação. O uso do NB e a inoculação da soja aumentaram o NNP e a MSNP da soja em relação ao TG. Porém, o NB reduziu o NNP quando foi realizada a coinoculação, o que não aconteceu com o TG (Figura 7 a). O TG e a coinoculação aumentaram o NNP da soja comparado a inoculação. Essas evidências sugerem que para realizar a inoculação ou coinoculação na soja, o cultivo anterior deve ser considerado.

A coinoculação pode aumentar a nodulação da soja em relação a inoculação isolada (HUNGRIA & MENDES, 2015; MORETTI et al., 2020; MORETTI et al., 2021). No estudo, essa resposta foi observada para o NNP quando utilizou o TG (Figura 7 a). As causas desses resultados podem ser devido à melhoria na troca de sinais entre o *Bradyrhizobium* e a soja, que é favorecida pelos fitohormônios produzidos pelo *A. brasilense* (PUENTE et al., 2017). No entanto, um efeito negativo também foi observado na nodulação para a coinoculação (Figura 7 a), levantando novas hipóteses da interação desses microrganismos e as plantas de cobertura cultivadas antes da soja, tais como o NB.

Os resíduos das plantas de cobertura podem interferir no efeito do *A. brasilense* inoculado nas culturas subsequentes. Resultados negativos da inoculação de *A. brasilense* foram observados nos componentes produtivos do arroz (GITTI et al., 2012) e milho (PORTUGAL et al., 2017; LIMA, 2020) cultivados sob a biomassa de diferentes plantas coberturas. As culturas de cobertura que possuíam maior potencial de liberação de nitrogênio foram prejudiciais quando foi realizada a inoculação com *A. brasilense*. Entretanto, quando a biomassa na superfície do solo foi de gramíneas, o *A. brasilense* não prejudicou os componentes produtivos dessas culturas.

O tipo de planta cultivada na área pode beneficiar ou prejudicar a abundância de um determinado grupo de microrganismos (FINNEY et al., 2017). Isso pode influenciar na interação positiva ou negativa de alguns microrganismos com as plantas (PHILIPPOT et al., 2013). O nabo forrageiro pode ter proporcionado um ambiente mais favorável ao desenvolvimento do *A. brasilense*, o que pode ter gerado maior competição entre as bactérias, vindo a causar redução do número de nódulos.

O período de manejo da biomassa do trigo mais próximo da semeadura da soja (30 dias) melhorou a nodulação da cultura (Figura 7 b). Esse menor tempo de decomposição dos resíduos no manejo aos 30 dias pode ter sido favorável às bactérias inoculadas na soja. De acordo com AKHTAR et al. (2019), uma maior quantidade de palhada de trigo na superfície do solo pode proporcionar maiores valores para o número de nódulos da soja. No entanto, dependendo das características da cultura de cobertura (relação C/N, concentração de N na biomassa, teor de lignina), o manejo da biomassa próximo da semeadura da soja pode causar efeito deletério na nodulação.

O manejo da ervilhaca aos 30 dias antes da semeadura da soja reduziu o NNP em relação ao manejo aos 45 e 60 dias (Figura 7 b). A ervilhaca possui menor relação C/N comparado ao trigo (LIMA FILHO et al., 2014) e apresenta maior velocidade de liberação de nitrogênio logo após o manejo da biomassa (AITA & GIACOMINI, 2003). O aumento do N disponível no solo pode reduzir a formação e causar senescência precoce dos nódulos (NISHIDA et al., 2018). Contudo, a baixa disponibilidade de N no solo induz a maior nodulação das raízes da soja (GELFAND & ROBERTSON, 2015).

Os fitohormônios produzidos pelo *A. brasilense* podem estimular a iniciação da raiz lateral e adventícias, divisão celular, alongamento do caule, raiz (CASSÁN et al., 2015) e a nodulação da soja (PUENTE et al., 2017). No entanto, a MSR e MSPA da soja não aumentou com a coinoculação, o que não era esperando, visto que, o principal efeito do *A. brasilense* na planta é a promoção do crescimento. Resposta semelhante foi observada por MORETTI et al.

(2019), que não verificaram aumento na massa seca da raiz e parte aérea com a coinoculação em relação a inoculação isolada na cultura da soja.

