

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

EFICIÊNCIA OPERACIONAL, ECONÔMICA E AGRONÔMICA DA  
INOCULAÇÃO DE SOJA VIA SULCO DE SEMEADURA

**TIAGO PEREIRA DA SILVA CORREIA**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP – Campus de  
Botucatu, para obtenção do título de Doutor  
em Agronomia (Energia na Agricultura)

BOTUCATU - SP  
Dezembro - 2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

EFICIÊNCIA OPERACIONAL, ECONÔMICA E AGRONÔMICA DA  
INOCULAÇÃO DE SOJA VIA SULCO DE SEMEADURA

**TIAGO PEREIRA DA SILVA CORREIA**

Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Arbex Silva

Co-orientador: Prof. Dr. Gil Miguel de Sousa Câmara

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP – Campus de  
Botucatu, para obtenção do título de Doutor  
em Agronomia (Energia na Agricultura)

BOTUCATU - SP

Dezembro - 2015

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Correia, Tiago Pereira da Silva, 1986-  
C824e Eficiência operacional, econômica e agrônômica da inoculação de soja via sulco de semeadura / Tiago Pereira da Silva Correia. - Botucatu : [s.n.], 2015  
ix, 95 f. : fots. color.; grafs. color., ils. color., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2015

Orientador: Paulo Roberto Arbex Silva

Coorientador: Gil Miguel de Sousa Câmara

Inclui bibliografia

1. Soja - Inoculação. 2. Soja - Cultivo. 3. Soja - Custo operacional. 4. Nitrogênio - Fixação. I. Silva, Paulo Roberto Arbex. II. Câmara, Gil Miguel de Sousa. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO:** EFICIÊNCIA OPERACIONAL, ECONÔMICA E AGRONÔMICA DA INOCULAÇÃO DE SOJA VIA SULCO DE SEMEADURA

**AUTOR:** TIAGO PEREIRA DA SILVA CORREIA

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. PAULO ROBERTO ARBEX SILVA

**CO-ORIENTADOR:** Prof. Dr. GIL MIGUEL SOUSA CÂMARA

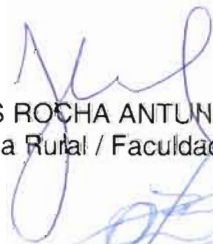
**CO-ORIENTADOR:** Prof. Dr. PAULO ROBERTO ARBEX SILVA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA) , pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. PAULO ROBERTO ARBEX SILVA

Dep de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu



Prof. Dr. ULISSES ROCHA ANTUNIASSI

Dep de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu



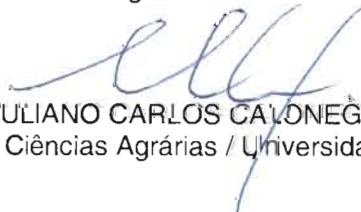
Prof. Dr. CARLOS CESAR BREDA

Departamento de Ciências Agrárias / Universidade Federal do Mato Grosso



Prof. Dr. ANTONIO RENAN BERCHOL DA SILVA

Depto de Solos e Engenharia Rural - Deser / Universidade Federal do Mato Grosso



Prof. Dr. JULIANO CARLOS CALONEGO

Centro de Ciências Agrárias / Universidade do Oeste Paulista

Data da realização: 21 de dezembro de 2015.

## AGRADECIMENTOS

A Deus que possibilita tudo e todos possível na minha vida, me fornecendo fé, sabedoria e saúde para cada passo realizado.

Ao meu orientador Prof. Dr. Paulo Roberto Arbex Silva pela oportunidade concedida, dedicação e amizade dedicada.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Gil Miguel de Souza Câmara por sua indispensável contribuição e empenho com o trabalho.

A Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP câmpus de Botucatu/SP (FCA/UNESP) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superiora (CAPES), pela oportunidade e apoio financeiro.

Ao programa de pós-graduação Energia na Agricultura, seu coordenador Prof. Dr. Wagner Adriano Balarin e a todos os professores do programa.

Aos professores Dr. Ulisses Rocha Antuniassi, Dr. Zacarias Xavier de Barros, Dr. Sergio Hugo Benez e Dr. Carlos Antonio Gamero, pelas sugestões e contribuições prestadas para minha formação acadêmica e profissional.

A todos os funcionários do Departamento de Engenharia Rural, Gilberto Winckler, Silvio Sabatini Simonetti Scolastici, Emanuel Rangel Spadim, Eduardo Biral Nogueira, Débora Branco da Silva e Fabiana da Silva Araújo.

A todos os funcionários da Fazenda de Ensino Pesquisa e Produção da FCA/Unesp e Fazenda Santa Fé, em especial Mario de Oliveira Munhoz e Luciano Alves.

A todos os funcionários da Fazenda Santa Fé e o proprietário administrador, Sr. João Henrique Burkas Ribeiro, pela disponibilização da propriedade e incentivo a pesquisa.

A todas funcionárias da seção de pós-graduação, Jaqueline de Moura Gonçalves, Kátia Otomo Duarte, Edna Regina Prado, Taynan Ribeiro Moraes da Silva e Sandra Salgado Neves.

A todos os funcionários da biblioteca da FCA.

Aos colegas do grupo de plantio direto, pós-graduação e república Centro-Sul, em especial Saulo Fernando Gomes de Souza, Leandro Augusto Felix Tavares, Vinícius Paludo, Alisson Augusto Barbieri Mota, Caio Alexandre Ferreira Moreira, Rodolfo Glauber Checheto, Carlos Renato Guedes e Thais Maria Milani.

A Carla Cristina Cassiano e sua família, por me prestar carinho e suporte durante minha trajetória em Botucatu.

Aos meus pais, Divino Pereira Neto e Cleise Mari da Silva Pereira, e meus irmãos, Diogo Pereira da Silva Correia e Ana Maria Pereira da Silva Correia, com muito orgulho e amor, pelo exemplo de caráter, educação e alicerce familiar que me proporcionam.

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho e minha realização a Deus e nossa senhora Aparecida. Dedico ainda a meus pais e irmãos, ao professor orientador e co-orientador, meus avós Dionor Correia, Maria Silva Correia, Marinho Pereira (*In Memoriam*) e Joana Pereira, minha companheira Carla Cristina Cassiano, tios, primos e amigos.

“A glória da amizade não é a mão estendida, nem o sorriso carinhoso, nem mesmo a delícia da companhia. É a inspiração espiritual que vem quando você descobre que alguém acredita e confia em você” (Ralph Waldo Emerson).

## SUMÁRIO

	Página
1. RESUMO .....	1
2. SUMMARY .....	2
3. INTRODUÇÃO .....	3
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	5
4.1 Cultura da soja .....	5
4.2 Fixação biológica de nitrogênio (FBN) .....	7
4.3 Inoculantes e formas de inoculação .....	11
4.3.1 Inoculação com máquinas de tratamento de sementes (método tradicional via semente) .....	13
4.3.2 Inoculação no sulco de semeadura .....	15
4.4 Desempenho operacional de máquinas agrícolas.....	17
4.4.1 Estudo de tempos e movimentos .....	19
4.5 Custos operacionais.....	20
5. MATERIAL E MÉTODOS .....	24
5.1 Campo experimental .....	24
5.2 Experimentos, tratamentos e delineamento experimental.....	24
5.3 Preparo das áreas experimentais .....	26
5.4 Instalação dos experimentos .....	26
5.4.1 Porcentagem e massa seca de cobertura do solo .....	27
5.5 Dados pluviométricos e de temperatura.....	28
5.6 Insumos utilizados.....	29
5.7 Máquinas e implementos agrícolas .....	30
5.8 Regulagem da inoculação via sulco e inoculação via semente .....	33
5.9 Determinações do consumo de combustível e velocidade operacional de trabalho da semeadora.....	34
5.10 Determinação do desempenho operacional da semeadura.....	35
5.11 Determinação do custo operacional da semeadura .....	36
5.12.1 Juros.....	37
5.12.2 Depreciação .....	38
5.12.3 Alojamento .....	38



5.12.4 Seguros .....	39
5.12.5 Mão-de-obra .....	39
5.12.6 Combustível.....	40
5.12.7 Manutenção .....	40
5.12.8 Lubrificantes e graxas.....	41
5.12.9 Custo horário e custo operacional. ....	41
5.12 Custo com insumos agrícolas na semeadura da soja.....	42
5.13 Rentabilidade e relação benefício/custo da forma de inoculação .....	43
5.14 Altura de plantas, diâmetro de haste e número de vagens .....	44
5.15 Contagem do número de nódulos.....	44
5.16 Determinação da produtividade de grãos .....	45
5.17 Análise estatística.....	45
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	46
6.1 Características agronômicas da cultura.....	46
6.2 Consumo horário de combustível e velocidade operacional.....	58
6.3 Desempenho operacional .....	59
6.4 Custo horário e operacional .....	65
6.5 Custo com insumos .....	68
6.6 Custo total da semeadura .....	69
6.7 Rentabilidade e relação benefício/custo.....	72
7. CONCLUSÕES .....	76
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	77
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78
APÊNDICE.....	95

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
Figura 1. Croqui da disposição dos tratamentos e parcelas para os dois experimentos. ....	27
Figura 2. Temperatura média e distribuição da precipitação pluviométrica por decênio na EECFI-SP.....	29
Figura 3. Esquema geral, ilustrativo, do conjunto para inoculação via sulco instalado na semeadora (A), e imagem real do bico de pulverização posicionado entre os discos sulcadores de sementes (B).....	32
Figura 4. Eficiência de campo (Efc) da semeadura nas áreas A e B. ....	60
Figura 5. Capacidade de campo operacional (Cco) da semeadura nas áreas A e B. ....	63
Figura 6. Custo operacional (CO) em função da capacidade de campo operacional (Cco) na área A. ....	66
Figura 7. Custo operacional (CO) em função da capacidade de campo operacional (Cco) na área B. ....	67

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela</b>	<b>Página</b>
Tabela 1. Taxas de inoculação e doses de inoculante utilizados para composição dos tratamentos em ambos experimentos. ....	25
Tabela 2. Porcentagem e massa seca de cobertura vegetal nas áreas dos experimentos. ....	28
Tabela 3. Valor de aquisição (Vi), vida útil em anos (Vua) e horas utilizadas por ano (Hua) das máquinas, conforme AGRIANUAL (2015), ASABE (2006) e ASABE (2011). ....	37
Tabela 4. Fator de reparo das máquinas, conforme ASABE (2011). ....	41
Tabela 5. Dose e custos de aquisição dos insumos utilizados na semeadura e condução dos experimentos na área A e B. ....	43
Tabela 6. Características agronômicas da soja sem inoculação, inoculada via semente e inoculada via sulco, para área A e B. ....	46
Tabela 7. Produtividade de grãos e número de vagens por planta na área A e produtividade grãos na área B em função da dose de inoculante utilizada. ....	51
Tabela 8. Produtividade de grãos e vagens por planta na área A e produtividade grãos na área B em função da taxa de aplicação. ....	52
Tabela 9. Interação entre taxa de aplicação e dose de inoculante para altura de plantas, diâmetro de haste e nódulos por planta na área A. ....	54
Tabela 10. Interação entre taxa de aplicação e dose de inoculante para altura de plantas, diâmetro de haste e nódulos por planta na área B. ....	56
Tabela 11. Consumo horário de combustível (CHc) e velocidade operacional de semeadura na área A e B. ....	59
Tabela 12. Custo horário (CH) e operacional (CO) da operação de semeadura na área A e B. ....	65
Tabela 13. Custo com insumos utilizados no preparo e semeadura da área A e B. ....	69
Tabela 14. Custo total da semeadura da área A e B. ....	70
Tabela 15. Rentabilidade bruta da semeadura de soja na área A. ....	72
Tabela 16. Rentabilidade bruta da semeadura de soja na área B. ....	73
Tabela 17. Relação benefício/custo dos tratamentos na área A. ....	74
Tabela 18. Relação benefício/custo dos tratamentos na área B. ....	75

## 1. RESUMO

Duas são as formas de realizar inoculação na cultura da soja, por método tradicional diretamente na semente (via semente) ou pela aplicação no sulco de semeadura (via sulco). O método via sulco é restrito de estudos que determinem qual a maneira mais produtiva e economicamente viável de inoculação. Sendo assim, o objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho operacional e econômico da inoculação via sulco na semeadura da soja, utilizando diferentes taxas de aplicação e doses de inoculante, em duas áreas de cultivo. Objetivou-se também a avaliação das características agronômicas e de nodulação da cultura. O experimento foi realizado durante a safra 2014/15 na Fazenda Santa Fé em Pardinho/SP, e os tratamentos variaram quanto a forma de inoculação (inoculação via sulco com taxas de aplicação 10, 20, 30, 40 e 50 L ha<sup>-1</sup>, inoculação via semente e sem inoculação) e doses de inoculante (1,2x10<sup>6</sup>; 2,4x10<sup>6</sup>; 3,6x10<sup>6</sup>; 4,8x10<sup>6</sup> e 6,0x10<sup>6</sup> UFC por semente para os tratamentos com inoculação via sulco). Foram conduzidos dois experimentos, o primeiro realizado em área com histórico de cultivo de soja anualmente e o segundo em área sem histórico de cultivo da cultura. Para ambos experimentos foi utilizada uma semeadora modelo JD2113 CCS de 12 linhas, equipadas com pontas de pulverização do tipo StreamJet<sup>®</sup> TP0001SS para aplicação de inoculante no sulco de semeadura. Os resultados mostraram que a prática de inoculação com *Bradyrhizobium* contribui positivamente para o desenvolvimento e rentabilidade da cultura. A taxa de aplicação de 10L ha<sup>-1</sup> apresentou maior rendimento operacional e econômico. A melhor relação benefício/custo da semeadura de soja foi por meio da inoculação via sulco com taxa de aplicação de 20 L ha<sup>-1</sup> e elevada dose de inoculante (6x10<sup>6</sup> UFC por semente).

OPERATIONAL AND ECONOMIC EFFICIENCY OF SOYBEAN INOCULATION VIA GROOVE. Botucatu, 2015. 68p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: TIAGO PEREIRA DA SILVA CORREIA

Adviser: PAULO ROBERTO ARBEX SILVA

Co-adviser: GIL MIGUEL DE SOUSA CÂMARA

## 2. SUMMARY

There are two ways of inoculation, by traditional method directly in the seed and by spraying in the furrow. However, there are few studies determining the most productive and cost-effective way of furrow inoculation. There for the aim of this study was to evaluate the operational and economic performance through soybean furrow inoculation, using different application rates and inoculation doses, in two different areas. It is also aimed assessing the agronomic and nodulation characteristics of the culture. The experiment was conducted during the 2014/15 crop at Fazenda Santa Fé in Pardinho/SP, and evaluated five treatments differentiating by the forms of inoculation (no inoculation, furrow inoculation with rates of 10, 20, 30, 40 e 50 L ha<sup>-1</sup>, and seed inoculation) and inoculant quantity (1,2x10<sup>6</sup>; 2,4x10<sup>6</sup>; 3,6x10<sup>6</sup>; 4,8x10<sup>6</sup> e 6,0x10<sup>6</sup> UFC for seed, for treatments with furrow inoculation). We conducted two equal experiments; the first experiment was done in an area with grains cultivation history and the second in an area without grain cultivation history. JD 2113 CCS 12 lines, planter model was used equipped with spray type TP0001SS StreamJet® to inoculant application in the planting furrow. The *Bradyrhizobium* inoculation contributes positively to the development and profitability of the crop. The application rate of 10L.ha<sup>-1</sup> showed the highest operational and economic performance. However, the best benefit/cost of the soybean sowing is by inoculation via groove with application rate of 20 L ha<sup>-1</sup> and high inoculum dose (6x10<sup>6</sup> UFC for seed).

**KEYWORDS:** operating costs, biological nitrogen fixation, productivity.

### 3. INTRODUÇÃO

A cultura da soja é uma das mais importantes e difundidas no cenário do agronegócio Brasileiro, graças aos seus avanços genéticos, tecnológicos e sua capacidade de se associar simbioticamente a bactérias fixadoras de nitrogênio. Sua importância e difusão está associada principalmente ao fato de ser matéria prima essencial na fabricação de rações para animais e itens para alimentação humana.

Para produzir grãos de soja é necessário suprir nutricionalmente a cultura com nitrogênio, tornando-se economicamente inviável caso seja utilizado apenas fertilizantes químicos. Entretanto, o processo biológico com bactérias fixadoras de nitrogênio, tipicamente pertencentes ao gênero *Bradyrhizobium*, é capaz de suprir grande parte do nitrogênio necessário à cultura, com menor custo, sendo outra parte fornecida pela matéria orgânica e nitrogênio mineral do solo.

Para que a fixação biológica de nitrogênio (FBN) ocorra, é necessário que as bactérias estejam presentes no solo, junto às sementes da soja, vindo a formar nódulos nas raízes. No entanto, as bactérias não são nativas de solos brasileiros, devendo ser introduzidas e disponibilizadas através de insumos denominados inoculantes.

A disponibilização das bactérias à cultura da soja é feita basicamente por meio da inoculação, prática operacional compreendida pela incorporação homogeneizada de inoculantes, turfosos ou líquidos, às sementes de soja. O método tradicional de inoculação ocorre via semente, pela mistura feita em tambores, betoneiras ou máquinas específicas para tratamento de sementes. Geralmente este método é realizado na sede das propriedades, demandando tempo, mão-de-obra e programação gerencial para não

faltar sementes inoculadas durante a operação de semeadura, além da demanda de tempo necessária para realizar tal operação.

A inoculação pode ser feita também por meio da pulverização do inoculante no sulco de semeadura, prática comumente denominada de inoculação via sulco, que é realizada por pontas de pulverização acopladas na semeadora, simultaneamente à deposição das sementes nos sulcos de semeadura abertos no solo. Algumas vantagens podem ser consideradas para a inoculação via sulco em relação a inoculação tradicional via semente, dentre elas a menor necessidade de mão-de-obra e o menor risco de morte das bactérias por tratamento das sementes com fungicidas no mesmo tambor de inoculação. Entretanto, desvantagens como menor eficiência operacional da semeadura são entraves conhecidos.

Além da inoculação tradicional e via sulco, outra alternativa é a aquisição de sementes já inoculadas por tratamento industrial de sementes, sendo menos comum devido alto custo agregado e problemas de logística.

Devido a participação da semeadura mecanizada no método de inoculação via sulco, seu planejamento passa a ter integral importância no rendimento operacional e também eficácia da FBN. Fatores como taxa de aplicação e dose de inoculante podem apresentar influência direta na eficiência operacional, eficiência de nodulação e, conseqüentemente, nos custos de produção. Para as características atuais do cultivo de soja, em que são curtos os períodos disponíveis entre a colheita de uma safra e semeadura de outra, é indispensável a racionalização dos tempos operacionais. O aumento desse tempo, como por exemplo por reabastecimentos, pode gerar atrasos, reduzindo a eficiência operacional da semeadora e elevando os custos.

Apesar da inoculação via sulco de semeadura ser uma prática importante para o cultivo da soja, ainda são restritas informações a respeito de características operacionais e econômicas. Sendo assim, foi objetivo deste trabalho avaliar o desempenho operacional, econômico e a relação benefício/custo da inoculação via sulco de semeadura da soja, utilizando diferentes taxas de aplicação e doses de inoculante, em duas áreas de cultivo. Objetivou-se também a avaliação das características agronômicas e de nodulação da cultura.

## 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 Cultura da soja

A soja é a principal oleaginosa produzida e consumida no mundo, apresenta-se no cenário agrícola como o quarto produto mais utilizado no consumo humano e o mais importante em comercialização (FAO, 2013). Devido seus teores de proteína e óleo no grão a soja se torna importante matéria prima para alimentação humana, animal e indústria de biocombustível, a tornando uma *commodity* com grande interesse econômico (LOPES et al., 2002). Segundo Costa et al. (2005), os teores de proteína e óleo nos grãos de soja podem ultrapassar 40 e 20%, respectivamente.

Devido a grande importância da soja, o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2014) contabilizou a produção mundial de grãos da cultura na safra 2014/2015 em 315 milhões de toneladas, em uma área estimada de 117,8 milhões de hectares. No Brasil, segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2015), a produção nesta mesma safra foi de 96,24 milhões de toneladas em 32.093 milhões de hectare cultivados, onde a produção média foi de 2.999 kg ha<sup>-1</sup>. Com estes números o Brasil ocupa o posto de segundo maior produtor mundial de soja, ficando atrás apenas dos Estados Unidos. Para a safra 2015/2016 a CONAB (2015) projeta um aumento de produção de 9,8%.

Em termos econômicos a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil – CNA (CNA, 2015) e Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (MAPA, 2015), divulgaram que em 2014 a venda dos produtos que compõem o complexo soja (soja em grão, óleo e farelo) somaram US\$ 31,4 bilhões, representando 13%



da receita total de exportação do Brasil. Em consequência a estes números, a soja é um dos produtos mais importantes para a economia brasileira.

A classificação botânica da soja indica que ela pertence à classe dicotiledônea, família das fabáceas, gênero *Glycine*, espécie *Glycine max* e forma cultivada denominada *Glicine max* (L.) Merrill (SEDIYAMA, 2013). Seu provável centro de origem e domesticação foi o nordeste da Ásia, na China e regiões adjacentes durante o século XVII (HADLEY e HYMOWITZ, 1973). O primeiro relato de cultivo experimental no Brasil foi em 1882, com a implantação de genótipos no estado da Bahia (BLACK, 2000). Sua difusão para o sudeste e sul do país se deu em meados de 1891, para os estados de São Paulo e Rio Grande do Sul (BONETTI, 1981). A partir de 1950 a cultura passou adquirir importância no Rio Grande do Sul, lugar onde as variedades trazidas dos Estados Unidos melhor se adaptaram às condições edafoclimáticas (SEDIYAMA, 2013).

A partir do sucesso obtido com os cultivos no sul do Brasil, o cultivo da soja se expandiu para as regiões centro-oeste e norte do Brasil, para os estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Tocantins, Maranhão e Piauí. Avanços tecnológicos, principalmente de programas de melhoramento genético, de biotecnologia e de mecanização agrícola, são responsáveis pelo cultivo em larga escala dessa cultura em regiões antes não produtoras (BISINOTTO, 2013). Dall'agnol e Vidor (2002) explicam que as cultivares utilizadas por produtores na região sul não estavam adaptadas às condições edafoclimáticas do centro-oeste brasileiro, principalmente o fotoperíodo, sendo necessário o melhoramento genético para adaptá-las às condições de médias e baixas latitudes. Além disso, Sedyama (2009) destacam que a topografia plana e favorável à mecanização, o baixo valor das terras e subsídios para sua compra contribuíram para a expansão da sojicultura no Brasil central, nas regiões de cerrado.

Graças à introdução e adoção de novas tecnologias, como, por exemplo, a transgenia, foi possível aumentar a produtividade e competitividade da soja brasileira no mercado mundial (SILVA et al., 2011). A biotecnologia tem papel importante neste contexto, possibilitando soluções para superar problemas edafoclimáticos, e fitossanitários no manejo da cultura (CARRER et al., 2010).

## 4.2 Fixação biológica de nitrogênio (FBN)

De acordo com Hungria et al. (2001), a soja é uma cultura extremamente exigente em nitrogênio (N), sendo este o elemento mineral requerido em maior quantidade pela planta. Segundo os autores, para produção de uma tonelada de grãos a cultura da soja necessita em média  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrogênio, dos quais  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  são exportados pelos grãos e  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  ficam nos restos culturais.

Zilli et al. (2010) descrevem que a adubação mineral com fontes nitrogenadas seria uma alternativa rápida para suprir toda necessidade de nitrogênio da soja, porém a um custo elevado, o que possivelmente inviabilizaria o cultivo da soja no Brasil. Entretanto, devido a soja ser uma espécie leguminosa, é de sua característica possuir simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio (FBN), em especial as do gênero *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* e *Azorhizobium* (MASCARENHAS et al., 2005).

Segundo Câmara (2014) e Bortolan et al. (2009), no solo, estas bactérias são estimuladas por substâncias orgânicas exsudadas pelas raízes da soja, se multiplicando na rizosfera da planta, entrando em contato com diversos pelos radiculares. Simultaneamente ocorre a adesão e infecção das bactérias à epiderme das raízes, quando, então, sinais moleculares são estabelecidos entre a planta e bactéria. Esses sinais moleculares ativam os genes “nod” da nodulação da bactéria, determinando a infecção e consequente formação dos nódulos, nos quais ocorre o processo de FBN (VARGAS e HUNGRIA, 1997).

Os primeiros nódulos radiculares na soja são visíveis a partir de 10 a 15 dias após a emergência das plantas, dependendo das condições favoráveis de ambiente e manejo (CÂMARA, 2000).

Estando a planta nodulada, as bactérias possuem a capacidade de fixar o nitrogênio ( $\text{N}_2$ ) do ar presente no solo, o qual, por meio da ação da enzima nitrogenase, é reduzido à amônia ( $\text{NH}_3$ ). Em seguida a  $\text{NH}_3$  é reduzida à amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) em função da abundância dos íons  $\text{H}^+$  no interior das células bacterianas, sendo assimilado em formas de nitrogênio orgânico pela planta, principalmente na forma de ureídeos (FAGAN et al. 2007; CÂMARA, 2014).

Para reação de redução do  $N_2$  e disponibilização do nitrogênio orgânico à planta de soja, o manganês, molibdênio e cobalto são indispensáveis. De acordo com Valdez et al. (2000) o manganês tem papel fundamental na catálise dos processos enzimáticos e transferência de elétrons, sendo em condições de estresse hídrico regulador da FBN, não permitindo perda de eficiência. O molibdênio faz parte da enzima nitrogenase, responsável pelo processo de fixação, esse micronutriente também atua na redutase do nitrato, responsável pela redução do  $NO_3^-$  para ser assimilado pela planta (MARSCHNER, 1986). O cobalto faz parte da estrutura das vitaminas B12, participa na formação da Coenzima Cobamida, precursora da Legmoglobina, que determina a atividade dos nódulos (LOPES e LEONEL JUNIOR, 2000), portanto, também está associado a fixação biológica de nitrogênio (TAÍZ e ZIEGER, 2004).

Meschede et al. (2004) consideram a adubação com molibdênio e cobalto importantes para a FBN, mostrando que, a partir do momento que foram adicionados estes micronutrientes na semente a planta apresentou grãos com maior teor de proteína, entretanto, os autores salientam que se deve ter cautela na aplicação de molibdênio na semente, principalmente na forma de molibdato ( $MoO$ ), o qual tende a reduzir a sobrevivência do rizóbio.

De acordo com Mascarenhas et al. (2005), o processo descrito da FBN é capaz de suprir a demanda nutricional da planta de soja por N e reduzir os custos com adubação mineral. Hungria et al. (2001) informam que o processo de FBN possibilita no Brasil uma economia anual aproximada de  $320 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, o que significa US\$ 3 bilhões em fertilizantes nitrogenados.

São conflituosas as opiniões sobre utilizar somente a FBN ou utilizar também a adubação nitrogenada para suprir a demanda de N da soja, alguns autores defendem a prática dessa adubação e outros julgam desnecessária. Lamond e Wesley (2001) e Gan et al. (2003) por exemplo, defendem que em sistemas de produção de soja de alta tecnologia as quantidades de N requeridas são grandes, demandando quantidades próximas a  $300 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, e que o suprimento de N nestas situações pode não ser totalmente atendido pela FBN e pelas reservas do solo, necessitando assim de adubações complementares com fontes minerais nitrogenadas.

Câmara (2014) descreve que há situações de cultivo em sistema de plantio direto onde a adubação nitrogenada da soja pode-se fazer necessária. O autor justifica que, em casos cuja a quantidade de palha é acentuada e as condições de clima favorecem a lenta decomposição da matéria orgânica bruta, a elevada relação carbono/nitrogênio no início do ciclo da cultura, proporciona grande imobilização do N do solo pelos microrganismos decompositores da matéria orgânica. Como o processo simbiótico de FBN responde por cerca de 72 a 94% do acúmulo total de N pela cultura, surge um quadro de deficiência nitrogenada, daí a alternativa é suprir com fertilização mineral e/ou elevar a dose de inoculante. Caso ocorra esta necessidade, a recomendação da dose deve respeitar o limite máximo de 20 kg de N por hectare, para não inibir totalmente a nodulação das raízes da soja pelas bactérias fixadoras de nitrogênio.

Entretanto, Mengel e Kirkby (1987), Pessoa et al. (1999) e Mendes et al. (2008), contrapõem a utilização de N mineral, defendendo que a eficiência da FBN é suficiente para suprir a cultura com reduzido custo. De acordo com os autores a adição de N mineral favorecerá muito mais o processo de decomposição da palha do que propriamente a cultura. Para Vargas e Suhet (1980) é desnecessária a aplicação, mesmo que em pequenas doses, de fertilizantes nitrogenados no início do ciclo da soja, e afirmam que plantas inoculadas apresentam um nível relativamente elevado de fixação de N<sub>2</sub>. Potafos (1997) informa que a adubação nitrogenada diminui consideravelmente o número total de nódulos radiculares que realizam a FBN.

A eficiência do processo de FBN, especialmente em regiões tropicais, pode ser alterada por vários fatores como pH, temperatura e teor de água do solo, além de práticas de manejo, como o tratamento de sementes com fungicida antes da inoculação (HUNGRIA et al., 2007; CAMPO et al., 2009; ZILLI et al., 2009).

De acordo com Hungria et al. (2007), temperaturas elevadas e estresse hídrico podem ser fatores ambientais limitantes à sobrevivência do rizóbio e à FBN. O período mais crítico se dá no início do cultivo da soja, durante a etapa de semeadura quando o solo está descoberto, podendo atingir temperaturas maiores que 40 °C nos primeiros 5 cm. Nestas situações o cultivo em sistema de plantio direto pode favorecer temperaturas mais amenas do solo, além de mantê-lo úmido por mais tempo. Segundo a EMBRAPA (2006), a semeadura em solos quentes e secos, com temperaturas acima de

33°C diminui a sobrevivência das bactérias inoculadas prejudicando a formação de nódulos, seu desenvolvimento e a eficiência nodular, além de retardar ou impedir a germinação das sementes. A faixa de temperatura do solo adequada para a semeadura varia de 20 a 30°C, sendo 25°C a temperatura ideal para uma emergência rápida e uniforme.

Referindo-se ao pH do solo, Graham et al. (1994), Ali et al. (2009) e Rufini et al. (2011), relatam que o solo a ser cultivado com soja deve estar com acidez acima de 5,0. Citam que algumas espécies de bactérias fixadoras de N (*Rhizobium meliloti*, *Rhizobium tropicipodem* e *Mesorhizobium loti*) toleram melhor a acidez do solo e se desenvolvem em pH menor que 5,0, porém, a maioria delas se desenvolvem com sucesso em uma amplitude de pH entre 5,0 e 7,0. Isto é possível através da calagem, que além de corrigir a acidez do solo elevando o pH, aumenta a taxa de mineralização de matéria orgânica e a fertilidade (SHONINGER et al., 2010).

Outro benefício importante quando se corrige a acidez do solo é a disponibilização de molibdênio à soja (SFREDO; OLIVEIRA, 2010). A deficiência deste micronutriente afeta diretamente a FBN, já que faz parte da enzima nitrogenase, que é responsável pelo processo de fixação (MARSCHNER, 1986). Além de fazer parte da enzima nitrogenase, o molibdênio atua na redutase do nitrato, responsável pela redução do NO<sub>3</sub>, para ser assimilado pela planta. Assim, a deficiência de molibdênio poderia ser uma das causas de redução na produtividade de soja (PESSOA et al., 1999).

O tratamento de sementes de soja com fungicidas é uma prática fitossanitária comum na prevenção de danos causados por fungos (ZILLI et al., 2010; CÂMARA, 2014). Contudo, é conhecido que a inoculação de *Bradyrhizobium* é sensível ao tratamento das sementes com fungicidas, podendo as bactérias sofrer incompatibilidade por toxidez com o ingrediente ativo do defensivo, especialmente em novas áreas de cultivo da cultura, onde é inexistente ou reduzida a população de rizóbio (ANDRÉS et al., 1998). Em avaliações laboratoriais e em campo, Hungria et al. (2007) verificaram que a presença de fungicidas nas sementes resultou na redução de até 98% na população de *Bradyrhizobium*. Campo et al. (2009) informam redução na nodulação superior a 80% e perdas de produtividade de grãos superiores a 20%, dependendo do ingrediente ativo do fungicida utilizado no tratamento das sementes, do histórico de cultivo da área e da textura do solo. Os trabalhos já realizados indicam que, em solos com elevado percentual de areia,

os prejuízos são mais severos, assim como salientam que o efeito tóxico do fungicida não é reduzido pelo tratamento prévio e secagem das sementes.

Atualmente, no Brasil, as estirpes de bactérias fixadoras de N mais recomendadas pela RELARE (Reunião da Rede de Laboratórios para a Recomendação, Padronização e Difusão de Tecnologia de Inoculantes Microbianos de Interesse Agrícola), para inoculação da soja, são: SEMIA 5079 e 5080, da espécie *Bradyrhizobium japonicum* e SEMIA 587 e 5019, da espécie *Bradyrhizobium elkanii*, podendo ser utilizadas individualmente ou combinadas duas a duas, a critério do fabricante de inoculantes (BIZARRO, 2009 e MENDES et al., 2014). Para que sejam seguros e confiáveis, independente das estirpes ou *Bradyrhizobium* utilizados, todo inoculante comercializado no Brasil deve seguir a Instrução Normativa n° 5 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a qual designa concentração mínima de  $1,0 \times 10^9$  células viáveis ou unidades formadoras de colônia (UFC) por grama, no caso de formulação sólida ou Turfosa, ou por mL, quando em formulação líquida, até a data de vencimento do inoculante (MAPA, 2004). Esta concentração equivale à quantidade mínima de inoculante que deve ser misturada a 50 kg de sementes de soja para proporcionar, pelo menos, 1.200.000 UFC por semente de soja inoculada.

### 4.3 Inoculantes e formas de inoculação

As definições de inoculante podem ser amplas e distintas, Bashan (1998) define inoculantes como sendo formulações contendo um ou mais microrganismos benéficos, com capacidade de promover o crescimento vegetal por mecanismos como produção de fitormônios, simultaneamente ou não com a FBN e agentes do controle biológico. Pandey e Maheshwari (2007) definem como uma preparação contendo uma ou mais estirpes (ou espécies) bacterianas benéficas num condutor fácil de usar, econômico, podendo ser orgânico, inorgânico ou sintético. Câmara et al. (2014) complementam que inoculantes, além de serem veículos para o contato entre o *Bradyrhizobium* e as sementes e raízes, são meio de sobrevivência para as bactérias.

As principais formas de inoculantes disponíveis no mercado brasileiro são: i) forma sólida ou turfa, na qual as estirpes estão presentes em substrato

turfoso esterilizado; ii) forma líquida, constituída de substrato aquoso onde se veiculam as bactérias; iii) pó molhável, contendo bactérias liofilizadas em substrato sólido; iv) gel (CÂMARA, 1998; SCHUH, 2005).

Inoculantes turfosos e líquidos são aceitos com maior popularidade por produtores (SILVA, 2009). As justificativas baseiam-se no fato de a turfa apresentar alta capacidade de retenção de água, boa fixação nas sementes, não ser tóxica ao *Bradyrhizobium*, ter capacidade de tamponamento de seu pH e ter fácil esterilização (SMITH, 1992). Hungria et al. (2007) consideram o inoculante turfoso como o melhor veículo para o rizóbio, visto que a turfa é rica em matéria orgânica, uma fonte importante de nutrientes para as bactérias. Entretanto, Bucher e Reis (2008) atentam para o fato de a turfa ser um recurso natural que requer longo período geológico de formação, sendo, portanto, limitado e com possibilidade de se tornar escasso futuramente. Quanto aos inoculantes líquidos, Albareda et al. (2008) descrevem que estes tem sido aceitos com entusiasmo devido apresentarem facilidade no manuseio e menor desgaste das máquinas.

O sucesso do inoculante está ligado a diversos fatores como: qualidade do inoculante no momento do uso, se atentando para a validade e a forma de armazenamento, correção dos fatores edafoclimáticos adversos à sobrevivência do *Bradyrhizobium* no solo, toxidez por outros defensivos contidos na mesma semente e o contato físico do inoculante com as sementes no momento da inoculação (HUNGRIA et al., 2007).

A utilização dos inoculantes se dá no momento da inoculação. Câmara (2000) define a inoculação como a operação agrícola manual ou mecanizada que proporciona o contato físico entre as bactérias fixadoras de nitrogênio e as sementes da planta hospedeira, com o objetivo de estabelecer a simbiose entre as bactérias e o sistema radicular da soja. O autor ressalta que uma boa inoculação só é obtida quando a superfície da semente é recoberta integralmente pelas partículas do inoculante turfoso ou pelo filme de inoculante líquido.

Entre as formas de inoculação mecanizada da cultura da soja, duas são as principais, inoculação utilizando máquinas de tratamento de sementes ou betoneiras, e inoculação no sulco de semeadura (EMBRAPA, 2009).

### **4.3.1 Inoculação com máquinas de tratamento de sementes (método tradicional via semente)**

No passado, um dos maiores obstáculos para a adoção da inoculação de bactérias fixadoras de N e demais tratamentos de sementes, era a inexistência de equipamentos adequados para isso (HENNING et al., 1997). Atualmente este cenário mudou, pois existem no mercado máquinas manuais (tambor), elétricas ou tratorizada para inoculação de sementes, podendo a operação ser realizada na propriedade do produtor ou mesmo na unidade de beneficiamento, o chamado tratamento industrial de sementes - TIS (HENNING et al., 1994). De acordo com a ABRASEM (2005), atualmente 70% das operações de inoculação e tratamento de sementes são realizadas nas propriedades, os outros 30% tem sido realizados como TIS, por empresas e cooperativas.

A operação de inoculação por estas máquinas consiste no método mais tradicional, caracterizando-se pela mistura do inoculante, líquido ou turfoso, às sementes da forma mais homogênea possível. Na mesma operação de inoculação algumas destas máquinas podem realizar o tratamento químico das sementes com fungicidas, inseticidas e micronutrientes como Mo e Co. O tratamento químico, principalmente com fungicidas, é uma prática bem difundida, cerca de 95% das sementes de soja comercializadas no Brasil recebem este tratamento químico e inoculação (ABRASEM, 2005).

De acordo com Câmara (2014) a inoculação com estas máquinas deve levar em consideração alguns procedimentos básicos em relação ao ambiente de inoculação e à operação em si. O autor enfatiza que o ambiente deve ser ventilado e sombreado para que as bactérias não sofram rápida desidratação e nem sejam mortas pela incidência direta de radiação solar. A operação de inoculação deve ser devidamente dimensionada com a área e quantidade de sementes a serem semeadas no dia, possibilitando que sejam abertas apenas o número correto de embalagens de inoculantes que serão consumidos no dia, evitando-se guardar embalagens abertas e sementes já inoculadas para serem semeadas em outro dia.

Embora inoculantes turfosos apresentem facilidade em reter umidade, ao secar, o pó se desprende facilmente das sementes, justificando a necessidade da adição de alguma substância que melhore sua fixação (SMITH, 1995). De forma geral,



para inoculação utilizando este tipo de inoculante, Hungria et al. (2007) e EMBRAPA (2009) citam ser necessário umedecer as sementes de soja em uma solução açucarada ou outra substância adesiva, misturando-as bem para que permita sua distribuição e fixação da turfa na semente. Câmara (2014) confirma esta prática, reforçando que uma boa inoculação só é obtida quando a superfície da semente é recoberta integralmente pelas partículas do inoculante turfoso.

Hungria et al. (2007) indicam que a solução açucarada pode conter concentração de 10% (100 g de açúcar para um litro de água), sendo adicionada e homogeneizada nas sementes, na proporção de 300 ml para 50 kg de sementes, para posterior mistura da turfa na quantidade recomendada pelo fabricante. Henning et al. (1994) e Brandão Júnior e Hungria (2000) citam concentração maior para a solução açucarada, de 15% a 25%.

Brandão Júnior e Hungria (2000) citam que além da solução açucarada outros produtos podem ser usados como substância adesiva, tais como: goma-arábica, polvilho de araruta, polvilho de mandioca, farinha de trigo e diversos tipos de celuloses e polímeros.

Para a inoculação com inoculante líquido procede-se da mesma forma, substituindo apenas a solução açucarada por água, seguindo a proporção indicada pelo fabricante para se obter o número mínimo de UFC (PEREIRA et al., 2010). Henning et al. (1994) indicam a mesma prática, citando nunca utilizar solução açucarada como veículo para inoculação das sementes, caso não seja efetuado o tratamento com fungicidas.

Independentemente do tipo de inoculante utilizado, Câmara (2014) propõe que as sementes fiquem desembaladas ou fora do reservatório da semeadora por aproximadamente 20 minutos depois de inoculadas, para secar e equalizar a umidade das sementes inoculadas com a umidade do ambiente. Além disso, não ultrapassar 300 ml de calda (solução açucarada ou água) para cada 50 kg de sementes, assegurando que as sementes não sofram excesso de molhamento. Segundo o autor a embebição excessiva das sementes propicia o rompimento do tegumento, prejudicando e reduzindo a germinação.

De acordo com Henning et al. (1997), a inoculação via semente com máquinas específicas apresenta vantagens como melhor cobertura e aderência do

inoculante e de outros produtos fitossanitários utilizados, rendimento operacional elevado, em torno de 2.400 a 2.800 kg de sementes por hora, e maior facilidade de manuseio, já que alguns equipamentos podem ser levados ao campo e serem utilizados na tomada de potência do trator (TDP) ou fonte de energia 12V.

Henning et al. (1994), não aconselham a inoculação diretamente no reservatório de sementes da semeadora, devido à baixa eficiência provocada por desuniformidade de cobertura das sementes e aderência do inoculante.

#### **4.3.2 Inoculação no sulco de semeadura**

De acordo com Vargas e Suhet (1980), a inoculação tradicional de sementes de soja nem sempre é uma prática eficiente, principalmente pela aplicação conjunta do inoculante com fungicidas, inseticidas e micronutrientes, que contribuem para causar toxidez aos rizóbio e reduzir a nodulação das raízes. Em evolução à prática tradicional, Zhang e Smith (1996) citam a inoculação no sulco de semeadura como uma alternativa para a inoculação de sementes de soja com mais eficiência.

Hungria et al. (2007) e Vieira Neto et al. (2008) descrevem que esta forma de inoculação, surge como uma estratégia capaz de tornar compatível o processo de inoculação com outros tratamentos de sementes, prática também reconhecida e mencionada pela EMBRAPA (2008).

Segundo Zhang e Smith (1996), a definição para a inoculação no sulco de semeadura, ou simplesmente inoculação via sulco, é a aplicação de *Bradyrhizobium* pulverizado no sulco de semeadura, na mesma operação de distribuição das sementes no solo, no momento de instalação da lavoura. Câmara (2014) descreve ser uma operação prática que visa reduzir a morte do *Bradyrhizobium* pelo tratamento fitossanitário de sementes, utilizando-se equipamento montado no chassi da semeadora, constituído de tanque para inoculante líquido, bomba pressurizadora, mangueiras e pontas de orifício circular para jato contínuo (situados entre os discos duplos sulcadores das sementes).

Para a inoculação via sulco de semeadura é necessária a diluição do inoculante em água, o que melhora a distribuição do rizóbio no solo afastando-o da superfície e posicionando-o onde há menor oscilação de temperatura e umidade (GREENFIELD, 1991). Diante disso, Voss (2002) descreve que a inoculação via sulco poderia resultar no incremento da nodulação, pois posicionaria o rizóbio de forma mais concentrada e ao alcance das raízes, logo após a emergência da plântula.

Segundo Vieira Neto et al. (2008), a inoculação direta no sulco de semeadura baseia-se no fato de que o *Bradyrhizobium* apresenta facilidade de se estabelecer no solo e sobreviver com os substratos orgânicos disponíveis, sendo indicada para condições adversas, tais como solos secos e quentes ou sementes tratadas com produtos deletérios para as bactérias. Williams (1984) e Jensen (1987) citam, ainda, ser uma opção interessante de manejo quando são necessárias altas doses de inoculante, visando aumentar o número de células viáveis formadoras de colônias, o que se torna fundamental para a FBN em condições edafoclimáticas desfavoráveis, como estiagem e altas temperaturas.

Um aspecto importante levantado por Dart (1977) e Vargas et al. (1982), é que quando a inoculação é feita apenas na semente de soja, por método tradicional, a nodulação ocorre com abundância nos primeiros pêlos radiculares, tendendo a degenerar-se na fase de formação e enchimento dos grãos, período crítico de demanda de nitrogênio pela planta de soja, entre o estágio R5/R6. Eventualmente, em solos com histórico de cultivo de soja e colônias já formadas de rizóbio, a nodulação secundária (entre o estágio R5 e R6) poderia acontecer com maior eficiência e naturalmente suprir a planta na formação dos grãos, porém em solos de primeiro cultivo as nodulações secundárias não ocorrem, sendo a inoculação no sulco de semeadura uma alternativa que poderia propiciar essa nodulação, favorecendo o estabelecimento de rizóbio no solo e o incremento da oferta de nitrogênio em estágios reprodutivos da planta de soja.

As desvantagens indicadas por Hungria et al. (2007) para inoculação via sulco de semeadura é o transporte de água até a frente de semeadura e o reabastecimento frequente da semeadora, estes fatores tendem a elevar os custos da inoculação por este método. Embora os custos com inoculantes sejam pouco representativos, Brandão Junior e Hungria (2000) citam a necessidade de utilizar doses

elevadas para inoculação via sulco, sugerindo ser até seis vezes mais que a indicada via semente, pelo fato de compensar a morte de rizóbio por fatores adversos, como temperaturas elevadas do solo, déficit hídrico, acidez do solo, solos arenosos e competição entre colônias de bactérias nativas e as selecionadas.

Em suas pesquisas Hungria et al. (2007), Vieira Neto et al. (2008) e Zilli et al. (2010), descreveram conclusões de igual produtividade de grãos de soja entre inoculação via sulco de semeadura e via semente, tanto para solos já cultivados como para solos de primeiro cultivo. No entanto, Hungria et al. (2007) e Zilli et al. (2010) concluíram que a inoculação via sulco é uma alternativa viável para a inoculação da soja em áreas de primeiro ano de cultivo, em solos arenosos com temperaturas elevadas, quando necessita fazer doses maiores de inoculante e quando as sementes forem tratadas com defensivos químicos. Para estas condições a inoculação via sulco tem apresentado maiores quantidades de nódulos por planta.

Independentemente do método de inoculação, sabe-se que os ganhos em produtividade decorrentes da FBN, em áreas já cultivadas anteriormente com soja, são menos expressivos do que os obtidos em solos de primeiro cultivo. Não obstante, têm-se observado ganhos médios de 4,5% no rendimento de grãos com a inoculação em áreas já cultivadas (EMBRAPA, 2006). Segundo Hungria et al. (1997), a prática de reinoculação de solos já cultivados, ou inoculação de manutenção, tem proporcionado ganho médio de 8% de produtividade de grãos de soja.

Apesar desses resultados, são restritas as informações disponíveis a respeito dos efeitos da inoculação no sulco de semeadura em comparação a inoculação tradicional via semente, assim como a avaliação em áreas já cultivadas, comparativamente a áreas ainda não cultivadas com a soja. Ainda são inexistentes informações sobre características operacionais e econômicas desse método de inoculação.