As culturas de cobertura aumentaram a MSR e MSPA da soja em relação à testemunha. O trigo foi a única cultura de cobertura que não reduziu a massa seca da parte aérea e raiz da soja quando o manejo da biomassa foi realizada aos 60 dias antes da semeadura. Isso pode estar relacionado com a menor taxa de decomposição do trigo em relação as demais culturas utilizadas (CRUSCIOL et al., 2008).

Para o nabo forrageiro e a ervilhaca, o manejo da biomassa aos 30 dias antes da semeadura da soja é importante, pois o manejo aos 60 dias pode resultar em menor quantidade de biomassa na superfície do solo e reduzir a massa seca da raiz e parte aérea da cultura. O manejo tardia das culturas de cobertura ajuda a manter uma maior umidade e menor flutuação da temperatura do solo durante os cultivos subsequentes, devido a maior quantidade de material vegetal na superfície (SICZEK & LIPIEC, 2011).

4.5 CONCLUSÃO

O NNP, MSN, MSR e MSPA da soja foram beneficiados com o cultivo sobre a biomassa das plantas de cobertura trigo, nabo forrageiro e a ervilhaca em relação à testemunha. No entanto, ficou evidente a importância do período de manejo da biomassa das culturas de coberturas, em especial para o nabo forrageiro e a ervilhaca. Exceto para a ervilhaca no número de nódulos, o manejo da biomassa das culturas de coberturas aos 30 dias antes da semeadura da soja proporcionou os melhores resultados. A coinoculação foi melhor para o número de nódulos quando se utilizou o trigo como planta de cobertura.

REFERÊNCIAS

ACOSTA, J. A de A. et al. Decomposição da fitomassa de plantas de cobertura e liberação de nitrogênio em função da quantidade de resíduos aportada ao solo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 44, n. 5, p. 801-809, mai. 2014. Disponível em <<https://www.scielo.br/j/cr/a/7vtYZ4w6PcpFFXDxHJMGggK/abstract/?lang=pt>>. Acesso: 18 set. 2021. doi: 10.1590/S0103-84782014005000002.

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n.4, p. 601-612, ago. 2003. Disponível em <<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/nm8Bx48nWB3HvxNdQcq4vWz/?lang=pt>>. Acesso: 18 set. 2021. doi: 10.1590/S0100-06832003000400004.

AKHTAR, K. et al. Wheat straw mulching offset soil moisture deficient for improving physiological and growth performance of summer sown soybean. **Agricultural Water Management**, v. 211, p. 16-25, jan. 2019. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377418305559>>. Acesso: 8 set. 2021. doi: 10.1016/j.agwat.2018.09.031.

ANPII - Associação Nacional dos Produtores e Importadores de Inoculantes. **Levantamento do uso de Inoculantes no Brasil (2018)**. Disponível em:<<http://www.anpii.org.br/estatisticas/>>. Acesso: 30 nov. 2021.

BRANDELERO, E. M. et al. Nodulação de cultivares de soja e seus efeitos no rendimento de grãos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 30, n. 3, p. 581-588, jul/set. 2009. Disponível em:<<https://www.redalyc.org/pdf/4457/445744093008.pdf>>. Acesso: 12 set. 2021. doi:10.5433/1679-0359.2009v30n3p58.

CASSÁN, F. D. et al. Handbook for *Azospirillum*. **Springer**, v. 10, p. 978-3, 2015. Disponível em:<<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-06542-7?noAccess=true#toc>>. Acesso: 12 set. 2021. doi: 10.1007/978-3-319-06542-7.

CHEN, G.; WEIL, R. R. Penetration of cover crop roots through compacted soils. **Plant and Soil**, v. 331, n. 1, p. 31-43, nov. 2010. Disponível em:<<https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-009-0223-7>>. Acesso: 15 set. 2021. doi:10.1007/s11104-009-0223-7.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. **Conab**, v. 8, p. 1-108, 2021. Disponível em:<<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso: 27 set. 2021.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. **Bragantia**, v. 67, n. 2, p. 481-489, 2008. Disponível em:<[https://www.scielo.br/j/brag/a/6ssBtCfr96cvD5s3phvBtrk/?lang=pt#:~:text=\(2000\)%20verificaram%2052%2C5,menor%20e%20igual%20a%2034%25.](https://www.scielo.br/j/brag/a/6ssBtCfr96cvD5s3phvBtrk/?lang=pt#:~:text=(2000)%20verificaram%2052%2C5,menor%20e%20igual%20a%2034%25.)>. Acesso: 15 set. 2021. doi:10.1590/S0006-87052008000200024.