#### **4.4 Desempenho operacional de máquinas agrícolas**

A mecanização dos processos de produção é o principal meio para elevar a produtividade do trabalho na agricultura. Amplos conhecimentos sobre o processo,

no entanto, tornam-se necessários, visando racionalizar a utilização efetiva das máquinas agrícolas (LOPES et al., 1995).

Neste sentido, Mialhe (1974) define o desempenho operacional das máquinas agrícolas como um complexo conjunto de informações que determinam seus atributos ao executarem operações sob determinadas condições de trabalho. Essas informações podem ter características operacionais (relativas à qualidade e à quantidade de trabalho); dinâmicas (relativas à potência requerida e a velocidade e largura de trabalho) e de manejo (relativas às regulagens, aos reparos e manutenções das máquinas).

A fim de se obter o melhor desempenho operacional do maquinário agrícola, Toledo et al. (2010), citam que as operações devem ser planejadas de forma racional, a fim de que haja aumento da rentabilidade no campo. Para tanto, Milan (1998), descreve ser uma atividade complexa que se dá pelo envolvimento de conhecimentos de diferentes áreas, biológicas, engenharias e economia, em uma mesma operação agrícola. A inoculação via sulco utilizando semeadora-adubadora se enquadra neste contexto, devendo apresentar o melhor desempenho operacional sem que se tenha prejuízos biológicos à nodulação da soja e econômicos por eficiência operacional.

Nos padrões atuais citados pela literatura para a inoculação via sulco, entraves como transporte de água ao campo e taxas de aplicação mínima de 50 L ha<sup>-1</sup>, a tornam pouco eficiente e com custos elevados. O aumento da eficiência e redução dos custos depende principalmente da redução da taxa de aplicação, que poderia reduzir o número de paradas para reabastecimento e otimizar o tempo trabalhado. No entanto prejuízos biológicos por menor nodulação das plantas soam como restrição para a redução da taxa de aplicação, mesmo havendo a possibilidade de aumentar a concentração de bactérias na calda com doses elevadas de inoculante.

Para que estudos sejam realizados com a operação de inoculação via sulco, a fim de otimiza-la operacionalmente, Lopes et al. (1995) descrevem que o método mais utilizado e convencional baseia-se no estudo da capacidade de campo e eficiência.

A eficiência de qualquer equipamento agrícola é medida levando-se em consideração a execução do trabalho para o qual ele foi projetado, no tempo certo e a

custo compatível com o sistema de produção (MIALHE, 1974). Hunt (1974) define a eficiência de campo igual à eficiência de tempo, definida como a razão entre o tempo efetivamente usado e o tempo total disponível, quando são consideradas apenas as operações executadas dentro de campo cultivado. Já a capacidade de campo de uma máquina, seria a quantidade de trabalho produzida por unidade de tempo, podendo ser dividida em efetiva e teórica (MANTOVANI, 1987).

A capacidade teórica de campo denota o desempenho operacional considerando-se que a máquina trabalhe 100% do tempo, em velocidade ideal para a operação e utilizando 100% de sua largura teórica de trabalho. Entretanto, ocorrem inevitáveis perdas de tempo com manobras, abastecimento, problemas mecânicos, entre outros, que resultam em redução da capacidade teórica da máquina, ou seja, descontando o tempo no qual a máquina não está realizando o trabalho para o qual foi projetada, temos a capacidade efetiva de trabalho (LOPES et al., 1995). De acordo com Mialhe (1974) e Molin e Milan (2002), as capacidades de campo podem ser obtidas também pela largura de trabalho do implemento, multiplicada pela velocidade, sendo normalmente expressas em hectares por hora ( $ha\ h^{-1}$ ).

Segundo Fenner (2002), o rendimento operacional pode ser determinado também através do estudo de tempos e movimentos da operação. A determinação do rendimento operacional por estudo de tempos pode ser empregada no planejamento, no controle e racionalização das operações agrícolas, havendo a possibilidade de maior rentabilidade pelo aumento de produção ou redução dos custos operacionais. De acordo com Milan (2004), a informação dos tempos demandados em uma operação propicia melhoria da eficiência gerencial das atividades relacionadas.

#### **4.4.1 Estudo de tempos e movimentos**

Em se tratando de inoculação mecanizada, seja via sulco ou com máquina de tratamento de sementes, o estudo de tempos faz todo sentido para a otimização da operação. De acordo com Simões e Silva (2010), o estudo de tempos e movimentos tem influência fundamental para a melhoria do desempenho operacional das máquinas e métodos de realização das operações, permitindo análises das atividades do processo

produtivo e da relação homem-máquina. Estudos de tempos e movimentos auxiliam também nos sistemas administrativos de planejamento e organização do trabalho (MILAN, 1998).

Mialhe (1974) define estudo de tempos e movimentos como o estudo sistemático dos processos de trabalho com os seguintes objetivos: evoluir o método adequado ou preferido, determinar o tempo gasto para execução de uma tarefa ou operação específica e reduzir custos de produção. Segundo Folle e Franz (1990), dá-se o nome de desempenho operacional a um complexo conjunto de informações que definem, em termos quali-quantitativos, os atributos da maquinaria agrícola quando executam operações sob determinadas condições. No contexto das definições, o estudo de tempos se torna interessante para o conhecimento e aperfeiçoamento dos métodos de inoculação de soja.

Para conhecer o rendimento operacional de uma máquina é preciso conhecer os tempos parciais e totais de sua operação, bem como os fatores que influenciam direta ou indiretamente nos resultados. O conhecimento e análise dos tempos são necessários para aumentar a capacidade produtiva reduzindo os tempos improdutivos. Trata-se de levantar o tempo despendido com paradas, preparação, manobras, manutenção, falta de insumos, entre outros, e partir para alternativas de redução desses tempos (FENNER, 2002). No contexto dos métodos de inoculação trata-se de conhecê-los de modo a analisá-los operacionalmente, com a possibilidade de transformá-los em operações mais simples e eficientes, evitando desperdício de tempo e aumentando ao máximo os recursos de produção.

Há dois métodos de coletar dados de tempos para estudos de desempenho de máquinas em campo, por cronometragem utilizando cronômetro, prancheta e mecanismo de gravação (SIMÕES; SILVA, 2010), ou por monitores instalados na cabine da própria máquina conectado a um receptor de GPS (Global Positioning System) (STRICKLAND et al., 2001).

#### **4.5 Custos operacionais**

Segundo Silva et al. (2005), custos consistem nos dispêndios efetuados aos recursos empregados para produzir um produto. Conhecer os custos envolvidos nas operações agrícolas é uma etapa importante para a avaliação da seleção de máquinas, métodos de trabalho, planejamento e eficiência operacional. As máquinas agrícolas representam a viabilidade de sistemas de produção e uma parcela significativa na composição dos custos das atividades agrícolas. Centeno e Kaercher (2010) relatam que os custos referentes à mecanização agrícola, nas diferentes culturas, representam entre 10 e 30% dos custos totais de produção, demonstrando a importância da escolha da máquina mais adequada para as operações do processo produtivo.

Neves et al. (1996) descrevem que as determinações de custos são feitas com várias finalidades, para o agricultor serve como ferramenta auxiliar de sua administração no processo de tomada de decisão para a escolha da cultura e das práticas a serem utilizadas.

De acordo com Lopes et al. (1995), os custos operacionais são aqueles relativos a aquisição e utilização das máquinas. Mialhe (1974) e Witney (1988) dividem os custos operacionais em fixos e variáveis, sendo os fixos dependentes do tempo de propriedade da máquina e independentes do seu uso, compondo-se por depreciação, juros, taxas, seguro e alojamento. Os custos variáveis são calculados proporcionalmente a utilização da máquina, considerando-se gastos com combustível, lubrificantes, graxas, reparos, manutenções e mão-de-obra.

Molin e Milan (2000) classificam os custos em diretos, indiretos e operacional. Os diretos, ou horário, são aqueles associados à posse e ao uso da máquina, o qual se enquadra os custos fixo e variáveis citados anteriormente. Os indiretos, ou também chamado de pontualidade, são aqueles relativos a um dimensionamento inadequado da máquina ou conjunto mecanizado. É definido como as perdas financeiras devido ao planejamento inadequado da maquinaria e operação agrícola, causando uma redução na produtividade da cultura e/ou na sua qualidade.

O custo operacional está associado à capacidade de trabalho da máquina ou conjunto mecanizado, reflete a relação entre o custo horário da máquina e sua capacidade de trabalho (Mialhe, 1974). É através dele que comparações entre sistemas mecanizados, como inoculação via sulco e via semente, podem ser efetuadas.



Segundo Edwards (2002), o verdadeiro valor destes custos não é conhecido até que a máquina seja vendida ou utilizada. No entanto, de acordo Milan (2004), os custos podem ser calculados fazendo considerações a respeito da vida útil da máquina, consumo de combustível, mão-de-obra e uso anual. A mão-de-obra do operador, por exemplo, pode ser considerada no custo direto de duas maneiras, incidindo integralmente no custo da máquina, se o operador tiver função exclusiva de operar o equipamento, ou incidindo proporcionalmente, caso ele exerça outras atividades além de operador da máquina.

Várias são as metodologias propostas para se estimar os custos das máquinas agrícolas e florestais, variando entre pesquisadores em função de objetivos ou normas preestabelecidas, conforme modelos já apresentados por Machado (1984), Stokes (1993), Malinovski e Fenner (1991), Gibson et al. (1991), Lima e Sant'anna (2001), entre outros. Entretanto, Molin e Milan (2000) esclarecem que especialistas da área de mecanização agrícola têm utilizado métodos da American Society of Agricultural Engineers (ASAE), resultado da compilação de vários trabalhos executados em diferentes situações e com máquinas ou implementos semelhantes, sistematizando essas informações em várias equações. Atualmente a ASAE modificou sua nomenclatura para American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE), porém não teve alterado seu método proposto para cálculo de custos mecanizados.

Diversos modelos matemáticos também já foram criados para seleção, adequação e estimativa de custos de máquinas agrícolas. Baio et al. (2004) desenvolveram um modelo por programação linear, para a seleção de pulverizadores agrícolas com base no menor custo operacional, entretanto, o modelo necessita de um programa computacional dedicado a análise dos dados, tornando-se uma ferramenta pouco útil para uso em tempo real na Internet. Mercante et al. (2010) elaboraram um programa computacional para a seleção e a estimativa do custo operacional de máquinas e implementos agrícolas e verificaram que este pode fornecer ao usuário a melhor escolha da máquina, tanto do ponto de vista técnico, quanto do econômico. Valente et al. (2011) elaboraram um programa de apoio à decisão para a determinação dos custos em unidades armazenadoras de grãos e verificaram que este trouxe flexibilidade e suporte à decisão. Baio et al. (2013), motivados pelo fato dos programas computacionais disponíveis até o momento não apresentam um modo de atualização contínua da base de dados ou do

algoritmo de seleção, desenvolveram um modelo computacional por programação linear em plataforma web, para seleção automatizada de conjuntos mecanizados agrícolas baseados no menor custo operacional. O programa proporcionou ao usuário uma seleção racional via Internet de conjuntos mecanizados e o estudo econômico do uso das máquinas e implementos, sem a necessidade da instalação de programas dedicados no computador.

O custo operacional total da semeadura de soja em plantio direto, utilizando inoculação via semente, foi contabilizado por Costa et al. (2008), no valor de R\$ 1.001,22 ha<sup>-1</sup>, deste total R\$ 2,55 ha<sup>-1</sup> representa o custo com inoculante, utilizando uma única dose. De acordo com Mello (2015), o custo médio da inoculação na semeadura, fica em torno de R\$ 4,24 a R\$ 20,00 ha<sup>-1</sup>, dependendo do inoculante e dose utilizada. Contudo, o autor descreve a inoculação sendo muito mais econômica que a utilização de fertilizantes nitrogenados, para suprir o nitrogênio que uma dose de inoculante disponibiliza para a soja, via FBN, seria necessário um investimento de R\$ 560,00 ha<sup>-1</sup> de uréia. Câmara (2000) cita custo com dose de inoculante em torno de R\$4,00 ha<sup>-1</sup>.

Ferreira et al. (2015), em estudo de levantamento do custo operacional de produção de soja em sistema plantio direto, encontraram que o custo operacional com mecanização foi de R\$ 237,00 ha<sup>-1</sup>, aproximadamente 20% do custo total de produção. Furlaneto et al. (2007) encontraram custo operacional de R\$166,63 ha<sup>-1</sup>.

## **5. MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.1 Campo experimental**

O experimento foi conduzido no ano agrícola 2014/2015, na Fazenda Santa Fé, localizada no município de Pardinho/SP, na região centro oeste do Estado de São Paulo, Brasil, em área com as seguintes coordenadas geográficas - Latitude 23°01'22" S e Longitude 48°38'56" W, altitude média de 898 metros e declividade média de 3,5%.

Segundo a classificação de Köppen e conforme EMBRAPA (1988), o clima da região pertence à classe Cwa, mesotérmico, com estação seca no inverno, temperaturas médias anuais em torno de 20°C, e índice pluviométrico entre 1.100 e 1.700 mm anuais. De acordo com a classificação de Zimback (1997) o solo das áreas experimentais pertence à classe Latossolo Vermelho Distrófico, de textura argilosa (área A) e média (área B).

### **5.2 Experimentos, tratamentos e delineamento experimental**

Foram realizados dois experimentos a campo seguindo a mesma metodologia e na mesma época; a saber:

Experimento 1: área (A) com histórico de inoculação e cultivada com soja em sistema de plantio direto desde o ano de 2000. Manejada empregando-se a rotação com milho na segunda safra de verão e aveia preta no inverno.

Experimento 2: área (B) sem histórico de inoculação, cultivada com *Braquiaria decumbens* e utilizada como pastagem desde a década de 80, estando a dez anos em condição de pastagem degradada.

Para a composição dos tratamentos foram estabelecidos dois fatores: taxa de inoculação e dose de inoculante. O delineamento experimental seguiu o esquema fatorial 5 x 5 (cinco taxas de inoculação via sulco x cinco doses de inoculante) + duas testemunhas (sementes sem inoculante e inoculação via semente) com quatro repetições por tratamento para cada experimento.

As taxas de inoculação e doses de inoculante utilizadas nos tratamentos estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Taxas de inoculação e doses de inoculante utilizados para composição dos tratamentos em ambos experimentos.

<b>Taxas de inoculação</b>
Testemunha (sem inoculação)
Inoculação via semente com D1 (Vsem)*
Via sulco de semeadura a 10 L ha <sup>-1</sup> (VS10)
Via sulco de semeadura a 20 L ha <sup>-1</sup> (VS20)
Via sulco de semeadura a 30 L ha <sup>-1</sup> (VS30)
Via sulco de semeadura a 40 L ha <sup>-1</sup> (VS40)
Via sulco de semeadura a 50 L ha <sup>-1</sup> (VS50)
<b>Dose de inoculante</b>
Testemunha sem dose de inoculante (D0)
1.200.000 UFC** semente <sup>-1</sup> (D1)
2.400.000 UFC semente <sup>-1</sup> (D2)
3.600.000 UFC semente <sup>-1</sup> (D3)
4.800.000 UFC semente <sup>-1</sup> (D4)
6.000.000 UFC semente <sup>-1</sup> (D5)

\*Foi utilizada a dose via semente (1,2x10<sup>6</sup> UFC) recomendada pelo fabricante. \*\*Unidades formadoras de colônia.

As doses foram estipuladas a partir da recomendação mínima citada pela EMBRAPA (2004), de 1.200.000 UFC semente<sup>-1</sup>, sendo as demais doses definidas por progressão aritmética de razão 1.200.000. As taxas de aplicação seguiram

uma progressão aritmética de razão 10, iniciando em 10 L ha<sup>-1</sup> até 50 L ha<sup>-1</sup>, taxa indicada pela literatura como a mínima a ser utilizada em inoculação via sulco.

A inoculação via semente utilizou a dose D1, seguindo a recomendação de uso sugerida pelo fabricante do inoculante utilizado, impressa na embalagem do produto.

### **5.3 Preparo das áreas experimentais**

Antes da semeadura da soja, foram realizadas operações de preparo das áreas experimentais. A área A foi preparada com a dessecação das plantas daninhas, realizando a pulverização de herbicida glyphosate na dose de 3 L ha<sup>-1</sup>, utilizando taxa de aplicação de 150 L ha<sup>-1</sup> com pontas de pulverização tipo XR11004, e pressão entre 2,5 e 3 bar. A área B foi preparada com a dessecação da pastagem de braquiária, realizada por uma pulverização de herbicida glyphosate, e posterior preparo convencional do solo, utilizando duas passadas de grade intermediária e uma de grade leve.

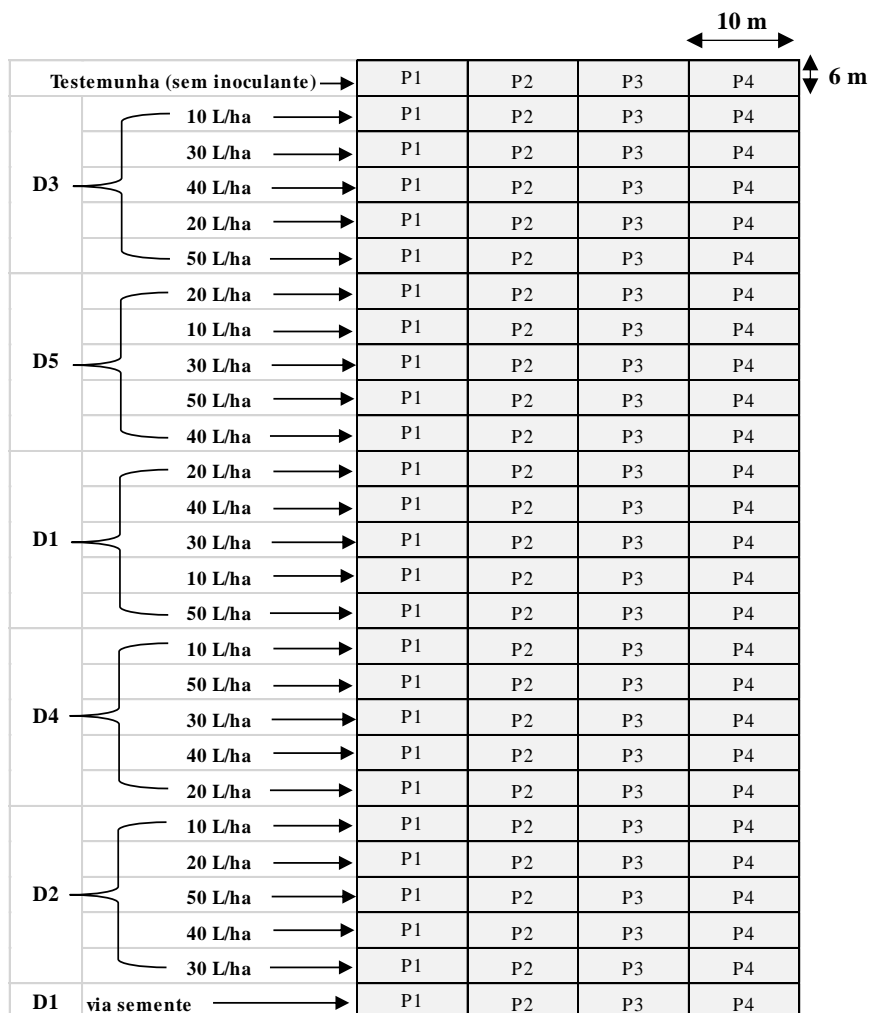
A correção de fertilidade das áreas experimentais foi realizada pela Fazenda Santa Fé, conforme recomendação da análise de solo. Na área A foram utilizados 1.460 kg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico, 750 kg ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola e 100 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio. Na área B foram utilizados 1.927 kg ha<sup>-1</sup> de calcário calcítico e 160 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio. Em ambas áreas os insumos foram aplicados a lanço anteriormente a operação de semeadura.

### **5.4 Instalação dos experimentos**

Os experimentos 1 e 2, foram instalados respectivamente em 02/12/2014 e 16/12/2014, conforme o croqui da Figura 1, onde se nota que os tratamentos foram instalados em faixas de 6 m x 45 m cada, sendo cada uma delas divididas em 4 repetições (P) de 6 m x 10 m, com bordaduras de um metro em cada lado das repetições e área útil de 40 m<sup>2</sup> cada.

Em ambos experimentos a distância entre fileiras de soja foi de 0,45 m, com profundidade de semeadura de 0,03 m e taxa de deposição de 15,7 sementes

por metro, perfazendo uma população aproximada de 350.000 plantas ha<sup>-1</sup>. As sementes e o fertilizante utilizado para adubação de base são apresentados no item 5.6.



**Figura 1.** Croqui da disposição dos tratamentos e parcelas para os dois experimentos.

#### 5.4.1 Porcentagem e massa seca de cobertura do solo

Para a caracterização da porcentagem de cobertura vegetal do solo antes da semeadura, foi utilizada a metodologia descrita por Laflen et al. (1981). Utilizou-se um cordão de 15 m de comprimento com marcações equidistantes de 0,15 m, totalizando 100 marcações. Esse cordão foi estendido diagonalmente sobre o solo, de modo a realizar duas contagens em cada repetição. A porcentagem de cobertura foi contabilizada registrando o número de vezes em que as marcações do cordão ficaram sobrepostas a uma parte vegetal da cobertura do solo.

A quantidade de matéria seca da cobertura vegetal do solo antes da semeadura foi determinada utilizando um quadrado de área 0,25 m<sup>2</sup>. O quadrado foi lançado aleatoriamente nas áreas dos experimentos e todo material vegetal demarcado em seu interior foi coletado em embalagens de papel, devidamente identificadas, e pesadas em balança de precisão 0,001 g. Depois de coletadas e embaladas, as amostras foram colocadas para secagem em estufa a 60 °C por 72 horas, após este período foram novamente pesadas para obtenção do valor de matéria seca presente na cobertura vegetal do solo.

A partir das metodologias descritas, a Tabela 2 indica a porcentagem e quantidade de massa seca sobre o solo das áreas experimentais antes da semeadura.