CTIC - National Crop Residue Management Survey. Disponível em:<<https://www.ctic.org/CRM>>. Acesso: 30 nov. 2021.

DEAK, E. A. et al. Effects of soil temperature and moisture on biological nitrogen fixation in soybean crop. **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, n. 8, p. 1327, aug. 2019. Disponível em:<https://www.cropj.com/deak_13_8_2019_1327_1334.pdf>. Acesso: 14 dez. 2021. doi:10.21475/ajcs.19.13.08.p1739.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 2013. 353p.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Crops and livestock products**. 2021. Disponível em:<<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>>. Acesso: 18 out. 2021.

FEBRAPDP - Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha. **Evolução da área de plantio no Brasil**. 2021. Disponível em:<<https://febrapdp.org.br/download/14588evolucao-pd-nobasil-2021-jpg.jpg>>. Acesso: 30 nov. de 2021.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 15p. (Special Report, 80)

FINNEY, D. M. et al. Living cover crops have immediate impacts on soil microbial community structure and function. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 72, n. 4, p. 361-373, jul/aug. 2017. Disponível em:<<https://www.jswnonline.org/content/jswn/72/4/361.full.pdf>>. Acesso: 14 dez. 2021. doi:10.2489/jswn.72.4.361.

GELFAND, I; ROBERTSON, G. P. A reassessment of the contribution of soybean biological nitrogen fixation to reactive N in the environment. **Biogeochemistry**, v. 123, n. 1-2, p. 175-184, dec. 2015. Disponível em:<<https://link.springer.com/article/10.1007/s10533-014-0061-4>>. Acesso: 12 set. 2021. doi:10.1007/s10533-014-0061-4.

GITTI, D. D. C. et al. Coberturas vegetais, doses de nitrogênio e inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* em arroz de terras altas no sistema plantio direto. **Bragantia**, v. 71, n. 4, p. 509-517, out. 2012. Disponível em:<<https://www.scielo.br/j/brag/a/HFBVxnLXhQVrKRwTTtHbgWk/abstract/?lang=pt>>. Acesso: 09 set. 2021. doi:10.1590/S0006-8705201300500 0002.

HUNGRIA, M.; MENDES, I. C. Nitrogen fixation with soybean: the perfect symbiosis?. In: DE BRUIJN, F. J. **Biological nitrogen fixation**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2015. Cap.99, p.1009-1024,

LIMA, C. dos S. **Rendimento da cultura do milho em resposta à inoculação com *Azospirillum brasilense* associado às diferentes doses de nitrogênio e plantas de cobertura**. 2020. 42f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Graduação em Agronomia, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.

LIMA FILHO, O. F. et al. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília: Embrapa, 2014. 512p.

MORETTI, L. G. et al. Effects of growth-promoting bacteria on soybean root activity, plant development, and yield. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 1, p. 418-428, dec. 2020. Disponível em:<<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/agj2.20010>>. Acesso: 03 fev. 2022. doi:10.1002/agj2.20010.

MORETTI, L. G. et al. Beneficial microbial species and metabolites alleviate soybean oxidative damage and increase grain yield during short dry spells. **European Journal of Agronomy**, v. 127, p. 126293, jul. 2021. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1161030121000654>>. Acesso: 03 fev. 2022. doi:10.1016/j.eja.2021.126293.

NISHIDA, H. et al. A NIN-LIKE PROTEIN mediates nitrate-induced control of root nodule symbiosis in *Lotus japonicus*. **Nature Communications**, v. 9, n. 1, p. 1-14, feb. 2018. Disponível em:<<https://www.nature.com/articles/s41467-018-02831-x>>. Acesso: 11 dec. 2021. doi:10.1038/s41467-018-02831-x.

PHILIPPOT, L. et al. Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere. **Nature Reviews Microbiology**, v. 11, n. 11, p. 789-799, sep. 2013. Disponível em:<<https://www.nature.com/articles/nrmicro3109%3C#citeas>>. Acesso: 11 dec. 2021. doi:doi.org/10.1038/nrmicro3109.