**Tabela 2.** Porcentagem e massa seca de cobertura vegetal nas áreas dos experimentos.

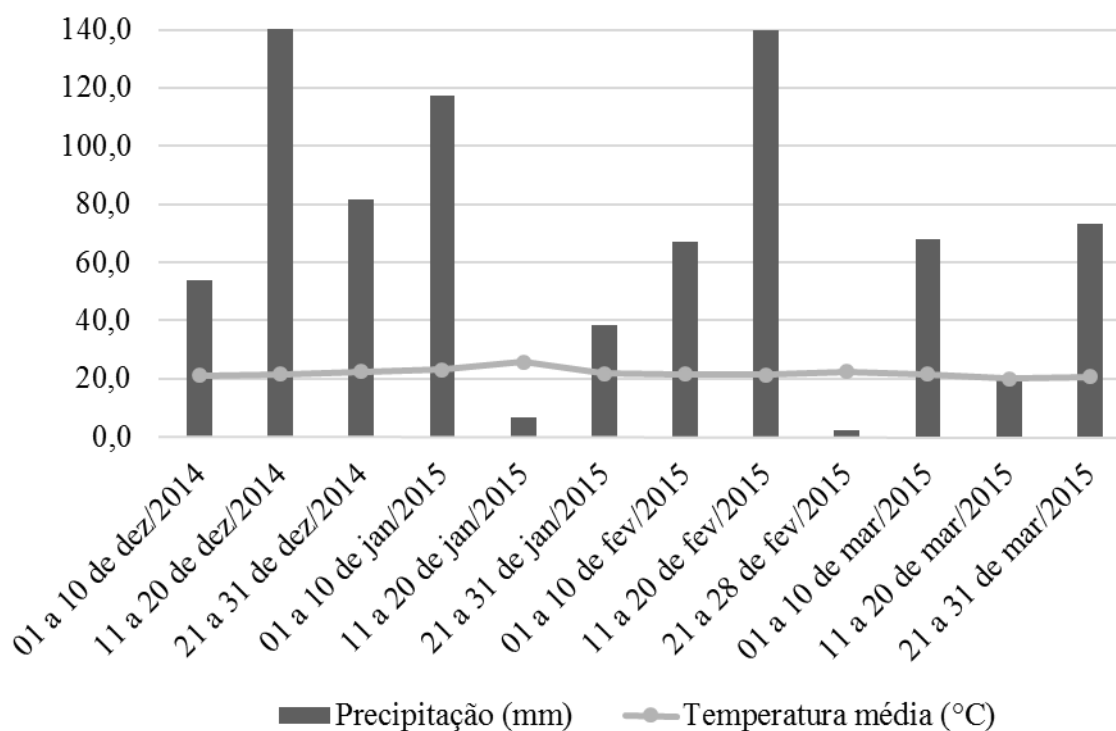
Experimento	Porcentagem de cobertura	Massa seca
	(%)	(t ha <sup>-1</sup> )
Área A (plantio direto)	95,1	7,84
Área B (preparo convencional)	23,9	0,76

Antes da semeadura, a área A apresentava sobre o solo restos culturais da cultura do milho (*Zea mays*), aveia preta (*Avena sativa*) e plantas daninhas dessecadas, principalmente capim colômbio (*Panicum maximum* L.), carrapicho (*Cencharus echinatus* L.), nabiça (*Brasca rapa* L.), leiteiro (*Heuphorbia heterófila* L.), trapoeraba (*Commelina bengalensis* L.), guanxuma (*Sida* spp. L.) e joá-de-capote (*Nicandra physaloides* (L.) Gaertn). A área B apresentava predominantemente braquiária.

## 5.5 Dados pluviométricos e de temperatura

Os dados de precipitação pluviométrica (Figura 2) e temperatura média (Figura 3) durante a implantação, condução e colheita do experimento, de dezembro de 2014 a abril de 2015, foram obtidos do posto meteorológico da Estação Experimental de

Ciências Florestais de Itatinga (EECFI- ESALQ/USP), devido sua proximidade das áreas de estudo.



**Figura 2.** Temperatura média e distribuição da precipitação pluviométrica por decênio na EECFI-SP.

## 5.6 Insumos utilizados

A cultivar de soja utilizada nos experimentos foi a NA5909 RG, transgênica e resistente ao herbicida glyphosate. Segundo informações da empresa produtora das sementes, esta cultivar possui características de crescimento indeterminado e superprecocidade, com florescimento de 32 a 44 dias, maturação fisiológica de 88 a 104 dias e colheita de 94 a 112 dias. A população indicada para região é de 350.000 plantas ha<sup>-1</sup>. As sementes foram fornecidas com tratamento industrial de inseticida, fungicida e nematicida, sendo informada a utilização dos defensivos Standak<sup>®</sup>Top (25 g L<sup>-1</sup> de Piraclostrobina + 225 g L<sup>-1</sup> de Tiofanato metílico + 250 g L<sup>-1</sup> de Fipronil) e Avicta<sup>®</sup>Completo (500 g L<sup>-1</sup> de Abamectina + 350 g L<sup>-1</sup> Thiamethoxan + 75 g L<sup>-1</sup> Azoxystrobin + 37,5 g L<sup>-1</sup> Metalaxyl-M + 12,5 g L<sup>-1</sup> Fludioxil).

O inoculante utilizado foi o de formulação líquida MasterFix L<sup>®</sup>, fabricado pela Stoller, indicado para cultura da soja. Segundo indicações contidas na



embalagem do produto, sua concentração mínima é de  $5 \times 10^9$  UFC\* mL<sup>-1</sup> (\*unidades formadoras de colônia) de Semia 5019 (*Bradyrhizobium elkanii*) e Semia 5079 (*Bradyrhizobium japonicum*). A dose indicada para inoculação via semente é de 100 mL para 50 kg de sementes, e inoculação via sulco a indicação é 900 mL ha<sup>-1</sup> em 30 a 50 L de água sem cloro.

O fertilizante utilizado para adubação de base foi o fosfato monoamônico (MAP), seguindo as doses utilizadas pela Fazenda Santa Fé. Foram utilizados 100 e 360 kg ha<sup>-1</sup> de MAP na área A e B respectivamente, aplicado via sulco de semeadura pela semeadora-adubadora.

Herbicidas, inseticidas, fungicidas e fertilizantes foliares utilizados durante o ciclo da cultura e condução dos experimentos, foram semelhantes para a área A e B. As especificações referentes à nome, quantidade de aplicações, dosagem, e características da aplicação, estão detalhadas no apêndice 1.

## 5.7 Máquinas e implementos agrícolas

Para distribuição à lanço de calcário, gesso e cloreto de potássio, foi utilizado um distribuidor marca Stara, modelo Hercules 10.000AP.

Para tracionar os equipamentos utilizados nas operações de distribuição a lanço de insumos, preparo do solo com grades, necessárias na área B, e semeadura dos experimentos, foi utilizado um trator de pneu de marca John Deere, modelo 6180J cabinado, com tração dianteira auxiliar (4x2 TDA), potência de 132,39 kW (180cv) no motor, transmissão automática PowrQuad<sup>®</sup>, massa total de 9.600 kg e sistema de aquisição de dados constituído por sensores, monitor GS3 2630 e antena receptora de sinal GPS. O monitor tem por finalidade registrar e fornecer dados relativos ao funcionamento e desempenho do trator nas operações agrícolas, tais como, velocidade de trabalho, rendimento operacional, consumo de combustível, manutenções, entre outros.

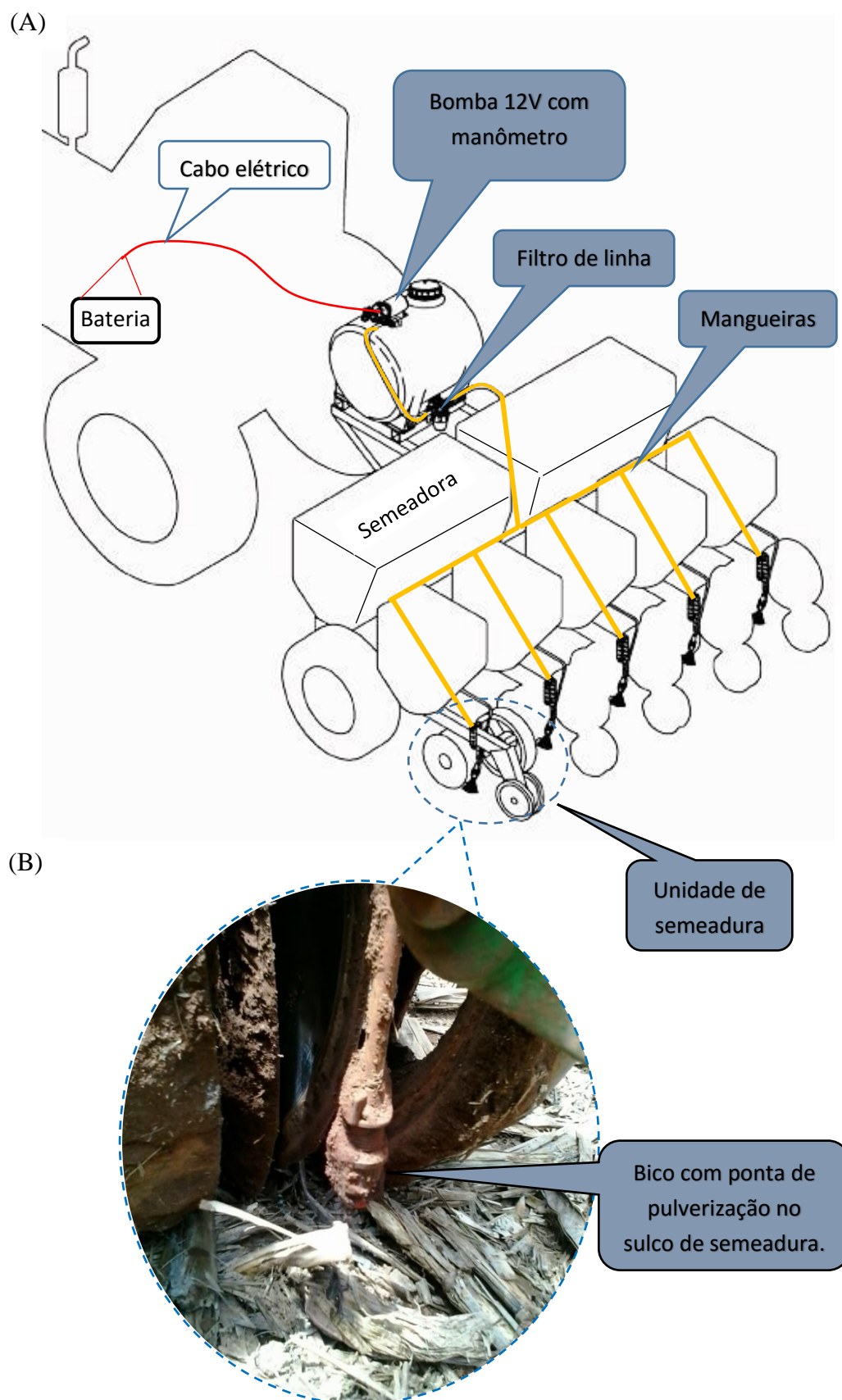
Na área B foi utilizada uma grade intermediária da marca Baldan, modelo CRI, equipada com 18 discos de 28 polegadas, espaçados em 0,25 m, largura de corte de 2,3 m e massa de 2.102 kg. Para o destorroamento e nivelamento do solo da

mesma área foi utilizada uma grade marca Baldan, modelo NVCR, com 32 discos de 22 polegadas, espaçados em 175 mm, largura de trabalho de 2,7 m e massa 1.384 kg.

O pulverizador utilizado foi da marca ServSpray, modelo Gafanhoto Hydro 4 x4 automotriz, de 132,39 kW (180cv) de potência no motor, tanque para 3.000 L de capacidade e barra de pulverização de 25 m, equipada com 50 pontas SF 11002 espaçados em 0,5 m. Este mesmo pulverizador também foi utilizado para as pulverizações de tratamentos culturais durante a condução dos experimentos. A velocidade de trabalho utilizada nas pulverizações foi de 12 km h<sup>-1</sup>.

A semeadora-adubadora utilizada foi da marca John Deere, modelo JD2113 CCS, tratorizada e de arrasto, configurada com 12 unidades de semeadura espaçadas em 0,5 m, mecanismo dosador de sementes pneumático, caixa de sementes central (CCS) com capacidade de 850 kg, caixa de adubo múltipla com capacidade de 2.800 kg e conjunto para inoculação e tratamento das sementes via sulco de semeadura, conforme demonstra o esquema ilustrativo da Figura 3.

O conjunto para inoculação via sulco de semeadura, marca Mecmac, se constituiu de um tanque com capacidade para 100 L, bomba elétrica de 12 V para sucção e pressurização das mangueiras, comando regulador de pressão com manômetro, filtro de linha, linhas de distribuição com mangueiras, bicos e pontas de pulverização do tipo StreamJet<sup>®</sup> TP0001SS. Os equipamentos são fixados no chassi da semeadora e cada unidade de semeadura contém um bico com ponta de pulverização, que são posicionados entre as rodas limitadoras de profundidade da semeadora (Figura 3).



**Figura 3.** Esquema geral, ilustrativo, do conjunto para inoculação via sulco instalado na semeadora (A), e imagem real do bico de pulverização posicionado entre os discos sulcadores de sementes (B).

Para inoculação via sulco de semeadura foi necessário o auxílio de um trator com carreta tanque (pipa), para reabastecimento do equipamento com água e inoculante. O trator utilizado foi da marca Massey Ferguson, modelo MF235 (4 x 2) com 31,6 kW (42,96cv) de potência no motor, e a carreta tanque foi da marca Jacto, modelo Coral EM, de 2.000 L de capacidade e bomba de abastecimento acionada pela tomada de potência do trator.

A máquina utilizada para inoculação via semente, realizada em barracão, foi da marca Mecmac, acionada por um motor elétrico bifásico, equipada com dois reservatórios de calda, um para defensivo outro para inoculante, e sistema de homogeneização (produto/sementes) por rosca sem fim. O transporte das sementes inoculadas até a área dos experimentos, para semeadura, foi realizado com carreta de arrasto tracionada por um trator marca Massey Ferguson, modelo MF290 (4 x 2 TDA), de 62,5 kW (85cv) de potência no motor. O transporte de adubo para semeadura também foi realizado pelo mesmo conjunto carreta/trator MF290.

### **5.8 Regulagem da inoculação via sulco e inoculação via semente**

A taxa de aplicação dos tratamentos via sulco foi regulada antes da instalação dos experimentos, com a semeadora em posição estática e utilizando apenas água no tanque de inoculante. A metodologia adotada para determinar a vazão das pontas correspondente aos tratamentos utilizou o tempo necessário para deslocamento da semeadora em 50 m de percurso, na mesma condição de rotação do motor e marcha utilizada para a semeadura. Com auxílio de um cronômetro digital e prancheta, foram realizadas quatro repetições para se obter o tempo médio de deslocamento da semeadora. Por meio da Equação 1 foi possível efetuar o cálculo da vazão das pontas para cada taxa de aplicação desejada do inoculante via sulco.

$$Q = \frac{3 \times V \times E}{T}$$

(1)

Em que:

Q = vazão ( $\text{mL min}^{-1}$ )

V = taxa de aplicação ( $\text{L ha}^{-1}$ ),

E = espaçamento entre bicos (cm),

T = tempo gasto pelo conjunto semeadora/trator para percorrer 50 m (segundos).

Conhecidas as vazões em  $\text{mL min}^{-1}$  e com auxílio de uma proveta graduada de 500 ml, foram coletadas as vazões de todas as pontas de inoculação da semeadora, ajustando e registrando no manômetro do tanque as pressões referentes a cada tratamento.

Para a inoculação via semente foi diluída uma dose de 300 ml do inoculante em 240 ml de água sem cloro, para o tratamento de 40 kg de semente. A solução de inoculante e as sementes foram colocados em seus respectivos reservatórios na máquina de inoculação, a qual, depois de ligada, realizou a homogeneização (inoculação). Após inoculadas as sementes foram colocadas para secar em embalagem de papel aberta por 20 minutos, para depois serem disponibilizadas para semeadura.

### **5.9 Determinações do consumo de combustível e velocidade operacional de trabalho da semeadora.**

O consumo horário de combustível (CHc) na semeadura e a velocidade efetiva de deslocamento do conjunto trator/semeadora, foram quantificados pelo próprio sistema de aquisição e registro de dados do trator descrito no item 5.8, sendo os valores apresentados na tela do monitor G3 2630 instalado no interior da cabine. Para obtenção dos dados foi realizada uma leitura a cada 10 segundos, durante dois minutos contínuos, dos valores de CHc e velocidade registrados na tela do monitor, perfazendo 12 leituras por repetição. Este método foi utilizado em quatro repetições por experimento, com auxílio de um cronômetro digital.

### 5.10 Determinação do desempenho operacional da semeadura

A coleta de dados para estimar os desempenhos operacionais nas diferentes taxas de inoculação foi realizada empregando-se o método de cronometragem de tempo contínuo. Esse método caracteriza-se pela medição do tempo sem parar o cronômetro.

Foi utilizado cronômetro digital, prancheta, papel e caneta. Em razão da facilidade do registro dos dados, os tempos foram ponderados até a escala dos segundos. A coleta de tempos foi realizada durante duas jornadas de trabalho de 12 horas cada na operação de semeadura.

Para os cálculos da capacidade de campo teórica ( $C_{ct}$ ) utilizou-se a Equação 2, descrita por Mialhe (1974). Este cálculo leva em consideração as características dimensionais e teóricas da semeadora.

$$C_{ct} = \frac{L \times V}{10} \quad (2)$$

Em que:

$C_{ct}$  = capacidade de campo teórica ( $\text{ha h}^{-1}$ );

$L$  = largura nominal de trabalho da semeadora (m);

$V$  = velocidade teórica de trabalho ( $\text{km h}^{-1}$ ).

A capacidade de campo operacional ( $C_{co}$ ), foi obtida por meio da Equação 3, proposta por Mialhe (1974). Na equação utiliza-se a largura e velocidade real de trabalho da semeadora, e a eficiência de campo.

$$C_{co} = C_{ct} \times E_{fc} \quad (3)$$

Em que:

$C_{co}$  = capacidade de campo operacional ( $\text{ha h}^{-1}$ );

$Cct$  = capacidade de campo teórica ( $ha\ h^{-1}$ );

$Efc$  = eficiência de campo ou tempo (expressa em decimal).

A eficiência de campo efetiva ( $Efc$ ) indica o quão eficiente é o sistema no que diz respeito à influência dos tempos de manobra e abastecimento. A  $Efc$  é dada pela razão entre o tempo produtivo da semeadora em campo, em dado tempo, e aquele que seria obtido considerando-se o tempo total em que a semeadora esteve no campo, considerando manobras, abastecimentos e outros tempos despendidos com alimentação e descanso do operador. Utilizou-se para seu cálculo a Equação 4 adaptada de Mialhe (1974).

$$Efc = \left( \frac{T_{pro}}{T_{pro} + T_m + T_a} \right) \times 100$$

(4)

Em que:

$Efc$  = eficiência de campo (%);

$T_{pro}$  = tempo produtivo da máquina realizando a semeadura (min);

$T_m$  = tempo de manobras (min);

$T_a$  = tempo de abastecimento (min).

### 5.11 Determinação do custo operacional da semeadura

O Custo operacional foi calculado para a operação de semeadura, compreendida pela utilização do conjunto trator/semeadora, trator/carreta tanque (pipa), trator/carreta de transporte e máquina de tratamento de sementes, de acordo com o item 5.4. Os cálculos foram realizados conforme metodologias descritas por Mialhe (1974) e ASABE (2011). Os custos foram divididos em fixos, considerando-se juros, depreciação, alojamento, seguro e mão-de-obra, e custos variáveis, admitindo-se combustível, manutenção, óleos lubrificantes e graxas. As equações utilizadas para os cálculos são enumeradas e descritas a seguir.

### 5.12.1 Juros

O custo com juros foi determinado por meio da Equação 5, proposta pela ASABE (2011), empregando-se juro composto e levando em consideração o valor inicial ( $V_i$ ) e o valor final ( $V_f$ ), ou residual de sucata de cada máquina. O percentual da taxa de juros ( $T_j$ ), foi estipulado em 7,5% conforme circular SUP/AGRIS n°07/2015 (BNDES, 2015), e incide sobre o preço médio da máquina.

$$J = \left[ \frac{(V_i + V_f)}{2} \right] \cdot \left[ \frac{T_j \cdot (1 + T_j)^{Hua}}{(1 + T_j)^{Hua} - 1} \right] \quad (5)$$

Em que:

$J$  = custo horário com juros (R\$ h<sup>-1</sup>);

$V_i$  = valor de aquisição ou inicial (R\$);

$V_f$  = valor final ou residual de sucata (10% do  $V_i$ );

$T_j$  = taxa de juros (%);

$Hua$  = número de horas de uso por ano.

Os valores de aquisição das máquinas são apresentados na Tabela 3, de acordo com AGRIANUAL (2015), assim como características de horas utilizadas por ano, vida útil em anos e em horas, conforme ASABE (2006) e ASABE (2011).

**Tabela 3.** Valor de aquisição ( $V_i$ ), vida útil em anos ( $Vua$ ) e horas utilizadas por ano ( $Hua$ ) das máquinas, conforme AGRIANUAL (2015), ASABE (2006) e ASABE (2011).

Máquinas	$V_i$ (R\$)	$Vua$ (anos)	$Hua$ (h)
Trator JD6180J (4x2 TDA)	194.299,00	10	1.200
Trator MF290 (4x2 TDA)	109.636,00	10	1.200
Trator MF235 (4X2)	44.071,00	10	1.200
Semeadora de precisão pneumática	100.000,00	5	300
Carreta com tanque pipa	12.000,00	5	300
Carreta carga seca	8.000,00	15	330
Máquina de tratamento de sementes	6.500,00	8	150



### 5.12.2 Depreciação

A depreciação dos tratores, carretas e semeadora, foi determinada pela Equação 6 proposta por Mialhe (1974), e foi estimada pelo método linear, considerando uma redução constante do valor da máquina para cada ano de vida útil.

$$D = \left[ \frac{(V_i - V_f)}{V_{ua}} \right] \cdot H_{ua} \quad (6)$$

Em que:

$D$  = custo horário com depreciação (R\$ h<sup>-1</sup>);

$V_{ua}$  = vida útil em anos da máquina;

$H_{ua}$  = número de horas de uso por ano.

### 5.12.3 Alojamento

O custo de alojamento refere-se ao juro do capital empregado na construção e manutenção do barracão para abrigo das máquinas. Foi calculada pela Equação 7 sugerida por Mialhe (1974), utilizando um percentual “ $T_a$ ” de 1% sobre o  $V_i$  de cada máquina ou implemento.

$$A = \frac{T_a \cdot V_i}{H_{ua}} \quad (7)$$

Em que:

$A$  = custo horário com alojamento (R\$ h<sup>-1</sup>);

$T_a$  = taxa de alojamento (1% do  $V_i$ ).

#### 5.12.4 Seguros

Custo com seguro é o valor designado para garantir e realizar a cobertura de riscos contra roubo, acidente, incêndio e outras causas que possam provocar a perda da máquina. Foi estimado pela Equação 8, proposta por Mialhe (1974), e considera um percentual  $T_s$  de 2% sobre o valor  $V_i$  da máquina.

$$S = \frac{T_s \cdot V_i}{H_{ua}} \quad (8)$$

Em que:

$S$  = custo horário com seguro (R\$ h<sup>-1</sup>);

$T_s$  = taxa de seguro (2% do  $V_i$ ).

#### 5.12.5 Mão-de-obra

O custo horário de mão-de-obra foi calculado utilizando o custo total dos trabalhadores envolvidos na operação de semeadura, pago pela propriedade em que foram realizados os experimentos. Ao custo total de cada trabalhador foi considerado o salário praticado pela propriedade, encargos sociais, impostos e despesas contábeis. Para operadores de máquinas o custo total mensal considerado foi de R\$2.700,00, e para ajudante geral o custo total mensal considerado foi de R\$1.990,00. Os cálculos do custo horário com mão-de-obra foram realizados conforme a Equação 9.

$$MO = \frac{\text{Custo total do trabalhador}}{N_t} \quad (9)$$

Em que:

$MO$  = custo horário com mão-de-obra (R\$ h<sup>-1</sup>);

$Nt$  = número de horas mensais trabalhadas pelo trabalhador na operação de semeadura (312 horas).

### 5.12.6 Combustível

O custo horário com combustível dos tratores foi calculado de acordo com Mialhe (1974), sendo utilizada a Equação 10. O preço do combustível (Diesel) foi considerado R\$2,79 L<sup>-1</sup>, de acordo com ANP (2015).

$$CCh = CHc \cdot Pc \quad (10)$$

Em que:

$CCh$  = custo horário de combustível (R\$ h<sup>-1</sup>);

$CHc$  = consumo horário de combustível (L h<sup>-1</sup>)

$Pc$  = preço do combustível (R\$ L<sup>-1</sup>).

### 5.12.7 Manutenção

O custo com manutenção das máquinas foi determinado pela Equação 11 designada por Mialhe (1974). A equação utiliza o coeficiente denominado fator de reparo (FR), o qual leva em consideração o número de horas utilizadas, severidade do uso, conservação, manutenções e habilidade dos funcionários. Sendo assim, os valores de FR adotados foram os sugeridos pela ASABE (2011), apresentados na Tabela 4.

$$M = \frac{FR \cdot Vi}{Hua} \quad (11)$$

Em que:

$M$  = custo horário com manutenção (R\$ h<sup>-1</sup>);

$FR$  = fator de reparo (%).