PORTUGAL, J. R. et al. Coberturas vegetais, doses de nitrogênio e inoculação com *Azospirillum brasilense* em milho no Cerrado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 4, p. 639, out/dec. 2017. Disponível em:<<https://www.scielo.br/j/rca/a/sMgZHsKFbkJKM9FRvkwHRgR/abstract/?lang=pt>>. Acesso: 09 set. 2021. doi:10.5935/1806-6690.20170074.

PUENTE, M. L. et al. The benefits of foliar inoculation with *Azospirillum brasilense* in soybean are explained by an auxin signaling model. **Symbiosis**, v. 76, n. 1, p. 41-49, dec. 2017. Disponível em:<<https://link.springer.com/article/10.1007/s13199-017-0536-x>>. Acesso: 11 dec. 2021. doi:doi.org/10.1007/s13199-017-0536-x.

RIBEIRO, L. Da S. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos de solo coeso sob sistemas de manejo convencional e de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1699-1702, set. 2016. Disponível em:<<https://www.scielo.br/j/pab/a/QmJjkySRpnSjGtNyBG8VcZH/abstract/?lang=pt>>. Acesso: 09 set. 2021. doi:10.1590/S0100-204X2016000900071.

RODRIGUES, G. A. et al. Oscilações da temperatura do solo em função de quantidades de palha e horários ao longo do dia. **Revista Interface Tecnológica**, v. 15, n. 1, p. 293-304, jun. 2018. Disponível em:<<https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica/article/view/353>>. Acesso: 09 set. 2021. doi:10.31510/infa.v15i1.353.

SICZEK, A.; LIPIEC, J. Soybean nodulation and nitrogen fixation in response to soil compaction and surface straw mulching. **Soil and Tillage Research**, v. 114, n. 1, p. 50-56, jul. 2011. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198711000791>>. Acesso: 20 dez. 2021. doi:10.1016/j.still.2011.04.001.

TORABIAN, S. et al. Do tillage systems influence nitrogen fixation in legumes? A review. **Soil and Tillage Research**, v. 185, p. 113-121, jan. 2019. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198718310201>>. Acesso: 14 dez. 2021. doi:10.1016/j.still.2018.09.006.

VACHERON, J. et al. Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning. **Frontiers in plant science**, v. 4, p. 356, sep. 2013. Disponível em:<<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2013.00356/full>>. Acesso: 20 dez. 2021. doi:10.3389/fpls.2013.00356.

ZHANG, Y. et al. Conservation tillage practices reduce nitrogen losses in the sloping upland of the Three Gorges Reservoir area: No-till is better than mulch-till. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 300, p. 107003, 2020. Disponível em:<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880920301882?casa_token=QBuU7OVwR54AAAAA:j7qE1Oes_cGsCtwjXMkDmWom0sKFM1x6GbOw2f8WYzw4ZfRhDrQkW9KkPvq1x118kwfMGSOMa-a-r>. Acesso: 03 fev. 2022. doi:10.1016/j.agee.2020.107003.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo abordou as implicações de algumas das principais plantas de cobertura de inverno (nabo forrageiro e trigo) cultivadas na entressafra da soja, os períodos de manejo da biomassa dessas culturas de cobertura e a coinoculação sobre a nodulação, crescimento e produtividade da cultura. O número de nódulos, que é um dos parâmetros mais importante para soja por estar relacionado com a FBN, foi a variável mais afetada pelas coberturas, períodos de manejo e coinoculação. O cultivo de trigo no inverno associado à coinoculação da soja aumentaram o número de nódulos da soja no campo e em ambiente controlado, enquanto o cultivo do nabo forrageiro associado à coinoculação da soja reduziram esse parâmetro. No entanto, isso não foi evidente no crescimento e produtividade de grãos da soja, pois o cultivo da soja após trigo e nabo forrageiro gerou resultados semelhantes e a coinoculação foi responsável por resultados melhores que a inoculação isolada em algumas situações. O período de manejo da biomassa das culturas de cobertura antes da semeadura da soja foi o fator mais importante, sendo que, o manejo mais próximo, aos 30 dias foi a que proporcionou os melhores resultados.

O estudo apresentou que o cultivo anterior e o período de manejo da biomassa pode afetar a nodulação, crescimento e produtividade da soja. Esses fatores devem ser considerados quando for inocular a soja com as bactérias *Bradyrhizobium* e *A. brasilense*.