**Tabela 4.** Fator de reparo das máquinas, conforme ASABE (2011).

Máquinas	Fator de reparo (FR)
Tratores de pneu	100%
Semeadoras-adubadoras	75%
Carreta com tanque pipa	80%
Carreta carga seca	80%
Máquina elétrica - tratamento de sementes	60%

### 5.12.8 Lubrificantes e graxas

Custo com óleos lubrificantes e graxas correspondem a 15% do valor despendido no  $CCh$ , sendo calculado através da Equação 12, proposta pela ASABE (2011).

$$CLG = 0,15 \times CCh \quad (12)$$

Em que:

$CLG$  = custo horário com óleos lubrificante e graxas ( $R\$ h^{-1}$ );

### 5.12.9 Custo horário e custo operacional.

O custo horário e operacional fora obtido conforme as Equações 13 e 14, respectivamente.

$$CH = J + D + A + S + MO + CCh + M + CLG \quad (13)$$

Em que:

$CH$  = custo horário ( $R\$ h^{-1}$ );

$J$  = custo com juros ( $R\$ h^{-1}$ );

$D$  = custo com depreciação (R\$ h<sup>-1</sup>);  
 $A$  = custo com alojamento (R\$ h<sup>-1</sup>);  
 $S$  = custo com seguros (R\$ h<sup>-1</sup>);  
 $MO$  = custo com mão-de-obra (R\$ h<sup>-1</sup>);  
 $CCh$  = custo com combustível (R\$ h<sup>-1</sup>);  
 $M$  = custo com manutenção (R\$ h<sup>-1</sup>);  
 $CLG$  = custo com lubrificantes e graxas (R\$ h<sup>-1</sup>).

$$CO = \frac{CH}{Cco} \quad (14)$$

Em que:

$CO$  = custo operacional (R\$ ha<sup>-1</sup>);  
 $CH$  = custo horário (R\$ h<sup>-1</sup>);  
 $Cco$  = capacidade de campo operacional (ha h<sup>-1</sup>).

### 5.12 Custo com insumos agrícolas na semeadura da soja

O custo com insumos, para a área A e B, foi calculado considerando-se a quantidade de aplicações de defensivos, doses utilizadas e valores de aquisição realizados pela Fazenda Santa Fé na região de Pardinho/SP, conforme indica a Tabela 5. O custo com inoculante foi calculado conforme as doses dos tratamentos em estudo.

**Tabela 5.** Dose e custos de aquisição dos insumos utilizados na semeadura e condução dos experimentos na área A e B.

Insumos	Área A		
	Quantidade de aplicações	Dose (p.c* ha <sup>-1</sup> )	Valor de aquisição (R\$)
Sementes NA5909RG	-	56 kg	3,95 kg
Fertilizante MAP	1	100 kg	1,47 kg
Cloreto de potássio	1	100 kg	1,11 kg
Calcário dolomítico	1	1.460 kg	0,11 kg
Gesso agrícola	1	750 kg	0,04 kg
Área B			
Sementes NA5909RG	-	56 kg	3,95 kg
Fertilizante MAP	1	360 kg	1,47 kg
Cloreto de potássio	1	160 kg	1,11 kg
Calcário calcítico	1	1.927kg	0,08 kg
Insumos de uso comum às duas áreas			
Inoculante	**	***	40,00 L
Glyphosate	2	3 L	12,70 L

\*produto comercial. \*\*quantidade de aplicação conforme o tratamento em estudo. \*\*\*dose utilizada de acordo com o tratamento em estudo.

### 5.13 Rentabilidade e relação benefício/custo da forma de inoculação

Com preço da soja estipulado em R\$1,05 kg<sup>-1</sup>, de acordo com boletim n° 68 de 15/04/2015 do Instituto de Economia Agrícola (IEA, 2015), a rentabilidade dos tratamentos foi calculada subtraindo os custos totais (custos operacionais e custos com insumos) da renda bruta obtida com a venda dos grãos produzidos. A eficiência econômica foi determinada pela relação benefício/custo, obtida pela divisão da rentabilidade pelo custo total de produção (GUIDUCCI et al.; 2012).

#### **5.14 Altura de plantas, diâmetro de haste e número de vagens**

As avaliações foram realizadas nas quatro linhas centrais de cada repetição, em dez plantas coletadas aleatoriamente em um metro de comprimento de cada linha, antes do início da colheita dos experimentos.

As alturas de plantas foram medidas com auxílio de uma trena graduada de precisão um milímetro, sendo considerada a distância entre a superfície do solo e o ápice da planta de soja.

Para determinação dos diâmetros de haste utilizou-se um paquímetro de precisão um milímetro, efetuando a leitura a cinco centímetros da marca da superfície do solo.

O número de vagens por planta foi determinado por contagem manual.

#### **5.15 Contagem do número de nódulos**

A avaliação da nodulação das raízes da soja foi verificada através da contagem dos nódulos. Esta avaliação foi realizada com as plantas no estágio de pleno florescimento da cultura (R2), com folhas completamente desenvolvidas e algumas flores abertas nos nós superiores da haste principal. Foram coletadas dez plantas de soja em um metro de comprimento de cada linha, em quatro linhas centrais por parcela.

As plantas foram coletadas com auxílio de uma pá-de-corte e enxadão, mantendo o cuidado de manter o volume de solo das raízes e não perder nódulos. Posteriormente, com auxílio de uma peneira de malha 3 mm e água corrente, os nódulos de cada planta foram separados do solo e das raízes, sendo colocados para secar ao ar e acondicionados em sacos de papel devidamente identificados. A partir de então foram sendo abertos e realizada a contagem manual do número de nódulos por planta.

### **5.16 Determinação da produtividade de grãos**

A produtividade de grãos de cada parcela foi avaliada no estágio de plena maturação das plantas. As plantas foram colhidas manualmente em um metro de comprimento de linha, nas quatro linhas centrais de cada parcela. As plantas coletadas foram trilhadas e debulhadas mecanicamente, sendo os grãos pesados em uma balança de precisão 0,001 g e submetidos a determinação do teor de água no medidor da marca Gehaka 650. O peso dos grãos foi corrigido para 13% de teor de água e os valores extrapolados para obtenção da produtividade por hectare.

### **5.17 Análise estatística**

Uma análise de variância foi realizada para as variáveis produtividade, altura, diâmetro, número de vagens e número de nódulos separadamente para a área A e B segundo um delineamento inteiramente casualizado (DIC) em um arranjo fatorial 5 (Dose: D1, D2, D3, D4 e D5)  $\times$  5 (Taxa de aplicação: 10, 20, 30, 40 e 50 L ha<sup>-1</sup>) + 2 testemunhas (Testemunhas: Sem inoculação e inoculação via semente).

As análises de variância dos dados foram conduzidas usando o procedimento MIXED do software Statistical Analysis System (SAS; versão 9.2). Para considerar um efeito significativo, um nível de probabilidade de 5% ou menor para o teste F foi adotado. As médias de quadrado mínimo e os erros padrões foram apresentados para todas variáveis.



## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Características agronômicas da cultura

Os resultados de características agronômicas indicados pela Tabela 6, foram obtidos pela comparação entre as testemunhas (sem inoculante e via semente) e a média dos tratamentos com inoculação via sulco, que compõem o fatorial do trabalho.

**Tabela 6.** Características agronômicas da soja sem inoculação, inoculada via semente e inoculada via sulco, para área A e B.

Varável	Sem inoculante	Via semente	Via Sulco*
	Área A		
Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )	3.119 c	3.409 b	3.744 a
Altura (cm)	74,1 b	76,0 a	76,4 a
Diâmetro (mm)	7,42 a	7,43 a	7,29 b
Vagens por planta	46 c	56 b	66 a
Nódulos por planta	21 c	29 b	37 a
Área B			
Produtividade (kg/ha)	1.608 c	2.387 b	2.873 a
Altura (cm)	59,1 b	69,0 a	69,6 a
Diâmetro (mm)	6,12 a	5,93 b	5,80 b
Vagens por planta	39 c	47 b	60 a
Nódulos por planta	0	27 a	24 a

\*Média fatorial dos tratamentos via sulco (5 taxas de aplicação x 5 doses de inoculante). Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem estatisticamente pelo teste *t* de Student a um nível de probabilidade de 5%.

Os resultados de produtividade na área A e B, tiveram diferença significativa para semeadura sem inoculante, inoculação via semente e inoculação via

sulco. Sem inoculação os valores de produtividade de grãos na área A foram 9% menor que com inoculação via semente e 20% menor que com inoculação via sulco, porcentagens correspondentes respectivamente a redução de produtividade de 3.409 e 3.744 kg ha<sup>-1</sup> para 3.119 kg ha<sup>-1</sup>. Na área B a produtividade de grãos também foi menor sem inoculante, sendo 48 e 78% menor respectivamente que com inoculação via semente e via sulco, saindo de produtividades de 2.387 e 2.873 kg ha<sup>-1</sup> para 1.608 kg ha<sup>-1</sup>. Estes resultados podem ser compreendidos de acordo com o que esclarecem Hungria et al (2007), que a inoculação da soja, seja via semente ou sulco de semeadura, promove a disponibilização de nitrogênio à cultura, nutriente constituinte dos ácidos nucléicos e de proteínas, fundamentais e indispensáveis para todos os processos biológicos da planta de soja, inclusive a produção de grãos. Segundo esses autores e também Câmara (2014), a carência de nitrogênio impossibilita ou reduz atividades biológicas da planta, reduzindo a produção de grãos por falhas no florescimento e enchimento de grãos. Sendo assim, Joly (1991) afirma que a inoculação da soja proporciona a fixação biológica de nitrogênio (FBN) e representa um dos principais fatores para produção de grãos de soja em solo brasileiro.

Os resultados corroboram com os obtidos por Brandão Junior e Hungria (2000) que encontraram ganhos de produtividade de 22,7% com a inoculação das sementes de soja, saindo de 2.555 kg ha<sup>-1</sup> sem inoculação para 3.308 kg ha<sup>-1</sup> com inoculação. Em área com histórico de inoculação, Câmara (2000) encontrou produtividade de 3.007 kg ha<sup>-1</sup> sem inoculação e 3.274 kg ha<sup>-1</sup> utilizando inoculação via semente com inoculante líquido, ganho produtivo de 8,1%. Em área sem histórico de cultivo com soja, Zilli et al. (2010) verificaram aumento de 41% na produtividade de grãos de soja a partir da inoculação com *Bradyrhizobium*, de 2.184 para 3.703 kg ha<sup>-1</sup>.

Os maiores resultados de produtividade obtidos na inoculação via sulco, 3.744 kg ha<sup>-1</sup> na área A e 2.873 kg ha<sup>-1</sup> na área B, podem ser explicados pela melhor condição de sobrevivência e contato das bactérias fixadoras de nitrogênio com as raízes da soja. Deaker et al. (2004) esclarece que a inoculação deve proteger as células bacterianas proporcionando a manutenção de grande quantidade de células viáveis no solo até que cresçam as raízes. Segundo Smith (1992), em condições de campo isso não é fácil, pois muitos fatores interagem para que o estabelecimento da simbiose entre plantas de soja e rizóbio não ocorra. Características edafoclimáticas e de manejo do inoculante nem sempre são ideais quando a inoculação é realizada via semente, sendo possível e provável que as

bactérias sejam expostas a altas temperaturas, radiação solar excessiva, contato direto com fungicida, excesso de molhamento das sementes e condições desfavoráveis de armazenamento. Esses fatores, de acordo com Câmara (2014), reduzem o número de bactérias viáveis, prejudicando a fixação biológica de nitrogênio para a soja e reduzindo a produtividade de grãos.

O fator que possivelmente também contribui para os resultados obtidos com a inoculação via sulco é a distribuição das bactérias no solo. Pulverizar o inoculante com as bactérias no sulco de semeadura possibilita maior área para o desenvolvimento de colônias, enquanto que na inoculação via semente as bactérias são introduzidas somente na superfície do tegumento, sendo a formação de colônias restrita somente ao redor da semente, em menor área para contato com as raízes. Hungria et al. (1999) descreve que a inoculação via sulco apresenta benefícios na simbiose rizóbio-leguminosa, constatando, no caso da soja, maior número de nódulos e massa nodular em razão da distribuição mais profunda das bactérias no perfil do solo. Segundo o autor este benefício produz taxas mais elevadas de fixação biológica de nitrogênio, podendo resultar em maior produtividade.

Peres et al. (1986) e Yasuriyan et al. (1996) citam que a melhor distribuição das bactérias fixadoras no solo aumenta o desempenho simbiótico e produtivo da soja, visto que a infecção das raízes pelo contato com as bactérias ocorre com maior facilidade. O maior contato das bactérias com as raízes se torna importante principalmente para a inoculação da soja nos estágios fenológicos R1/R2 e R5/R6, que segundo Câmara (2014) e Hungria et al. (2001) são os períodos em que a demanda energética para florescimento, formação das vagens e enchimento dos grãos é elevada. Fagan et al. (2007) descrevem que o acúmulo de fitomassa seca nos estágios de florescimento (R2) e enchimento de grãos (R5), que são os estágios que apresentam a maior intensidade metabólica, são períodos onde a planta deve estar bem nódulada e suprida de nitrogênio.

Hungria (1999) e Voss (2002) descrevem que melhores resultados com a aplicação do inoculante via sulco podem estar relacionados às condições ambientais em que o *Bradyrhizobium* é submetido. No sulco, principalmente em sistema de plantio direto, a temperatura do solo é mais amena que na superfície e o teor de água do solo é maior, proporcionam melhores condições para o estabelecimento e sobrevivência do

*Bradyrhizobium*. Greenfield (1991), afirma que nessa situação, o inoculante se encontra melhor localizado e em favoráveis condições para infectar as raízes da soja.

O contexto da inoculação via sulco e distribuição das bactérias no solo também esclarece os resultados de número de nódulos por planta deste trabalho. Na área A o maior número de nódulos foi verificado na inoculação via sulco, média de 37 por planta, quantidade 22,7 e 42% maior que as obtidas sem inoculação e com inoculação via semente respectivamente. O posicionamento das bactérias de forma mais concentrada no solo e ao alcance das raízes durante seu desenvolvimento resulta em maior nodulação da soja, assim como descreve também Voss (2002).

Os resultados corroboram com Vieira Neto et al. (2008), que ao realizarem trabalho sobre formas aplicação de inoculante e seus efeitos sobre a nodulação da soja, concluíram que após vários anos de cultivo com soja, a melhor resposta à nodulação ocorre com aplicação de inoculante líquido no sulco de semeadura, sendo registrados até 50 nódulos por planta. Zilli et al. (2010), comparando inoculação via sulco com via semente, encontraram aumento de 61% no número de nódulos por planta, de 14 para 37, em área de dois anos de inoculação.

Além da inoculação via sulco a reinoculação, prática anual de inoculação de solos já cultivados com soja e colonizados por *Bradyrhizobium*, também contribuiu para a maior nodulação das raízes da soja. Câmara (2014) indica esta prática para auxiliar a manter no solo um nível satisfatório de população bacteriana, justificando o maior número de nódulos por planta na inoculação via semente e via sulco, em relação à sem inoculação. Segundo Hungria et al. (1997), essa prática é comprovada e tem se revertido também em ganhos de produtividade de grãos entre 4 e 15%.

Na área B, sem histórico de inoculação e de recuperação de pastagem degradada, o número de nódulos por planta foi igual para a inoculação via semente e via sulco, de 27 e 24 nódulos planta<sup>-1</sup> respectivamente, diferenciando-se da testemunha sem inoculação, que não apresentou nódulos nas raízes. Estes resultados reforçam Vieira Neto et al. (2008), que descrevem ser necessário em áreas de primeiro cultivo com soja a utilização de inoculante, para promover a nodulação das raízes da cultura, disponibilizar nitrogênio à planta de soja e promover ganhos de produtividade.

Esses autores também não encontraram diferenças na nodulação das raízes entre inoculação via semente e via sulco, somente entre sem inoculação.

Os resultados obtidos neste trabalho condizem com os encontrados por Zilli et al. (2010) em área de primeiro cultivo, de 21 e 28 nódulos por planta na inoculação via semente e via sulco respectivamente, não sendo diferenciados estatisticamente. No entanto, Vargas e Suhet (1980) encontraram número maior, ou seja, 56 nódulos por planta, possivelmente por terem realizado a contagem dos nódulos no estágio R6, período posterior a contagem realizada no presente trabalho, realizada em R2.

Tanto para produtividade de grãos como para número de nódulos, os resultados discordam com os encontrados por Greenfield (1991), que não encontrou incremento de produtividade e nodulação com inoculação via sulco.

Os resultados de altura de plantas na área A e B foram iguais para inoculação via semente e via sulco, e diferenciados da testemunha sem inoculação. Na área A, a inoculação proporcionou altura média de 76,2 cm, plantas 2,7% mais altas que sem inoculação. Na área B, as plantas inoculadas apresentaram altura média de 69,3 cm, e sem inoculação a altura foi reduzida em 14,7%, para 59,1 cm. É notório que a inoculação como forma de disponibilizar nitrogênio as plantas, proporciona mais condições ao seu desenvolvimento vegetativo, tornando-se plantas com arquitetura mais alta.

O diâmetro da haste apresentou resultados inversos a altura de plantas, sendo o maior diâmetro de haste verificado sem inoculação, 7,42 mm na área A e 6,12 mm na área B. Para inoculação via semente e via sulco, a média do diâmetro de haste foi de 7,36 mm na área A e 5,86 mm na área B, valores 0,8 e 4,2% menores, respectivamente, que sem inoculação. Desta forma, plantas mais altas apresentam menor diâmetro de haste.

Os resultados de vagens por plantas, tanto na área A como na área B, foram maiores para a inoculação via sulco, apresentando respectivamente 66 e 60 vagens planta<sup>-1</sup>. Esses resultados podem estar relacionados a maior nodulação ocorrida nestes tratamentos. Segundo Câmara (2014) em estágios de pleno florescimento (R1 e R2) a demanda fotossintética da planta de soja é elevada, aumentando a taxa fotossintética. Com esse incremento de fotossíntese a planta aumenta a taxa de CO<sub>2</sub> fixado, sendo a

nodulação estimulada em número e massa, resultando em maior quantidade de N<sub>2</sub> fixado. É estabelecida uma nova relação C/N na planta, necessária e responsável pelo pegamento de flores e vagens, concluindo-se que maior quantidade de vagens é consequência da nodulação da planta.

Oliveira et al. (2015), em cultivo com inoculação tradicional e utilizando a mesma cultivar de soja deste trabalho (NA5909 RG), encontraram altura de planta de 67,1 cm, 8,8 mm de diâmetro de haste e 58,8 vagens por planta, valores similares aos obtido neste trabalho.

Analisando o fator dose de inoculante separadamente, conforme a Tabela 7, foi possível encontrar significância apenas para algumas variáveis avaliadas.

**Tabela 7.** Produtividade de grãos e número de vagens por planta na área A e produtividade grãos na área B em função da dose de inoculante utilizada.

Variável	Dose de inoculante					Média	Erro Padrão
	D1	D2	D3	D4	D5		
Área A							
Produtividade	3.329 c	3.778 b	3.806 b	3.883 a	3.924 a	3.744	27,44
Vagens por planta	58 e	61 d	64 c	69 b	74 a	65,2	0,70
Área B							
Produtividade	2.356 e	2.685 d	2.833 c	3.081 b	3.412 a	2.873	25,18

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na mesma linha, não diferem estatisticamente pelo teste *t* de Student ao nível de 5% de probabilidade.

Na área A as variáveis produtividade e vagens por planta foram diferenciadas em função das doses de inoculante estudadas. As doses de inoculante 5 e 4 apresentaram maior produtividade de grãos, não diferenciando entre si, e D1 a menor produtividade. Com D5 e D4 as produtividades foram 15 e 14% maiores que com D1. O número de vagens por planta foi diferenciado para todas as doses de inoculante, sendo o maior número obtido para D5 e o menor para D1, apresentado diferença de 21,5%.

Na área B somente a variável produtividade sofreu diferença significativa em função do fator dose de inoculante. Entre todas as doses estudadas foram obtidas diferenças de produtividade, sendo a maior produtividade obtida com D5 e a menor com D1. A diferença de produtividade verificada entre as duas doses foi de 31%,

provavelmente devido ao fato de a área não conter histórico de bactérias fixadoras no solo, sendo menor a nodulação das raízes da soja e a fixação de nitrogênio. Brandão Junior e Hungria (2000) esclarecem que em áreas com condições desfavoráveis, como as que ocorrem com frequência em solos do cerrado e com preparo convencional, há problemas de estabelecimento de uma nodulação efetiva da soja no primeiro ano de cultivo, sendo recomendadas doses elevadas de inoculante. Com aumento na dose inoculante turfoso, de 250 para 500 g por 50 kg de sementes, os autores verificaram aumento de 3,6% na produtividade de grãos de soja.

Vargas e Suhet (1980) descreveram ser necessária a utilização de doses maiores de inoculante em áreas novas com cultivo de soja ou áreas sem histórico de reinoculação. Comparando doses, os autores encontraram que 2.000 g de inoculante turfoso para 40 kg de sementes, foi superior para a produtividade de grãos. Os autores justificam que maior dose de inoculante superam as condições adversas de sobrevivência do rizóbio, nodulando as raízes com maior facilidade e elevando a atividade da nitrogenase, melhorando a nutrição das plantas e a perspectiva de produtividade.

O fator taxa de aplicação via sulco, semelhantemente ao fator dose de inoculante, apresentou significância para as variáveis produtividade e número de vagens por planta na área A, e produtividade na área B, conforme demonstra a Tabela 8.

**Tabela 8.** Produtividade de grãos e vagens por planta na área A e produtividade grãos na área B em função da taxa de aplicação.

Variável	Taxa de aplicação via sulco (L ha <sup>-1</sup> )					Média	Erro Padrão
	VS10	VS20	VS30	VS40	VS50		
Área A							
Produtividade	3.735 b	3.702 b	3.702 b	3.759 ab	3.820 a	3.744	27,44
Vagens por planta	62 b	61 b	62 b	71 a	72 a	65,6	0,70
Área B							
Produtividade	2.862 a	2.852 a	2.858 a	2.855 a	2.941 a	2.873	25,18

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na mesma linha, não diferem estatisticamente pelo teste *t* de Student ao nível de 5% de probabilidade.

Na área A a taxa de aplicação VS40, que corresponde a 40 L ha<sup>-1</sup>, não diferiu das demais para a variável produtividade de grãos, apresentando produtividade de 3.759,7 kg ha<sup>-1</sup>. No entanto, VS50 apresentou maior produtividade, 3.820,9 kg ha<sup>-1</sup>,

diferindo em relação ao VS30, VS20 e VS10, sendo de 2,2 a 3% mais produtivo. Maior produtividade utilizando maior taxa de aplicação ocorre possivelmente pelo maior molhamento do solo, aumenta a área de colonização e maior contato com rizosfera da soja, proporcionando maior nodulação e fixação de nitrogênio, assegurando nutrição e produção de grãos. Neste sentido, os resultados de número de nódulos apresentados na Tabela 6 para a área A, comprovam que os tratamentos com inoculação via sulco proporcionaram maior quantidade de nódulos por planta, facilitando o entendimento de maiores resultados de produtividade.

Maiores taxas de aplicação via sulco, VS40 e VS50, proporcionaram maior número de vagens por planta na área A, entre 71 e 72 vagens por planta. Em função da melhor nodulação destes tratamentos, as plantas tiveram maior quantidade de nitrogênio disponibilizada nos períodos críticos de floração e formação das vagens, resultando em maior número de vagens por planta. O entendimento deste processo se assemelha ao discutido por Câmara (2014) e Hungria et al. (2007).

Na área B a taxa de aplicação via sulco não influenciou para a produtividade de grãos de soja. Este resultado pode ser interessante para aspectos operacionais, existindo a possibilidade de elevar a eficiência da semeadura em áreas de primeiro cultivo com soja.

Realizando-se a interação entre os fatores taxa de aplicação via sulco e dose de inoculante na área A, somente as variáveis nódulos por planta e produtividade foram significativas, conforme demonstra a Tabela 9.

Analisando o fator dose de inoculante nos resultados de interação, D5 aplicada com VS40 e VS50 apresentaram maior número de nódulos por planta, 49 nódulos planta<sup>-1</sup>, quantidade 38% maior que a encontrada para as doses D1 e D2. Independentemente da taxa de aplicação utilizada, as doses D1 e D2 não apresentaram diferenças para a nodulação das raízes da soja. D3, quando aplicada com VS40 e VS50, apresentou 38 nódulos por planta, quantidade 5,2% maior que se aplicada com VS10, VS20 e VS30. A dose D4 aplicada com VS30, VS40 e VS50, apresentou 5% mais nódulos nas raízes da soja que quando aplicada com VS10 e VS20.



Analisando o fator taxa de aplicação via sulco, todas elas apresentaram mesmo número de nódulos por planta para as doses D1 e D2, indicando que alterar estas doses não aumenta ou diminui a nodulação das raízes da soja. Para todas as taxas de aplicações, a diferença no número de nódulos foi verificada a partir da dose D3, sendo maior conforme maior a dose. De D2 para D3 aumenta em média 17,3%, de D3 para D4 6,1%, e de D4 para D5 17,6%.

**Tabela 9.** Interação entre taxa de aplicação e dose de inoculante para altura de plantas, diâmetro de haste e nódulos por planta na área A.

Taxa de aplicação (L ha <sup>-1</sup> )	Dose de inoculante					Média	Erro Padrão
	D1	D2	D3	D4	D5		
Nódulos por planta							
VS10	30 aD	31 aD	36 bC	38 bB	47 bA	36	0,145
VS20	30 aD	31 aD	36 bC	38 bB	46 bA	36	
VS30	31aD	30 aD	36 bC	40 aB	47 bA	37	
VS40	30 aD	30 aD	38 aC	40 aB	49 aA	37	
VS50	31 aD	30 aD	38 aC	40 aB	49 aA	38	
Média	30	30	37	39	48		
Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )							
VS10	3.173 cbC	3.450 bB	3.474 bB	3.576 aAB	3.592 bA	3.453	21,32
VS20	3.216 cbC	3.495 aB	3.485 aB	3.663 aB	3.849 aA	3.542	
VS30	3.254 cbC	3.508 aB	3.508 aB	3.690 aA	3.869 aA	3.566	
VS40	3.414 baB	3.533 aB	3.516 aB	3.711 aB	3.902 aA	3.615	
VS50	3.465 aC	3.843 aAB	3.850 aAB	3.805 aB	3.937 aA	3.780	
Média	3.304	3.566	3.567	3.689	3.830		

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e mesma letra maiúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste *t* de Student a um nível de probabilidade de 5%.

É possível descrever, portanto, que tanto o aumento da dose, exceto D1 e D2, como da taxa de aplicação proporcionam maior número de nódulos por planta.

A variável produtividade, com a dose D1 e taxa VS40 não promoveu diferenças em relação às taxas menores, no entanto, quando utilizada VS50 a produtividade foi reduzida em relação a VS30, VS20 e VS10. As doses D2 e D3 aplicadas com VS10 apresentaram menor produtividade que quando aplicadas com as outras taxas de aplicação, as quais não diferenciaram entre si. A produtividade obtida com a dose D4 não foi diferenciada pelas taxas de aplicação estudadas, diferentemente da dose D5, que

aplicada com VS10 apresentou menor produtividade que quando aplicada com VS20, VS30, VS40 e VS50.

Utilizando a mesma taxa de aplicação VS10 a produtividade foi significativamente menor com a dose D1, com D4 a produtividade foi semelhante a D3, D2 e D5, no entanto D5 se diferenciou por maior produtividade que D2 e D3. A aplicação VS20 foi semelhante utilizando D2, D3 e D4, entretanto com D1 apresentou menor produtividade, de  $3.216 \text{ kg ha}^{-1}$ , e com D5 maior produtividade, de  $3.849 \text{ kg ha}^{-1}$ , diferença de 16,4%. Assim como VS20, VS30 também teve menor produtividade utilizando D1, diferenciando-se em relação as demais doses. VS30 com D2 e D3 não diferenciaram entre si, no entanto, diferenciaram de D4 e D5. D4 e D5 não diferenciaram entre si e apresentaram maior produtividade quando aplicadas em VS30.

Para o tratamento VS50 os valores apresentaram maior produtividade com D5,  $3.937 \text{ kg ha}^{-1}$ , diferenciando-se das demais doses. Nesta taxa de aplicação a menor produtividade foi obtida utilizando a dose D1,  $3.465 \text{ kg ha}^{-1}$ , sendo 11,9% menor em relação a utilização da dose D5. Entre D2, D3 e D5 a produtividade não foi diferenciada entre si quando aplicadas com a taxa de  $50 \text{ L ha}^{-1}$ .

Nota-se pelos resultados obtidos que utilizando maior taxa de aplicação e maior dose de inoculante a produtividade aumenta, possivelmente relacionado ao molhamento do solo com a calda de inoculante e a concentração de bactérias fixadoras na calda.

Aumentando a taxa de aplicação a área de solo inoculada aumenta, pois ocorre maior molhamento do solo, e aumentando a dose de inoculante a concentração de bactérias fixadoras é maior na calda e no solo inoculado. Ambos fatores auxiliam para o maior contato da rizosfera com bactérias fixadoras, induzindo maior nodulação das raízes e assegurando a eficiência de utilização de N pela planta incrementando a produtividade de grãos, conforme explica Fagan et al. (2007).

Koutroubas et al. (1998), citam que a produtividade de grãos está positivamente relacionada com a capacidade de nodulação das raízes nos estágios de florescimento e enchimento de grãos, estágios em que é intensa a atividade metabólica,

portanto a planta deve estar bem suprida de nitrogênio e fotoassimilados, características fornecidas pela presença de nódulos ativos nas raízes.

Realizando-se a interação entre os fatores taxa de aplicação via sulco e dose de inoculante na área B, somente as variáveis nódulos por planta e produtividade foram significativas, conforme demonstra a Tabela 10.

**Tabela 10.** Interação entre taxa de aplicação e dose de inoculante para altura de plantas, diâmetro de haste e nódulos por planta na área B.

Taxa de aplicação (L ha <sup>-1</sup> )	Dose de inoculante					Média	Erro Padrão
	D1	D2	D3	D4	D5		
Nódulos por planta							
VS10	10 aE	21 aD	24 aC	30 bB	33 bA	24	0,39
VS20	11 aE	22 aD	24 aC	30 bB	33 bA	24	
VS30	11 aE	21 aD	23 aC	30 bB	35 aA	24	
VS40	10 aE	22 aD	23 aC	33 aB	36 aA	25	
VS50	10 aE	22 aD	23 aC	33 aB	35 aA	25	
Média	10	22	23	31	34		
Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )							
VS10	2.350 bD	2.607 bC	2.804 aC	3.075 aB	3.405 aA	2.848	35,39
VS20	2.363 bD	2.566 bC	2.815 aC	3.041 aB	3.536 aA	2.864	
VS30	2.387 bD	2.661 bC	2.876 aC	3.116 aA	3.335 aA	2.875	
VS40	2.417 bD	2.711 bC	2.773 aC	3.054 aB	3.374 aA	2.866	
VS50	2.602 aD	2.850 aC	2.845 aC	3.131 aB	3.413 aA	2.968	
Média	2.424	2.679	2.823	3.083	3.413		

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e mesma letra maiúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste *t* de Student a um nível de probabilidade de 5%.

Os resultados de interação para número de nódulos por planta na área B não apresentaram diferenças para as doses D1, D2 e D3, aplicadas nas taxas estudadas, significando que utilizar estas doses com maior ou menor taxa de aplicação não difere a nodulação das plantas. Para a dose D4 sua aplicação com VS40 e VS50 não diferiram entre si, no entanto proporcionaram quantidade 9% maior de nódulos por planta em relação a utilização das taxas menores. A dose D5 não apresentou diferença quando aplicada com VS30, VS40 e VS50, no entanto, utilizando VS10 e VS20 a nodulação foi diferenciada, proporcionando 6,5% menos nódulos por planta.

Utilizando uma mesma taxa de aplicação o número de nódulos foi elevado pelo aumento da dose de inoculante, esse resultado foi obtido para todas as taxas estudadas e corrobora com Câmara (2014). O autor descreve ser necessário o uso de maior quantidade de inoculante em áreas sem histórico de inoculação, de maneira que um excesso de bactérias seja adicionado ao solo para garantir boa nodulação das raízes no primeiro ano de cultivo da soja. Nesta situação a dose recomendada para inoculação é o dobro daquela que atenda ao mínimo de 1.200.000 UFC semente<sup>-1</sup> de soja.

Analisando a variável produtividade, as doses D1 e D2 somente foram diferenciadas quando aplicadas com taxa VS50, apresentando maiores produtividades, de 2.602 e 2.850 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente. As doses D3, D4 e D5 não apresentaram diferenças na produtividade a partir da mudança da taxa de aplicação.

Utilizando as taxas de aplicação VS10, VS20, VS40 e VS50, as produtividades foram diferenciadas pelo aumento das doses de inoculante, sendo os menores resultados obtidos com D1 e os maiores com D5. A produtividade da taxa VS30 não foi diferenciada para as doses D4 e D5, apresentando produtividades maiores que as demais doses. Com D1 a taxa VS30 apresentou a menor produtividade, aproximadamente 26% menor que a média obtida com D4 e D5.

De maneira geral os resultados de número de nódulos e produtividade obtidos na área B são menores que os encontrados na área A. As diferenças existem devido a área A possuir histórico de inoculação, já constando de bactérias fixadoras, servindo as doses e taxas utilizadas como um método de reinoculação, recompensando o possível déficit de bactérias por condições edafoclimáticas, mantendo e potencializando a capacidade de nodulação das plantas de soja neste solo. No entanto, na área B, por se tratar de reforma de pastagem degradada e sem histórico de inoculação, possivelmente não havia bactérias fixadoras no solo, sendo desprovido de colônias já estabelecidas, dificultando a nodulação da soja, originando menor número de nódulos por planta e produtividade da cultura.

A discussão anterior corrobora com Zilli et al. (2013), os autores salientam que em solos de primeiro ano de cultivo de soja, as bactérias capazes de nodular e fixar o nitrogênio para a leguminosa podem estar presentes, podendo ocorrer uma

redução na nodulação das raízes e, conseqüentemente, menor eficiência do processo de fixação biológica de nitrogênio, respostas fisiológicas e produção de grãos.

Outro fator que possivelmente pode ter interferido para menores resultados obtido na área B é o fato de o cultivo ter sido realizado em preparo convencional do solo. Neste tipo de preparo as condições de temperatura e umidade nas camadas superficiais do solo sofrem oscilações em relação ao plantio direto, o que possivelmente pode contribuir para a morte das bactérias, reduzindo a nodulação das raízes e conseqüentemente a produtividade. ZHANG et al. (1996) confirmam a temperatura do solo, o pH, a salinidade, teor de água e oxigênio, toxinas e predadores como potenciais razões para a colonização e sobrevivência das bactérias *Bradyrhizobium*. Campos e Gnatta (2006) descrevem que o sistema de preparo convencional do solo promove um ambiente ecológico diferenciado do sistema plantio direto, particularmente nos primeiros centímetros do solo, cujo aumento na temperatura e nas oscilações térmicas, e redução da umidade do solo desfavorecem a atividade microbiana.

Resultados obtidos por Campo et al. (2009) demonstraram que em condições adversas a nodulação pode ser reduzida 14% em áreas com população estabelecida, 33% em áreas sem população estabelecida, caracterizada com solo do tipo argiloso e 73% em áreas sem população estabelecida, caracterizada com solo do tipo arenoso.

## **6.2 Consumo horário de combustível e velocidade operacional**

Os resultados de velocidade operacional e consumo horário de combustível (CHc) na semeadura dos experimentos, são apresentados na Tabela 11.

Não houve diferença nos valores de CHc e velocidade operacional para a área A e B. Este resultado pode ser justificado em razão do trator utilizado para tracionar a semeadora possuir cambio automatizado, não ocorrendo diferenças de patinagem entre as duas áreas semeadas. De acordo com Harris e Jensen (1964) e Bietresato et al. (2012), este tipo de transmissão seleciona o escalonamento de marchas e rotação do motor de modo a minimizar as perdas de torque e garantir a eficiência nas

operações agrícolas, baseando-se em informações das forças que atuam sobre os rodados, como atrito de rolamento, patinagem e resistência trativa.

**Tabela 11.** Consumo horário de combustível (CHc) e velocidade operacional de semeadura na área A e B.

<b>Experimento</b>	<b>CHc (L h<sup>-1</sup>)</b>	<b>Velocidade (km h<sup>-1</sup>)</b>
Área A	15,2 a	7,2 a
Área B	13,9 a	6,8 a
CV (%)	1,74	2,09

CV: coeficiente de variação. Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, indicam que os dados não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

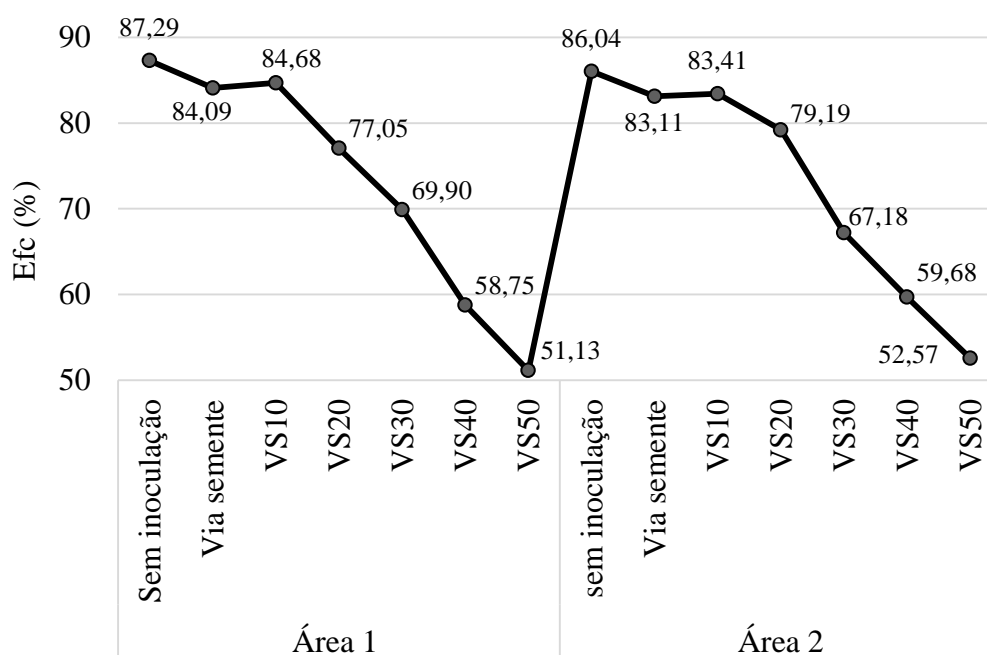
Os resultados coincidem com os obtidos por Furlani et al. (2005), que ao avaliarem uma semeadora-adubadora de precisão em três sistemas de preparo do solo, concluíram que os fatores velocidade de deslocamento e consumo horário de combustível podem não diferir entre plantio direto e preparo convencional do solo. Para esses dois sistemas de preparo os autores encontraram velocidade média de 7,4 km h<sup>-1</sup> e CHc de 14,6 L h<sup>-1</sup>. Chioderoli et al. (2010) também em trabalhos realizados com semeadora-adubadora em três sistemas de preparo, não encontraram diferença para velocidade de operação e CHc entre o preparo convencional do solo e plantio direto, confirmando os resultados demonstrados na Tabela 11.

### 6.3 Desempenho operacional

Os resultados de capacidade de campo teórica (Cct), não apresenta diferença entre os tratamentos, sendo na área A de 4,68 ha h<sup>-1</sup> e na área B de 4,08 ha h<sup>-1</sup>. A diferença de Cct entre as áreas foi de 14,7% e pode ser justificada pela diferença de velocidade de semeadura, 7,2 km h<sup>-1</sup> na área A e 6,8 km h<sup>-1</sup> na área B. Como a largura útil de trabalho da semeadora foi a mesma nas duas áreas, a maior velocidade na área A resultou maior Cct. Os resultados corroboram com os obtidos por Chaves (2015) e consente com a teoria da capacidade de campo descrita por Mialhe (1974), em que o

aumento da velocidade e constância da largura de trabalho, produz o aumento linear da capacidade de campo teórica, pois a única variação passa a ser a velocidade.

Os resultados de eficiência de campo da semeadura (Efc), são apresentados na Figura 4, e indicam que, tanto na área A como na área B, o tratamento sem inoculação obteve maior Efc.



**Figura 4.** Eficiência de campo (Efc) da semeadura nas áreas A e B.

Na área A o tratamento sem inoculação apresentou Efc de 87,29%, sendo 2,61% mais eficiente que a semeadura com inoculação via sulco e menor taxa de aplicação (VS10). Na área B os resultados foram semelhantes, sendo a Efc do tratamento sem inoculação 86,04% e a Efc do VS10 83,41%, diferença de 2,63%. Conforme considerações a respeito de eficiência operacional descritas por Molin et al. (2006), estes resultados podem ser explicados pela menor ocorrência e influência de tempos demandados com reabastecimento sobre o tempo total em que a semeadora permaneceu no campo para semeadura. Sendo assim, semear sem inocular não demanda tempo com paradas para reabastecimento de inoculante, somente com adubo e semente, o que proporcionou a maior Efc da operação.

No entanto, sobre este resultado deve-se levar em consideração o custo benefício de ter maior Efc na operação de semeadura ou a possibilidade da produtividade de grãos comprometida pela não fixação biológica de nitrogênio. Em trabalho realizado por Bárbaro et al. (2009), os autores constataram que sem inoculação a produtividade de grãos de soja reduziu 20,9%, saindo de 2.986,8 para 2.359,7 kg ha<sup>-1</sup>. Zilli et al. (2010) e Santos Neto et al. (2013) encontraram, respectivamente, redução de 43,3 e 9,8% na produtividade de soja não inoculada.

Os resultados de Efc encontrados nas duas áreas, nos tratamentos sem inoculação, via semente e VS10, são semelhantes aos encontrados por Chaves (2015), que para semeadura de soja em velocidades que alteraram de 5,5 a 7,8 km h<sup>-1</sup>, e inoculação via semente, encontrou Efc de 83 a 94%.

Entre os tratamentos com inoculação, nas duas áreas, a Efc para via semente e VS10 foram semelhantes, sendo as diferenças entre uma e outra menor que 1%, indicando que ambos são possíveis de serem utilizados com a possibilidade de mesma Efc na operação de semeadura.

A priori, considerando a capacidade do reservatório de sementes da semeadora e a densidade de semeadura utilizada, o tratamento via semente poderia apresentar maior Efc que o tratamento VS10, devido a maior autonomia de trabalho sem necessidade de parada para reabastecimento. No entanto, o contexto operacional da inoculação via semente acaba demandando mais tempo e reduzindo sua Efc. Este tipo de inoculação é geralmente realizado na sede da propriedade, em galpão, por máquina de tratamento de sementes, e conforme descrevem Hungria et al. (2007) e Câmara (2014), algumas boas práticas devem ser seguidas para que a inoculação seja eficaz. Segundo os autores as sementes devem ser inoculadas no mesmo dia de sua semeadura, devendo ser evitado o armazenamento de semente inoculadas para uso em outra data. Além disso, para maior aderência do inoculante nas sementes e sobrevivência das bactérias *Bradyrhizobium*, é desejável que após a inoculação as sementes sejam colocadas para secar, espalhadas ou em embalagem aberta, por no mínimo 20 minutos, em ambiente fresco e a sombra, e somente depois de secas estarão prontas para semeadura.



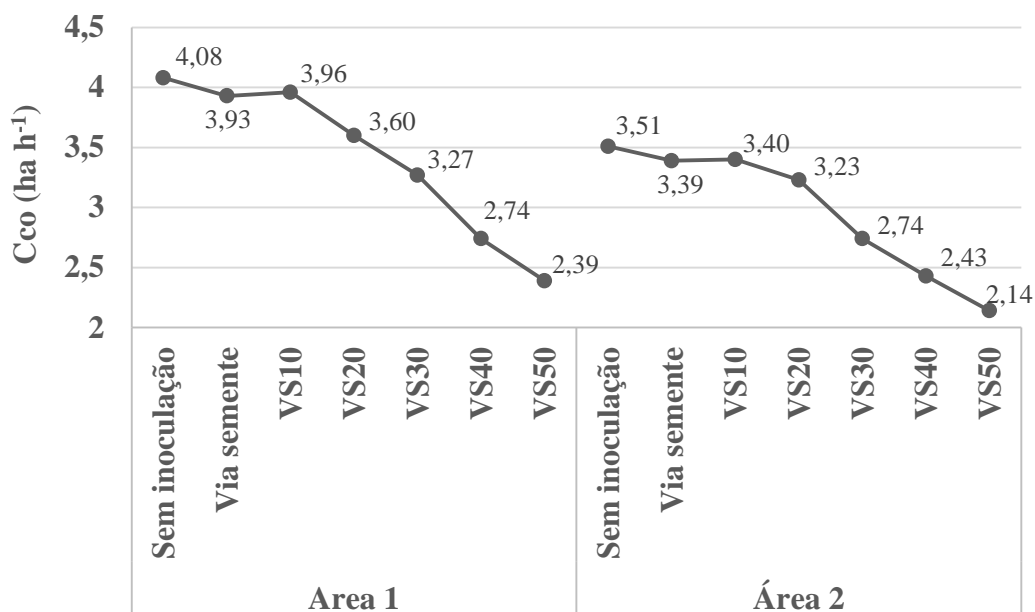
Seguindo as boas práticas e considerando o tempo que a semeadora permanece parada a espera de reabastecimento com sementes inoculadas, o tratamento de inoculação via semente tem sua Efc reduzida e equiparada ao tratamento VS10.

Estes resultados podem ser justificados em função da taxa de aplicação utilizada no VS10, de 10 L ha<sup>-1</sup> via sulco de semeadura, o que proporciona menor número de paradas para reabastecimento da semeadora, demandando, portanto, menos tempo parado, otimizando e elevando a Efc da semeadura. O aumento da taxa de aplicação aumenta o número de reabastecimentos, reduzindo o tempo produtivo da semeadora.

Entre os tratamentos com inoculação via sulco é notória a influência da taxa de aplicação na Efc da semeadura. Na área A a diferença entre a maior Efc, VS10, e a menor, VS50, foi de 33,5%, e na área B a mesma comparação apresentou diferença de 30,8%.

Os resultados dos tratamentos com inoculação via sulco indicam que a redução da Efc é inversamente proporcional ao aumento da taxa de aplicação. Na área A, o percentual de Efc dos tratamentos via sulco reduziu em média 8,3% a cada aumento de 10 L ha<sup>-1</sup> na taxa de aplicação. Na área B este percentual foi de 7,7%.

Os resultados de capacidade de campo operacional (Cco) são apresentados na Figura 5.