REFERÊNCIAS

- ACOSTA, José Alan de Almeida *et al.* Decomposição da fitomassa de plantas de cobertura e liberação de nitrogênio em função da quantidade de resíduos aportada ao solo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 44, n. 5, p. 801-809, mai. 2014. DOI:<https://doi.org/10.1590/S0103-84782014005000002>. Disponível em <<https://www.scielo.br/j/cr/a/7vtYZ4w6PcpFFXDxHJMggK/abstract/?lang=pt>>. Acesso: 18 setembro 2021.
- BASTOS FILHO, Guilherme *et al.* Uma avaliação do plantio direto no Brasil. **Revista Plantio Direto**, n. 101, p. 14-17, 2007. Disponível em <<https://www.plantiodireto.com.br/storage/files/101/4.pdf>>. Acesso: 12 dezembro 2021.
- BRACCINI, Alessandro Lucca *et al.* Co-inoculação e modos de aplicação de *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada na nodulação das plantas e rendimento da cultura da soja. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 15, n. 1, p. 27-35, mar. 2016. DOI:<https://doi.org/10.18188/sap.v15i1.10565>. Disponível em <<https://erevista.unioeste.br/index.php/scientiaagraria/article/view/10565>>. Acesso: 02 maio 2019.
- BRANDELERO, Evandro Martin *et al.* Nodulação de cultivares de soja e seus efeitos no rendimento de grãos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 30, n. 3, p. 581-588, jul/set. 2009.

DOI:10.5433/1679-0359.2009v30n3p58. Disponível em:<<https://www.redalyc.org/pdf/4457/445744093008.pdf>>. Acesso: 12 setembro 2021.

BUCKLEY, Daniel H; SCHMIDT, Thomas M. The structure of microbial communities in soil and the lasting impact of cultivation. **Microbial Ecology**, v. 42, n. 1, p. 11-21, jun. 2001. DOI:<https://doi.org/10.1007/s002480000108>. Disponível em:<<https://link.springer.com/article/10.1007/s002480000108>>. Acesso: 12 maio 2020.

CARDOSO, Elke Jurandy Bran Nogueira; ANDREOTE, Fernando Dini. **Microbiologia do solo**. 2ed. Piracicaba: ESALQ, 2016. 221p.

CASSÁN, Fabricio Dario *et al.* Handbook for *Azospirillum*. **Springer**, v. 10, p. 978-3, 2015. DOI: 10.1007/978-3-319-06542-7. Disponível em:<<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-06542-7?noAccess=true#toc>>. Acesso: 12 setembro 2021.

CRUSCIOL, Carlos Alexandre Costa *et al.* Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. **Bragantia**, v. 67, n. 2, p. 481-489, 2008. DOI:10.1590/S0006-87052008000200024. Disponível em:<[https://www.scielo.br/j/brag/a/6ssBtCfr96cvD5s3phvBtrk/?lang=pt#:~:text=\(2000\)%20verificaram%2052%2C5,menor%20e%20igual%20a%2034%25.>](https://www.scielo.br/j/brag/a/6ssBtCfr96cvD5s3phvBtrk/?lang=pt#:~:text=(2000)%20verificaram%2052%2C5,menor%20e%20igual%20a%2034%25.>)>. Acesso: 15 setembro 2021.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. **Conab**, v. 8, p. 1-108, 2021. Disponível em:<<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/graos>>. Acesso: 27 setembro 2021.

DEAK, Evandro Ademir *et al.* Effects of soil temperature and moisture on biological nitrogen fixation in soybean crop. **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, n. 8, p. 1327, aug. 2019. DOI:10.21475/ajcs.19.13.08.p1739. Disponível em:<https://www.cropj.com/deak_13_8_2019_1327_1334.pdf>. Acesso: 14 dezembro 2021.

DEBIASI, Henrique *et al.* Produtividade de soja e milho após coberturas de inverno e descompactação mecânica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 6, p. 603-612, jun. 2010. DOI:10.1590/S0100-204X2010000600010. Disponível em:<<https://www.scielo.br/j/pab/a/6GN8qpwyZtQGhdm8wYp3P6t/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso: 16 setembro 2021.

DE FELIPE, Matias; GERDE, José A; ROTUNDO, José L. Soybean genetic gain in maturity groups III to V in Argentina from 1980 to 2015. **Crop Science**, v. 56, n. 6, p. 3066-3077, oct. 2016. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.04.0214>. Disponível em:<<https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2135/cropsci2016.04.0214>>. Acesso: 29 maio 2019.

FEBRAPDP - Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha. **Evolução da área de plantio no Brasil**. 2021. Disponível em:<<https://febrapdp.org.br/download/14588evolucao-pd-no-bbasil-2021-jpg.jpg>>. Acesso: 30 novembro de 2021.

FERRI, Gláucia Cristina *et al.* Effects of associated co-inoculation of *Bradyrhizobium japonicum* with *Azospirillum brasilense* on soybean yield and growth. **African Journal of Agricultural Research**, v.12, n. 1, p. 6-11, jan. 2017. DOI:10.5897/AJAR2016.11711. Disponível em:<<https://academicjournals.org/journal/AJAR/article-abstract/32CC5CC62225>>. Acesso: 02 abril 2021.

FINNEY, Denise M; BUYER, Jeffrey S; KAYE, Jason Philip. Living cover crops have immediate impacts on soil microbial community structure and function. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 72, n. 4, p. 361-373, jul/aug. 2017. DOI:10.2489/jswc.72.4.361. Disponível em:<<https://www.jswconline.org/content/jswc/72/4/361.full.pdf>>. Acesso: 14 dezembro 2021.

FIPKE, Glauber Monçon *et al.* Co-inoculation with diazotrophic bacteria in soybeans associated to urea topdressing. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n. 5, p. 522-533, sep/oct. 2016. DOI:10.1590/1413-70542016405001316. Disponível em:<<https://www.scielo.br/j/cagro/a/6nvw8HzbRJBf4Q93bDtBjsw/?format=pdf&lang=en>>. Acesso: 02 abril 2021.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Crops and livestock products**. 2021. Disponível em:<<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>>. Acesso: 18 outubro 2021.

FUKAMI, Josiane; CEREZINI, Paula; HUNGRIA, Mariangela. *Azospirillum*: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. **AMB Express**, v. 8, n. 73, p. 1-12, may. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13568-018-0608-1>. Disponível em:<<https://link.springer.com/article/10.1186/s13568-018-0608-1>>. Acesso: 02 setembro 2021.

GARCÍA-GONZÁLEZ, Irene *et al.* Cover crops to mitigate soil degradation and enhance soil functionality in irrigated land. **Geoderma**, v. 322, n. 15, p. 81-88, jul. 2018. doi:10.1016/j.geoderma.2018.02.024. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706117322309>>. Acesso: 12 setembro 2021.

GITTI, Douglas de Castilhos *et al.* Coberturas vegetais, doses de nitrogênio e inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* em arroz de terras altas no sistema plantio direto. **Bragantia**, v. 71, n. 4, p. 509-517, out. 2012. DOI:10.1590/S0006-87052013005000002. Disponível em:<<https://www.scielo.br/j/brag/a/HFBVxnLXhQVrKRwTTtHbgWk/abstract/?lang=pt>>. Acesso: 09 setembro 2021.

GOUDA, Sushanto *et al.* Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. **Microbiological Research**, v. 206, p. 131-140, jan. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.08.016>. Disponível em:<<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29146250/>>. Acesso: 15 fevereiro 2022.

GUBIANI, Paulo Ivonir. Descompactação do solo ao entorno de uma raiz de nabo forrageiro. **Revista Plantio Direto**, v. 174, p. 4-9, abr. 2020. Disponível em:<<https://www.plantiodireto.com.br/artigos/64>>. Acesso: 10 janeiro 2022.

GUINET, Maé; NICOLARDOT, Bernard; VOISIN, Anne-shopie. Provision of contrasted nitrogen-related ecosystem services among grain legumes. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 40, n. 5, p. 1-15, aug. 1-15, 2020. DOI:<https://doi.org/10.1007/s13593-020-00637-0>. Disponível em:<<https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-020-00637-0>>. Acesso: 12 dezembro 2021.

HACK, Claudina M *et al.* Arbuscular mycorrhiza mediated effects on growth, mineral nutrition and biological nitrogen fixation of *Melilotus alba* Med. in a subtropical grassland soil. **Applied Soil Ecology**, v. 134, p. 38-44, feb. 2019. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.10.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139318306760?casa_token=ZypO6DqFLYoAAAAA:YsILuNG9B_a_cPJY1uSYb9XnZ5S_tH6mJuTMkE8bI9KNtaPygk8WNiarlb3mSLnNbZf8WAL0uo>.