**Figura 5.** Capacidade de campo operacional (Cco) da semeadura nas áreas A e B.

Segundo Mantovani (1987) a Cco indica a quantidade de trabalho produzida por uma máquina por unidade de tempo, sendo assim, a semeadura do tratamento sem inoculação apresentou Cco de 4,08 ha h<sup>-1</sup> para a área A e 3,51 ha h<sup>-1</sup> para a área B. Esses valores são 2,9 e 3,1% maiores que a Cco do tratamento VS10 nas áreas A e B, respectivamente. A maior Cco sem inoculação pode ser compreendida em razão da maior Efc obtida e indicada na Figura 5. Devido a Efc indicar o percentual de tempo que a semeadora esteve em campo realizando a semeadura propriamente dita da cultura, descontado os tempos despendidos com manobras e reabastecimentos, é possível dizer que quanto maior a Efc, maior a quantidade de área semeada por hora, portanto, maior Cco.

Entretanto, é importante que se avalie entre semear sem inoculação e inoculando a relação benefício/custo da Cco e produtividade de grãos de soja. É desejável que se pondere vantagens operacionais sem prejuízos na produtividade. De acordo com diversas literaturas a respeito de produtividade de soja associada a inoculação, indicam que inocular a prática é na maioria das vezes indispensável para ganhos de produtividade. Na área A, por exemplo, verificou-se situações que a soja respondeu ao aumento de produtividade quando à taxas maiores de aplicação do inoculante. Uma alternativa para aumentar a Cco e a produtividade inoculando via sulco com maiores taxas

de aplicação seria aumentar o volume do tanque de inoculante da semeadora, para reduzir as paradas de reabastecimento. Isso poderá melhorar o benefício/custo da inoculação.

Entre os tratamentos via semente e VS10, a Cco foi semelhante, tanto na área A como na área B. Na área A a Cco dos tratamentos foi entorno de  $3,9 \text{ ha h}^{-1}$ , e na área B foi de  $3,4 \text{ ha h}^{-1}$ . Os resultados de ambos tratamentos são maiores que a Cco dos tratamentos VS20, VS30, VS40 e VS50, pois taxas de aplicações maiores que  $10 \text{ L ha}^{-1}$  apresentaram menor Efc (Figura 5), por consequência da maior quantidade de paradas para reabastecimento do tanque de inoculante durante a operação de semeadura.

Na área A, a Cco do VS10 para VS50, reduziu de  $3,96$  para  $2,39 \text{ ha h}^{-1}$ , o que significa  $39,6\%$  menos área semeada por hora. De VS10 a VS30, cada aumento de  $10 \text{ L ha}^{-1}$  na taxa de aplicação reduziu a Cco em  $9,1\%$ , seguindo uma progressão aritmética de razão  $0,3 \text{ ha h}^{-1}$ . De VS30 a VS50, a Cco foi reduzida em média  $14,5\%$  a cada aumento de  $10 \text{ L ha}^{-1}$  na taxa de aplicação, o que significa aproximadamente  $0,4 \text{ ha h}^{-1}$ .

Na área B, a Cco do VS10 para VS50, reduziu de  $3,51$  para  $2,14 \text{ ha h}^{-1}$ , o equivalente a  $39\%$  menos área semeada por hora. De VS10 para VS20, a Cco foi reduzida em  $5\%$ , e entre VS20, VS30, VS40 e VS50 a redução foi em média de  $12,7\%$ , a cada  $10 \text{ L ha}^{-1}$  de alteração na taxa de aplicação.

Os valores encontrados de Cco sem inoculação e inoculando se assemelham aos encontrados por Pinheiro Neto et al. (2008), que em trabalho avaliando a semeadura de soja com semeadora-adubadora de 8 linhas, espaçadas em  $0,45 \text{ m}$  e diferentes velocidades de operação, encontraram Cco que oscilaram entre  $4,21$  a  $2,26 \text{ ha h}^{-1}$ . Pavan (2006), utilizando semeadora com menor largura de trabalho, sete linhas espaçadas em  $0,45 \text{ m}$ , e velocidade de  $6 \text{ km h}^{-1}$ , para a semeadura de soja, encontraram Cco de  $2,1 \text{ ha h}^{-1}$ . Este resultado torna possível compreender que a Cco do VS50 na área A e B, utilizando semeadora com maior largura de trabalho e velocidade de deslocamento, é baixa.

#### 6.4 Custo horário e operacional

Os resultados de custo horário (CH) e custo operacional (CO) da operação de semeadura são apresentados na Tabela 12. A semeadura com inoculação via semente apresentou maior CH, com valor de R\$ 425,73 h<sup>-1</sup>, sendo 11,3 e 3,7% mais onerosa, respectivamente, que a semeadura sem inoculação e com inoculação via sulco. O maior custo deste tratamento ocorre devido a necessidade de maior mão-de-obra, além dos trabalhadores envolvidos na operação de semeadura no campo, outros dois trabalhadores são necessários para inocular as sementes na sede da propriedade, utilizando máquina de tratamento de sementes.

**Tabela 12.** Custo horário (CH) e operacional (CO) da operação de semeadura na área A e B.

Tratamento	CH (R\$ h <sup>-1</sup> )		CO (R\$ ha <sup>-1</sup> )			
	Área A e B	Média	Área A	Média	Área B	Média
Sem inoculação	377,46	377,46	94,40	94,40	107,54	107,54
Via semente	425,73	425,73	108,33	108,33	125,58	125,58
VS10	409,70		103,46		120,50	
VS20	409,70		113,81		126,84	
Via sulco	409,70	409,70	125,29	132,70	149,53	151,38
VS40	409,70		149,53		168,60	
VS50	409,70		171,42		191,45	
Custo médio	1.212,89		335,43		384,50	

O menor CH foi verificado para a semeadura sem inoculação (R\$ 377,46 h<sup>-1</sup>) justificado pela necessidade de menor número de trabalhadores, dois tratoristas para operação dos conjuntos trator/semeadora e trator/carreta carga seca, e um auxiliar de campo para reabastecer a semeadora. Sendo assim, os custos com mão-de-obra são reduzidos.

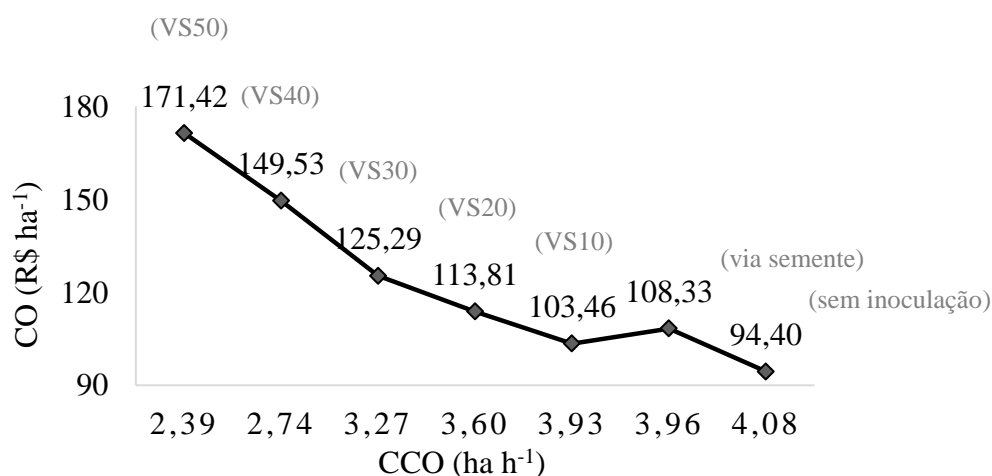
A semeadura com inoculação via sulco apresentou custo intermediário (R\$ 409,70 h<sup>-1</sup>). Para semear inoculando no sulco de semeadura é necessário, além do conjunto trator/semeadora e trator/carreta de carga seca para transporte de adubo,

um conjunto trator/carreta pipa para transporte e reabastecimento do tanque de inoculante da semeadora. Este conjunto é dispensável para semeadura sem inoculação e inoculação via semente. Operacionalmente a inoculação via sulco foi 3,7% mais econômica que a inoculação via semente, e 8,5% mais onerosa que semear sem inocular.

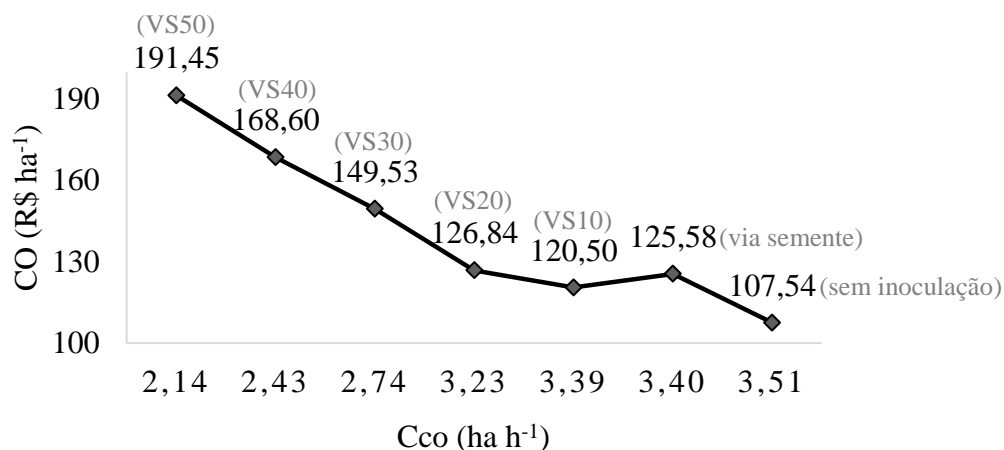
Os resultados de CH da semeadura são maiores que o apresentado pela FAEG (2015), de R\$ 204,99 h<sup>-1</sup> para operação de semeadura de soja no estado de Goiás. O menor custo indicado pelo autor se explica pelo fato de considerar apenas o conjunto trator/semeadora para a operação de semeadura, sendo ignorado os demais conjuntos mecanizados e mão-de-obra necessários a operação.

Em se tratando de custos operacionais, o tratamento sem inoculação apresentou os menores valores, R\$ 94,40 ha<sup>-1</sup> na área A e R\$ 107,54 ha<sup>-1</sup> na área B. Já os maiores custos operacionais foram verificados no tratamento VS50, R\$ 171,42 ha<sup>-1</sup> na área A e R\$ 191,45 ha<sup>-1</sup> na área B. Na área A a diferença entre esses custos representa 44,9%, e na área B, 43,8%. Esses resultados podem ser explicados pela maior Cco do tratamento sem inoculação e menor Cco do VS50, indicadas na Figura 6. Simões e Fenner (2010), esclarecem que o CO é consequência direta da Cco das máquinas, sendo inversamente proporcionais, quando maior a Cco menor o CO.

Correlacionando os resultados de Cco (Figura 5) com CO (Tabela 12), foi possível montar a Figura 6 e 7, que corrobora com os autores e explica os resultados de CO na área A e B.



**Figura 6.** Custo operacional (CO) em função da capacidade de campo operacional (Cco) na área A.



**Figura 7.** Custo operacional (CO) em função da capacidade de campo operacional (Cco) na área B.

Entre os tratamentos que utilizaram inoculação, o menor CO foi verificado no VS10, cujo valores foram R\$ 103,46 ha<sup>-1</sup> na área A e R\$ 120,50 ha<sup>-1</sup> na área B. Em relação a semear sem inocular, esse tratamento foi 8,7% mais oneroso na área A e 10,7% na área B, em relação a semeadura com inoculação via semente ele foi 4,4 e 4% mais econômico na área A e B respectivamente.

Os resultados de CO encontrados são similares aos encontrados por Andrade et al. (2012), que em Diamantino/MT, verificaram custo operacional para semeadura da cultura da soja em R\$ 165,26 ha<sup>-1</sup>, valor equivalente ao CO encontrado no VS40 na área B. Silva et al. (2015), para semeadura de soja sem inoculação encontraram CO da semeadura de R\$ 118,79 ha<sup>-1</sup>. O Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária –IMEA (2015), em levantamento dos custos de produção de soja da safra 2014/15, encontraram que o custo operacional da semeadura, incluindo mão-de-obra, foi de R\$ 130,60 ha<sup>-1</sup>.

Jasper e Silva (2013), em estudo comparativo do custo operacional da mecanização agrícola utilizando duas metodologias para o estado de São Paulo, encontraram, a partir da metodologia proposta por Mialhe (1974), que o custo da semeadora + carreta de transporte de insumo + carreta para transporte de água, totalizou R\$ 160,18 ha<sup>-1</sup>. Lazzarotto e Hirakuri (2009) em estudo sobre a evolução e perspectivas de desempenho econômico associadas com a produção de soja nos contextos mundial e brasileiro, encontraram custo operacional da semeadura e sua mão-de-obra de R\$ 125,60 ha<sup>-1</sup> no estado do Paraná. Martim et al. (1994) encontraram valores superiores, de R\$ 219,44 ha<sup>-1</sup>.

Os valores de custo operacional encontrados na literatura são similares aos valores obtidos no VS50, VS40, via semente e sem inoculação, pois estes tratamentos são comumente mais praticados por produtores na semeadura da soja. As diferenças entre os resultados encontrados e os descritos na literatura, ocorrem possivelmente pelas diferenças no maquinário utilizado, suas características operacionais e capacidades de campo operacional, valores praticados de mão-de-obra e combustível nos diferentes períodos e regiões analisadas.

## **6.5 Custo com insumos**

Na Tabela 13 são apresentados os custos com insumos utilizados no preparo e semeadura da cultura da soja na área A e área B.

A maior parte dos custos com insumos utilizados na semeadura, foi obtida com corretivos e fertilizantes, R\$ 401,75 ha<sup>-1</sup> na área A e R\$ 497,59 ha<sup>-1</sup> na área B. O maior custo na área B ocorreu em razão da correção do solo de pastagem degradada para cultivo de soja, sendo necessárias maiores quantidades de corretivos. A menor participação nos custos com insumos ocorre com inoculante, variando de 0,6%, quando utilizada a dose D1, a 2,9%, quando utilizada a dose D5.

O reduzido custo do inoculante favorece a utilização de maiores doses, possibilitando maiores produtividades como verificado nas Tabelas 9 e 10.

Os custos com insumos foram maiores que os encontrados por Richetti (2014), que contabilizou para o cultivo de soja transgênica na safra 2014/15, em Mato Grosso do Sul, custo de R\$ 379,75 ha<sup>-1</sup> com fertilizante e R\$ 2,84 ha<sup>-1</sup> com inoculante turfoso. FAEG (2013) encontrou custo com inoculante de R\$ 2,40 ha<sup>-1</sup>. Oliveira et al. (2013), encontraram que para semeadura de soja no estado do Pará, custo com fertilizante foi de R\$ 441,82 ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 13.** Custo com insumos utilizados no preparo e semeadura da área A e B.

Insumos	Custo com insumos (R\$ ha <sup>-1</sup> )			
	Área A	Média	Área B	Média
Sementes	221,20	221,20	221,20	221,20
Fertilizantes	401,75	401,75	497,59	497,59
Herbicida glyphosate*	25,40	25,40	25,40	25,40
	D1	4,02	4,02	
	D2	8,04	8,04	
Inoculante	D3	12,06	12,04	12,04
	D4	16,08	16,08	
	D5	20,01	20,01	
Custo médio	660,39		756,23	

\*herbicida utilizado na dessecação das áreas em pré-semeadura.

## 6.6 Custo total da semeadura

O custo total (CT), obtido pela somatória dos custos operacionais e custos com insumos, são apresentados na Tabela 14.

Na área B o CT de todos os tratamentos foi 12,7% maior que na área A, devido a maior necessidade de corretivos e fertilizantes para correção do solo de pastagem degradada, e maior custo operacional, proporcionado pela menor capacidade de campo operacional na semeadura.

Tanto na área A como na área B, o menor custo total foi obtido para o tratamento sem inoculação. Este resultado se justifica pelo menor custo operacional e menor custo com insumos, já que não foi utilizado inoculante e a capacidade operacional da semeadura foi maior.



**Tabela 14.** Custo total da semeadura da área A e B.

Tratamento	Custo total da Área A (R\$ ha <sup>-1</sup> )						Média
	Dose						
	D0	D1	D2	D3	D4	D5	
Sem inoculação	742,75	-	-	-	-	-	742,75
Via semente	-	756,68	-	-	-	-	756,68
VS10	-	755,83	759,85	763,87	767,89	771,82	763,85
VS20	-	766,18	770,20	774,22	778,24	782,17	774,20
Via sulco	-	777,66	781,68	785,70	789,72	793,65	785,68
VS40	-	801,90	805,92	809,94	813,96	817,89	809,92
VS50	-	823,79	827,81	831,83	835,85	839,78	831,81
Média	742,75	785,07*	789,09	793,11	797,13	801,06	
Custo total da Área B (R\$ ha <sup>-1</sup> )							
Sem inoculação	851,73	-	-	-	-	-	
Via semente	-	873,79	-	-	-	-	
VS10	-	868,71	872,73	876,75	880,77	884,70	876,73
VS20	-	875,05	879,07	883,09	887,11	891,04	883,07
Via sulco	-	897,74	901,76	905,78	909,80	913,73	905,76
VS40	-	916,81	920,83	924,85	928,87	932,80	924,83
VS50	-	939,66	943,68	947,70	951,72	955,65	947,68
Média	851,73	899,59*	903,61	907,63	911,65	915,58	

\*Média apenas dos tratamentos com inoculação via sulco.

Na área A o CT da semeadura sem inoculação foi de R\$742,75 ha<sup>-1</sup>, sendo 1,8% menos onerosa que a semeadura com inoculação via semente e 1,7% menos onerosa que a semeadura VS10 com D1, o tratamento com menor custo entre as inoculações via sulco. Na área B o CT da semeadura sem inoculação foi de R\$851,73 ha<sup>-1</sup>, sendo 2,5% menos onerosa que a semeadura com inoculação via semente e 1,9% menos onerosa que VS10 com D1, o tratamento com menor custo entre as inoculações via sulco.

Os maiores CT foram verificados para VS50 com D5. Na área A este CT foi de R\$839,78 ha<sup>-1</sup>, 11,5% maior que a semeadura sem inoculante. Na área B esta diferença foi de 10,8%, de R\$955,65 para R\$851,73 ha<sup>-1</sup>.

Entre os tratamentos que utilizaram inoculação, o VS10 com D1 apresentou menor CT, R\$755,83 ha<sup>-1</sup> na área A e R\$868,71 ha<sup>-1</sup> na área B. No entanto a diferença do CT para semeadura com inoculação via semente foi limitada, de 0,1% na área A e 0,5% na área B, justificada pela similaridade na capacidade de campo operacional e

custo operacional entre os dois tratamentos, já que a dose de inoculante foi a mesma para ambos.

A partir do aumento da dose de inoculante pode-se verificar que o CT da semeadura de soja aumenta em progressão aritmética com razão R\$4,02, tanto na área A como na 2, visto que o inoculante utilizado e seu custo foi o mesmo para ambas. O custo com inoculante, utilizando doses de D1 a D5, representaram de 0,4 a 2,5% do CT da semeadura, tendo pequena participação comparado ao investimento com sementes, fertilizantes e operacional, podendo gerar benefícios compensatórios a nodulação, desenvolvimento e produtividade de grãos de soja.

FAEG (2013) e Richetti (2014), descrevem, para o método tradicional de inoculação via semente, que o inoculante tem participação de 0,1% no CT de produção, não considerando mão-de-obra e máquina de tratamento de sementes.

A taxa de aplicação, de 10 a 50 L ha<sup>-1</sup>, seguindo a razão aritmética de 10 L ha<sup>-1</sup>, representou de 13,6 a 20,4% do CT da semeadura, sendo um fator importante para tomada de decisão da operação, devendo ser levado em consideração seus aspectos para nodulação, desenvolvimento e produtividade da soja. De modo geral, os resultados demonstraram que a cada aumento de 10 L ha<sup>-1</sup> na taxa de aplicação, o CT da semeadura aumentou em média 2%.

Os resultados da área A, exceto VS40 e VS50, apresentaram resultados similares aos encontrados por Lazzarotto e Hirakuri (2009) para a safra 2014/15 no estado de Mato Grosso, em que o custo total da semeadura, considerando sementes, fertilizantes, inoculantes, mão-de-obra e operação de semeadura, foi de R\$ 768,70 ha<sup>-1</sup>.

Em relação ao custo obtido pelo IMEA (2015), os resultados deste trabalho foram inferiores. Considerando custo com sementes, fertilizantes e semeadura, na região sudeste do Brasil, o instituto apresentou custo de R\$ 936,95 ha<sup>-1</sup>.

## 6.7 Rentabilidade e relação benefício/custo

A partir dos resultados de produtividade foi possível determinar a rentabilidade bruta da cultura da soja utilizando os tratamentos estudados. As rentabilidades obtidas na área A são apresentadas na Tabela 15.

**Tabela 15.** Rentabilidade bruta da semeadura de soja na área A.

Tratamento	Rentabilidade bruta da semeadura na área A (R\$ ha <sup>-1</sup> )						
Sem inoculante	2.532,20						
Via semente	2.823,19						
	D1	D2	D3	D4	D5	Média	
Via sulco	VS10	2.575,82	2.862,65	2.883,83	2.986,91	2.999,78	2.861,80
	VS20	2.610,62	2.899,55	2.885,03	3.067,91	3.259,28	2.944,48
	VS30	2.639,04	2.901,72	2.897,70	3.084,78	3.268,80	2.958,41
	VS40	2.782,80	2.903,73	2.881,86	3.082,59	3.279,21	2.986,04
	VS50	2.814,46	3.207,34	3.210,67	3.159,40	3.294,07	3.131,64
Média	2.684,55	2.955	2.951,82	3.055,55	3.220,23		

A menor rentabilidade (R\$2.532,20 ha<sup>-1</sup>), foi obtida para a semeadura do tratamento sem inoculante, em consequência de sua menor produtividade de grãos (3.119 kg ha<sup>-1</sup>). A menor rentabilidade obtida entre os tratamentos que utilizaram inoculação foi via sulco VS10 com dose D1, de R\$2.575,82 ha<sup>-1</sup>, sendo 1,7% mais rentável que a opção de não utilizar inoculante, comprovando que inocular atribui produtividade e ganhos econômicos a soja. Esses resultados se assemelham aos resultados verificados por Silva et al. (2015), que em trabalho avaliando diferentes sistemas de cultivo da soja e utilizando a mesma metodologia de custos, encontraram renda a partir da venda dos grãos produtivos entre R\$2.292 e R\$2.637,57 ha<sup>-1</sup>.

A maior rentabilidade na área A (R\$3.294,07 ha<sup>-1</sup>) foi obtida com a inoculação via sulco VS50 e dose de inoculante D5, correspondente a taxa de aplicação de 50 L ha<sup>-1</sup> e dose de inoculante 6x10<sup>6</sup> UFC por semente. Este resultado foi possível devido a produtividade de 3.937 kg ha<sup>-1</sup>. Embora VS50 tenha apresentado redução na eficiência operacional (Figura 4), esta taxa de aplicação associada a maior dose de inoculante foi 23,1; 14,2 e 21,8% mais rentável que o tratamento sem inoculação, inoculação via semente

e via sulco VS10 com D1 (tratamento com maior Efc dentre os de inoculação via sulco), respectivamente.

A Tabela 16 mostra a rentabilidade bruta da semeadura dos tratamentos na área B.

**Tabela 16.** Rentabilidade bruta da semeadura de soja na área B.

Tratamento	Rentabilidade bruta da semeadura na área B (R\$ ha <sup>-1</sup> )						
Sem inoculante	837,40						
Via semente	1.632,56						
	D1	D2	D3	D4	D5	Média	
Via sulco	VS10	1.598,79	1.864,62	2.067,45	2.347,98	2.690,55	2.111,88
	VS20	1.606,10	1.815,23	2.072,66	2.305,94	2.821,76	2.124,34
	VS30	1.608,61	1.892,29	2.114,02	2.362,00	2.588,02	2.112,99
	VS40	1.621,04	1.925,72	1.986,80	2.277,83	2.609,90	2.084,26
	VS50	1.792,44	2.048,82	2.039,55	2.335,83	2.628,00	2.168,93
Média	1.645,40	1.909,34	2.056,10	2.325,92	2.667,65		

Na área B a menor rentabilidade foi obtida no tratamento sem inoculante, de R\$837,40 ha<sup>-1</sup>, valor 47,6% menor que a rentabilidade obtida com o tratamento com inoculação VS10 e dose D1, o menos rentável dentre os tratamentos que utilizaram inoculante. A menor rentabilidade do tratamento sem inoculante se justifica pela menor produtividade obtida em relação aos demais tratamentos, destacando a importância de se realizar a inoculação, principalmente em abertura de novas áreas, como descreve Câmara (2014).