Acesso: 14 setembro 2021.

HEINZ, Rafael *et al.* Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de crame e nabo forrageiro. **Ciência Rural**, v. 41, n. 9, p. 1549-1555, set. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011000900010>. Disponível em: <[https://www.scielo.br/j/cr/a/hty9v6K58T7nSgM5PRyZDHj/?lang=pt#:~:text=Segundo%20BUCHANAN%20%26%20KING%20\(1993\),o%20crambe%20\(Figura%203\).>](https://www.scielo.br/j/cr/a/hty9v6K58T7nSgM5PRyZDHj/?lang=pt#:~:text=Segundo%20BUCHANAN%20%26%20KING%20(1993),o%20crambe%20(Figura%203).>)>. Acesso: 12 dezembro 2021.

HUNGRIA, Mariangela; MENDES, Iêda Carvalho. Nitrogen fixation with soybean: the perfect symbiosis?. In: DE BRUIJN, F. J. **Biological nitrogen fixation**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2015. Chapter.99, p.1009-1024. DOI:<https://doi.org/10.1002/9781119053095.ch99>. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781119053095.ch99>>. Acesso: 12 maio 2019.

HUNGRIA, Mariangela *et al.* Contribution of biological nitrogen fixation to the N nutrition of grain crops in the tropics: the success of soybean (*Glycine max* L. Merr.) in South America. In: SINGH, R. P.; SHANKAR N.; JAIWAL, P. K. **Nitrogen Nutrition and Sustainable Plant Productivity**. Houston: Studium Press, 2006. Chapter.3, p.43-93.

HUNGRIA, Mariangela; NOGUEIRA, Marco Antonio; ARAUJO, Ricardo Silva. Co-inoculation of soybeans and common beans with rhizobia and azospirilla: strategies to improve sustainability. **Biology and Fertility of Soils**, v. 49, n. 7, p. 791-801, jan. 2013. DOI:<https://doi.org/10.1007/s00374-012-0771-5>. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-012-0771-5>>. Acesso: 12 maio 2019.

HUNGRIA, Mariangela; CAMPO, Rubens José; MENDES, Iêda Carvalho. **Fixação biológica de nitrogênio na cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. 48p. (Circular Técnica, 13). Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPSO/18515/1/circTec35.pdf>>. Acesso: 12 maio 2019.

HUNGRIA, Mariangela; CAMPO, Rubens José; MENDES, Iêda Carvalho. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 80 p. (Documentos, 283). Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/564908/a-importancia-do-processo-de-fixacao-biologica-do-nitrogenio-para-a-cultura-da-soja-componente-essencial-para-a-competitividade-do-produto-brasileiro>>. Acesso: 12 maio 2019.

JUGE, Christine *et al.* Growth and biochemical responses of soybean to double and triple microbial associations with *Bradyrhizobium*, *Azospirillum* and arbuscular mycorrhizae. **Applied Soil Ecology**, v. 61, p. 147-157, oct. 2012. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.05.006>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0929139312001345>>. Acesso: 13 maio 2019.

JAHANZAD, Emad *et al.* Nitrogen release dynamics and decomposition of buried and surface cover crop residues. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 4, p. 1735-1741, jul. 2016.

DOI:10.2134/agronj2016.01.0001. Disponível em:<<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2134/agronj2016.01.0001>>. Acesso: 14 setembro 2021.

KAI, Marco; EFFMERT, Uta; PIECHULLA, Birgit. Bacterial-plant-interactions: approaches to unravel the biological function of bacterial volatiles in the rhizosphere. **Frontiers in microbiology**, v. 7, p. 108, feb. 2016. DOI:<https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00108>. Disponível em:<<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2016.00108/full>>. Acesso: 12 dezembro 2021.

LANDRISCINI, María Rosa *et al.* Nitrogen balance in a plant-soil system under different cover crop-soybean cropping in Argentina. **Applied Soil Ecology**, v. 133, p. 124-131, jan. 2019. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.10.005>. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139318304591>>. Acesso: 14 setembro 2021.

LANG, Claudete Reisdörfer. Dinâmica da decomposição e liberação de nutrientes da palhada de aveia preta e nabo forrageiro cortadas em diferentes estágios de desenvolvimento. **Scientia Agraria**, v. 3, n. 1-2, p. 115, 2002. DOI:<http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v3i1.1042>. Disponível em:<<https://www.redalyc.org/pdf/995/99517939018.pdf>>. Acesso: 14 setembro 2021.

LIMA, Charleston dos Santos. **Rendimento da cultura do milho em resposta à inoculação com *Azospirillum brasilense* associado às diferentes doses de nitrogênio e plantas de cobertura**. 2020. 42f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Graduação em Agronomia, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.

LIMA FILHO, Oscar Fontão *et al.* **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília: Embrapa, 2014. 512p.

NOGUEIRA, Marco Antonio; HUNGRIA, Mariangela. Boas práticas de inoculação em soja. *In*: Reunião de pesquisa da soja da Região Sul, 40., Pelotas, 2014. **Atas e Resumos**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2014. p. 40-45.

OLIVEIRA, D. L.; BORSZOWSKI, P. R. Taxa de decomposição da palhada de trigo e liberação de NPK em sistema de plantio direto no município de Ponta Grossa-PR. **Revista TechnoEng**, v. 1, p. 2178-3586, jan/jul. 2020. Disponível em:<<http://cescage.com.br/revistas/index.php/RTE/article/view/788>>. Acesso: 12 dezembro 2021.

PARINSKE, Martin. Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbiosis. **Nature Reviews Microbiology**, v. 6, n. 10, p. 763-775, oct. 2008. DOI:<https://doi.org/10.1038/nrmicro1987>. Disponível em:<<https://www.nature.com/articles/nrmicro1987>>. Acesso: 10 setembro 2021.

PORTUGAL, José Roberto *et al.* Coberturas vegetais, doses de nitrogênio e inoculação com *Azospirillum brasilense* em milho no Cerrado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 4, p. 639, out/dec. 2017. DOI:<https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170074>. Disponível em:<<https://www.scielo.br/j/rca/a/sMgZHsKFbkJKM9FRvkwHRgR/?lang=pt>>. Acesso: 09 setembro 2021.

RAY, Prasun *et al.* Microbe to microbiome: A paradigm shift in the application of microorganisms for sustainable agriculture. **Frontiers in Microbiology**, v. 11, p. 3323, dec.

2020. DOI:<https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.622926>. Disponível em:<<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2020.622926/full>>. Acesso: 12 dezembro 2021.

RIBEIRO, Letícia da Silva *et al.* Variabilidade espacial de atributos físicos de solo coeso sob sistemas de manejo convencional e de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1699-1702, set. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900071>. Disponível em:<<https://www.scielo.br/j/pab/a/QmJjkySRpnSjGtNyBG8VcZH/abstract/?lang=pt>>. Acesso: 09 setembro 2021.

RODRIGUES, Gilberto Aparecido *et al.* Oscilações da temperatura do solo em função de quantidades de palha e horários ao longo do dia. **Revista Interface Tecnológica**, v. 15, n. 1, p. 293-304, jun. 2018. DOI:<https://doi.org/10.31510/infa.v15i1.353>. Disponível em:<<https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica/article/view/353>>. Acesso: 09 setembro 2021.

SCHENEIDER, Fernando *et al.* Eficiência agronômica da cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) submetida a coinoculação. **Scientia Agraria**, v. 18, n. 4, p. 72-79, out/dez. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v18i4.52047>. Disponível em:<<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6294992>>. Acesso: 12 dezembro 2021.

SCHMIDT, Ruth *et al.* Microbial small talk: volatiles in fungal-bacterial interactions. **Frontiers in Microbiology**, v.6, p. 1495, jan. 2016. DOI:<https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01495>. Disponível em:<<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2015.01495/full>>. Acesso: 12 dezembro 2021.

VACHERON, Jordan *et al.* Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning. **Frontiers in plant science**, v. 4, p. 356, sep. 2013. DOI:<https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00356>. Disponível em:<<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2013.00356/full>>. Acesso: 20 dezembro 2021.

WULANNINGTYAS, Heppy Suci *et al.* A cover crop and no-tillage system for enhancing soil health by increasing soil organic matter in soybean cultivation. **Soil and Tillage Research**, v. 205, p. 104749, jan. 2021. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104749>. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198720305316>>. Acesso: 20 dezembro 2021.