A maior rentabilidade na área B foi obtida com a inoculação realizada via sulco VS20 e utilizando dose D5. Este tratamento proporcionou renda bruta de R\$2.821,76 ha<sup>-1</sup>, sendo 70,3 e 42,1% maior que a renda encontrada com os tratamentos sem inoculação e inoculação via semente, respectivamente.

As rendas líquidas obtidas na área A foram em sua maioria superiores as rendas obtidas na área B, em razão de nesta área, por se tratar de primeiro ano de cultivo com soja, os custos com corretivos e fertilizantes terem sido maiores.

A partir dos resultados de renda bruta, divididos pelos custos totais encontrados somente em relação a operação de semeadura, na área A e B, foi possível determinar a relação benefício/custo de cada tratamento estudado. A Tabela 17 demonstra as relações benefício/custo na área A.

A maior relação benefício/custo foi observada para o tratamento com inoculação via sulco VS20 utilizando a dose D5, apresentando valor de 4,2, sendo 19 e 11,9% mais vantajosa que a semeadura sem inoculação e inoculação via sulco utilizando a dose D1 respectivamente. Esse resultado indica que os investimentos realizados foram melhor convertidos em rentabilidade que os demais, para cada R\$1,00 ha<sup>-1</sup> de investimento realizado neste tratamento foram obtidos R\$4,20 ha<sup>-1</sup> de renda líquida, através da produtividade de grãos e aumento da eficiência operacional da semeadura.

**Tabela 17.** Relação benefício/custo dos tratamentos na área A.

Tratamento		Benefício/custo da semeadura na área A					
Sem inoculante		3,4					
Via semente		3,7					
		D1	D2	D3	D4	D5	Média
Via sulco	VS10	3,4	3,8	3,8	3,9	3,9	3,6
	VS20	3,4	3,8	3,7	3,9	4,2	3,8
	VS30	3,4	3,7	3,7	3,9	4,1	3,7
	VS40	3,4	3,6	3,6	3,8	4,0	3,6
	VS50	3,4	3,9	3,9	3,8	3,9	3,7
	Média	3,4	3,7	3,7	3,8	4,0	

Os tratamentos sem inoculante e via sulco VS10 com dose D1 apresentaram as menores relações benefício/custo, de 3,4, indicando que os investimentos realizados culminaram em menor renda por menor produtividade de grãos. De forma geral os resultados de inoculação via sulco indicam que o aumento da dose de inoculante e redução da taxa de aplicação geram relações benefício/custo maiores, sendo uma possibilidade para aumentar a eficiência da operação de semeadura sem prejuízos a rentabilidade da cultura da soja.

A Tabela 18 demonstra as relações benefício/custo na área B. A menor relação benefício/custo foi verificada no tratamento sem inoculante, sendo 50% menor que o tratamento com inoculação via semente e o via sulco VS10 com dose D1. Este resultado comprova que a inoculação em área de primeiro cultivo com soja favorece a produtividade de grãos e eleva a relação benefício/custo, já que o custo do inoculante corresponde a menos que 0,5% do custo total com insumos na semeadura e promove um ganho produtivo significativo.

**Tabela 18.** Relação benefício/custo dos tratamentos na área B.

Tratamento		Benefício/custo da semeadura na área A					
Sem inoculante		0,9					
Via semente		1,8					
		D1	D2	D3	D4	D5	Média
Via sulco	VS10	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0	2,4
	VS20	1,8	2,1	2,3	2,6	3,2	2,4
	VS30	1,8	2,1	2,3	2,6	2,8	2,3
	VS40	1,8	2,1	2,1	2,5	2,8	2,2
	VS50	1,8	2,2	2,2	2,5	2,7	2,2
	Média	1,8	2,1	2,2	2,5	2,9	

A maior relação benefício/custo na área B foi obtida com o tratamento VS20 utilizando a dose D5, apresentando valor de 3,2, sendo 71,8; 43,7 e 43,7% maior que a semeadura sem inoculação, inoculação via semente e inoculação via sulco utilizando dose D1, respectivamente. Esse resultado indica que para cada R\$1,00 ha<sup>-1</sup> de investimento realizado na semeadura do tratamento VS20 com dose D5 de inoculante, foi obtido R\$3,20 ha<sup>-1</sup> de renda líquida.

Os resultados obtidos na área B foram inferiores aos encontrados na área A, pois na área B os custos da semeadura foram maiores e as produtividades menores. Esta situação é aceitável, pois conforme descreve Henning et al. (1997), em áreas de primeiro cultivo a produtividade da soja depende da nodulação e fixação biológica de nitrogênio para atingir boas produtividades, o que geralmente não acontece em áreas de primeiro ano de inoculação. Nesta situação a colonização das bactérias fixadoras no solo e a nodulação das raízes é restrita, o que foi verificado na área B, justificando as menores produtividades.

## 7. CONCLUSÕES

A inoculação proporciona maior produtividade e rentabilidade da cultura da soja.

A inoculação via sulco de semeadura com taxa de aplicação de 10L ha<sup>-1</sup> apresentou maior rendimento operacional e menor custo operacional.

Em área com histórico de inoculação, a inoculação via sulco com taxa de aplicação de 50 L ha<sup>-1</sup> e dose de inoculante maior que 4x10<sup>6</sup> UFC por semente, proporciona aumento de produtividade. Em área sem histórico de inoculação, a produtividade é incrementada pela dose de inoculante com 6x10<sup>6</sup> UFC por semente, podendo ser aplicada com todas as taxas de aplicações estudadas.

A inoculação via sulco de semeadura com taxa de aplicação de 20 L ha<sup>-1</sup> e dose de inoculante com 6x10<sup>6</sup> UFC por semente, proporcionou melhor relação benefício/custo da semeadura de soja.

A inoculação via sulco de semeadura com maior dose de inoculante e taxa de aplicação, proporcionou maior número de vagens e nódulos por planta de soja, independente do histórico de inoculação do solo.

A inoculação com maiores doses de inoculante pouco influenciou nos custos e proporcionou aumentos de produtividade, e a inoculação via sulco de semeadura com menores taxas de aplicação reduziu os custos operacionais.

## **8. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A partir de observações adquiridas pela realização do trabalho, é oportuno considerar que aumentar o tanque de inoculante da semeadora pode ser uma alternativa para otimizar a eficiência e capacidade de campo operacional da inoculação via sulco, já que entre as conclusões do trabalho foi constatada maior produtividade de grãos a partir da utilização de 50 L ha<sup>-1</sup> de taxa de aplicação do inoculante, a priori inviabilizada por proporcionar baixa eficiência e rendimento operacional.



## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRASEM - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SEMENTES E MUDAS. Anuário 2005. Tudo começa pela semente. Brasília, 2005. 86p.

AGRIANUAL. Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo: FNP Consultoria e Agroinformativo, 2015. p. 97-106.

ALBAREDA, M. et al. Alternatives to peat as a carrier for rhizobia inoculants: solid and liquid formulations. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 40, p. 2771-2779, 2008.

ALI, S.F. et al. Selection of stress-tolerant rhizobial isolates of wild legumes growing in dry regions of Rajasthan, India. *Journal of Agricultural and Biological Science*, v. 4, p. 13-18, 2009.

ANDRÉS J.A.; CORREA, N.S.; ROSAS, S.B. Survival and symbiotic properties of *Bradyrhizobium japonicum* in the presence of thiram: isolation of fungicide resistant strains. *Biology and Fertility of Soils*, v.26, p.141-145, 1998.

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Sistema de levantamento de preços/síntese dos preços praticados em São Paulo em outubro de 2015. Disponível em: <[http://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo\\_Mensal\\_Estado.asp](http://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo_Mensal_Estado.asp)>. Acesso em: 23 out. 2015.

ASABE – AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURE AND BIOLOGICAL ENGINEERS. ASABE Standards. St. Joseph: ASABE. D.497.7. 8p. 2011.

ASABE – AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURE AND BIOLOGICAL ENGINEERS. ASABE Standards. St. Joseph: ASAE. D.497.5. 33p. 2006.

BAIO, F.H.R. et al.. modelagem matemática para seleção de conjuntos mecanizados agrícolas pelo menor custo operacional. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 33, n. 2, p. 402-410, 2013.

BAIO, F.H.R. et al. Modelo de programação linear para seleção de pulverizadores agrícolas de barras. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 355-363, 2004.

BÁRBARO, I.M. et al. Produtividade da soja em resposta á inoculação padrão e coinoculação. *Colloquium Agrariae*, v. 5, n.1, p.01-07, 2009.

BASHAN, Y. Inoculants of plant growth-promoting bacteria for use in agriculture. *Biotechnology Advances*, v. 16, n. 4, p. 729-770, 1998.

BATISTA, L. F. Determinantes da expansão da soja transgênica no Brasil. 2011. 64 f. Monografia. Faculdade de Ciências e Letras, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Araraquara, 2011.

BIETRESATO et al. Assesment of the efficiency of tractor transmissions using acceleration tests *Biosystems Engineering*, v.112, p.171-180, 2012.

BISINOTTO, F.F. Correlação entre caracteres como critério de seleção indireta, adaptabilidade e estabilidade em genótipos de soja. 2013. 77p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

BIZARRO, M. J. et al. Produtividade da soja em resposta á inoculação padrão e coinoculação. *Colloquium Agrariae*, Presidente Prudente, v. 5, n.1, p. 01-07, 2009.

BLACK, R. J. Complexo soja: fundamentos, situação atual e perspectiva. In: CÂMARA, G. M. S. (Ed.). *Soja: tecnologia de produção II*. Piracicaba: ESALQ, p.1-18, 2000.

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Circular SUP/AGRIS n°07/2015. BNDES: Rio de Janeiro, 2015. 9p.

BONETTI, L. P. Distribuição da soja no mundo : origem, história e distribuição. In MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. (Ed.). *A soja no Brasil*. Campinas : ITAL, p. 1-6, 1981.

BORTOLAN, S. et al. Expressão dos genes *nodC*, *nodW* e *nopP* em *Bradyrhizobium japonicum* estirpe CPAC 15 avaliada por RT-qPCR. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 44, n. 11, p. 1491-1498, 2009.

BRANDÃO JUNIOR, O.; HUNGRIA, M. Efeito de concentrações de solução açucarada na aderência do inoculante às sementes de soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 24, p. 515-526, 2000.

BUCHER, C.A.; REIS, V.M. Biofertilizante contendo bactérias diazotróficas. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2008. 17p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 247).

CÂMARA, G. M. de S. Ecofisiologia da soja e rendimento. In: CÂMARA, G. M. de S. (Coord.). *Soja: Tecnologia da Produção*. Piracicaba: ESALQ/USP, 1998. p. 256-577.

CÂMARA, G. M. S. Nitrogênio e produtividade da soja. In: CÂMARA, G. M. S. (Eds.). *Soja: Tecnologia da Produção II*. Piracicaba: ESALQ/USP, 2000. p. 295-339.

CÂMARA, G. M. S. Fixação biológica de nitrogênio em soja. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, v. 147, p. 1-9, 2014.

CÂMARA, G. M. S. Fenologia da soja. *Informações Agronômicas*, n. 82, p. 1- 6, 1998.

CAMPO, R. J.; ARAUJO, R. S.; HUNGRIA, M. Nitrogen fixation with the soybean crop in Brazil: Compatibility between seed treatment with fungicides and *Bradyrhizobial* inoculants. *Symbiosis*, v. 48, p. 154-163, 2009.

CAMPOS, B.H.C. & GNATTA, V. Inoculantes e fertilizantes foliares na soja em área de populações estabelecidas de *Bradyrhizobium* sob sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:69-76, 2006.

CARRER, H.; BARBOSA, A. L.; RAMIRO, D. A. Biotecnologia na agricultura. *Estudos Avançados*. São Paulo, v.24, n.70, p. 149-164, 2010.

CENTENO, A.S.; KAERCHER, D. Custo operacional das máquinas agrícolas. *Agrianual*, São Paulo, v. 15, p. 113-116, 2010.

CHAVES, R.G. Sistemas de manejo do solo e velocidade de semeadura da soja. 2015, 46p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Grande Dourados. Dourados, 2015.

CHIODEROLI, C.A. et al. desempenho de semeadora-adubadora em função do preparo de solo e espaçamento da cultura do milho. *Pesq. Agropec. Trop.*, Goiânia, v.40, n.4, p.462-467, 2010.

CNA – Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. *Boletim Agronegócio Internacional*. 2015

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. *Perspectivas para a agropecuária*. Brasília:CONAB, v.3, 2015. 130p.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. *Acomp. safra bras. grãos*, v. 2, Safra 2014/15, n. 12 – Décimo segundo levantamento, Brasília, p. 1-134, set. 2015.. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2>>. Acesso em: 22 out. 2015.

COSTA, R.S.S; TARSITANO, M.A.A; ORIOLI JÚNIOR, V; FONSECA, A.E. Análise econômica da produção de soja na região de Pereira Barreto. *Nucleus*, v.5, n.2, p.265-270, 2008.

COSTA, N. P. et al. Perfil dos aspectos físicos, fisiológicos e químicos de sementes de soja produzidas em seis regiões do Brasil. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 27, n. 2, p. 1-6, 2005.

DALL' AGNOL, A.; VIDOR, C. *A saga da soja no Brasil: uma trajetória de sucessos*. Londrina: Embrapa Soja, 2002.

DART, J. Infection and development of leguminous nodules. In: HARDY, R.W.F.; SILVER, W. S. A treatise on dinitrogen fixation. Section III-BIOLOGY. New York: John Wiley & Sons, 1977. p. 307-472.

DEAKER, R.; ROUGHLEY, R.; KENNEDY, I. Legume seed inoculation technology - a review. *Soil Biology and Biochemistry*, v.36, n. 8, p. 1275-1288, 2004.

EDWARDS, W. Estimating farm machinery costs. In: American Society of Agriculture Engineering. Proceedings of the International Conference on Crop Harvesting and Processing. Louisville. Título...: American Society of Agriculture Engineering, 2002. p. 3-29.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. Tecnologias de produção de soja - região central do Brasil - 2009/2010. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2009.262p. Disponível em: <<http://www.cnpsa.embrapa.br>>. Acesso em: 15 out. 2015.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. Tecnologias de produção de soja – região central do Brasil 2007. (2006) Londrina: Embrapa Soja. 225p. (Sistemas de Produção 11).

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. Tecnologias de produção de soja: região Central do Brasil, 2003. Londrina: Embrapa Soja, 2004. 239p.

FAEG – FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA DO ESTADO DE GOIÁS. Estimativa do custo de produção de soja transgênica em Goiás na safra 2015. 2015, Goiânia: FAEG. Disponível em: <http://sistemafaeg.com.br/mercados-e-cotacoes/custo-de-producao>. Acesso em: 05 dez. 2015.

FAGAN, E.B. et al. Fisiologia da fixação biológica do nitrogênio em soja. *Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia, Uruguaiana*, v. 14, p. 89-106, 2007.

FAO - FOOD EN AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. 2013. Disponível em:

<<http://www.fao.org/countryprofiles/index/en/?lang=es&iso3=PRY>>. Acesso em: 14 dez. 2013.

FENNER, P.T. Métodos de cronometragem e a obtenção de rendimentos para as atividades de colheita de madeira. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2002. 14p. Notas de aula da Disciplina Exploração Florestal.

FERREIRA, B.G.C; FREITA, M.M.L; CARVALHO, G. Custo operacional efetivo da produção de soja em sistema de plantio direto. Revista iPecege, v.1, n.1, p.39-50, 2015.

FOLLE, S.; FRANZ, C.A.B. Trator agrícola: características e fundamentos para sua seleção. Planaltina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. 1990. 24p.

FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P.; LOPES, A. Avaliação de semeadora-adubadora de precisão trabalhando em três sistemas de preparo do solo. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 458-464, maio/ago. 2005.

FURLANETO, F. de P.B. et al. Análise comparativa de estimativas de custo de produção e de rentabilidade entre as culturas de soja convencional e transgênica na região de Assis, estado de São Paulo, safra 2006/07. Informações econômicas, São Paulo, v.37, n.12, 2007.

GAN, Y. et al. Effect of N fertilizer top-dressing at various reproductive stages on growth, N<sub>2</sub> fixation and yield of three soybean (*Glycine max* (L.) Merrill.) genotypes. Field Crops Research, Warwick, v. 80, n. 2, p. 147-155, 2003.

GIBSON, H.G. et al. Análise dos efeitos da eficiência no custo operacional de maquinas florestais. In: Simpósio Brasileiro sobre Exploração e Transporte Florestal, 1., 1991, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: SIF, 1991, p. 57-75.

GRAHAM, P.H. et al.. Acid pH tolerance in strains of *Rhizobium* and *Bradyrhizobium*, and initial studies on the basis for acid tolerance of *Rhizobium tropici* UMR1899. Canadian Journal of Microbiology, v.40, p.198-207, 1994.

GREENFIELD, P.L. The influence of method of inoculation and certain herbicides on nodulation and seed yield of soybeans. *South. African Journal of Plant and Soil*, v. 8, p. 119-123, 1991.

GUIDUCCI, R.C.N. et al. Aspectos metodológicos da análise de viabilidade econômica de sistemas de produção. In: GUIDUCCI, R.C.N. et al. (Ed.). *Viabilidade econômica de sistemas de produção agropecuários: metodologia e estudos de caso*. Brasília, DF: Embrapa, 2012. p. 17-78.

HADLEY, H.H.; HYMOWITZ, T. Specification a Cytogenetics. In: CALDEWELL, B.E. et al. (Ed.). *Soybeans: Improvement, Production and Uses*. Madison: Amercian Society of Agronomy, 1973. p. 97-116.

HENNING, A.A. et al. Tratamento e inoculação de sementes de soja. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1994. 6p. (Comunicado Técnico, 54).

HENNING, A.A.; ZORATO, M.F. Efeito do tratamento de sementes de soja com fungicidas antes de armazenamento. *Informativo ABRATES*, Curitiba, v.7, n.1/2, p.160, 1997.

HERRIS, K.J.; JENSEN, J.K. John Deere Power Shift Transmission. *SAE Technical Paper* 640052, p.10, 1964.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M.A.T. & CAMPO, R.J. A inoculação da soja. Londrina, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997. 28p. (EMBRAPA-CNPSo. Circular Técnica, 17).

HUNGRIA, M.; VARGAS, M.A.T.; ANDRADE, D.S.; CAMPO, R.J.; CHUEIRE, L.M.O.; FERREIRA, M.C. & MENDES, I.C. Fixação biológica do nitrogênio em leguminosas de grãos. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.; FAQUIN, V.; FURTINNI, A.E. & CARVALHO, J.G., eds. *Soil fertility, soil biology and plant nutrition interrelationships*. Lavras, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Universidade Federal de Lavras, 1999. p.597-620.

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

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. Fixação biológica de nitrogênio na cultura da soja. Londrina: Embrapa Soja, 2001. 48p.

HUNGRIA, M. Características biológicas em solos manejados sob plantio direto. In: Reunión de la red latinoamericana de agricultura conservacionista, 5., 1999, Florianópolis. Anais. Florianópolis: Epagri, 2000.

HUNT, D. Machine performance. In: Farm Power and Machinery Management. Ames: Iowa State University Press. 1974. cap. 1, p. 5.

IEA – INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. Boletim nº 68 de 15/04/2015. Disponível em: <<http://ciagri.iea.sp.gov.br/precosdiarios/>>. Acesso em: 26 out. 2015.

IMEA – INSTITUTO MATRO-GROSSENSE DE ECONOMIA AGROPECUÁRIA. Custo de produção de soja – safra 2015/16. Disponível em: [http://www.imea.com.br/upload/publicacoes/arquivos/R410\\_CPSoja\\_01\\_2015.pdf](http://www.imea.com.br/upload/publicacoes/arquivos/R410_CPSoja_01_2015.pdf). Acesso em: 05 dez. 2015.

JASPER, S.P.; SILVA, P.R.A. Estudo comparativo do custo operacional horário da mecanização agrícola utilizando duas metodologias para o estado de São Paulo. Nucleus, Ituverava, v.10, n.2, p.119-126, 2013.

JAMES, C. Global status of commercialized biotech/GM crops: 2014. ISAAA. nº 49 New York. 2014. Disponível em: <<http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/49/default.asp>>. Acesso em: 23 out. 2015.

JENSEN, E.S. Inoculation of pea by application of Rhizobium in the planting furrow. Plant Soil, v. 97, p. 63-70, 1987.



JOLY, C. Biological nitrogen fixation within FAO agricultural production programmes in the context of sustainable development. Rome, FAO, 1991. p.9-14.

KOUTROUBAS, S.D.; PAPA KOSTA, D.K.; GAGIANAS, A.A. The importance of early dry matter and nitrogen accumulation in soybean yield. *European Journal of Agronomy*, v.9, p.1-10, 1998.

LAFLEN, J.M.; AMEMIYA, M.; HINTZ, E.A. Measuring crop residue cover. *Journal of Soil and Water Conservation*, v.36, p.341- 343, 1981.

LAMOND, R. E.; WESLEY, T. L. In Season Fertilization for High Yield Soybean Production. *Better Crops With Plant Food, Norcross*, v. 85, n. 2, p. 6-7, 2001.

LAZZAROTTO, J.J.; HIRAKURI, M.H. Evolução e perspectiva de desempenho econômico associados com a produção de soja nos contextos mundial e brasileiro. Londrina: Embrapa Soja, 2010. (Documentos/Embrapa Soja, nº319).

LIMA, A.S.; SANT'ANNA, C.M. Estimativa do custo operacional da colheita de Eucalyptus em sistema de árvores inteira. In: *Simpósio Brasileiro sobre Exploração e Transporte Florestal*, 5., 2001, Porto Seguro. Anais... Porto Seguro: SIF, 2001, p. 309-321.

LOPES, A.C.A. et al. Variabilidade e correlações entre caracteres em cruzamentos de soja. *Scientia Agrícola*, v. 59, p. 341-348, 2002.

LOPES, M.E.B.M. & LEONEL JÚNIOR, F.L. Efeito da aplicação de fungicidas, cobalto e molibdênio em sementes de soja sobre a sanidade, emergência e produtividade da cultura. *R. Agric.*, 75:87-86, 2000.

LOPES, J.D.S. et al. Desenvolvimento de um programa computacional para selecionar, economicamente, um sistema de mecanização agrícola. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 30, n. 4, p. 537-542, 1995.

MACHADO, C.C. Planejamento e controle de custos na exploração florestal. Viçosa: Imprensa Universitária, 1984. 138 p.

MALINOVSKI, R.A.; FENNER, P.T. Levantamento e análise dos sistemas de exploração utilizados em povoamentos de Pinus spp. No Sul do Brasil. Curitiba: FUPER; UFPR, 1991. 65p.

MANTOVANI, E.C. Seleção de equipamentos agrícolas. In: Planejamento da mecanização para pequenos e médios estabelecimentos. Santa Catarina: EMATER, 1987. p. 26-27.

MAPA - Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n° 005, de 06 de agosto de 2004. Brasília, 2004. Anexo I.

MAPA - Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 05 out. 2015.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. London: Academic Press, 1986. 674p.

MASCARENHAS, H. A. A. et al. Nitrogênio: a soja aduba a lavoura da cana. O Agrônômico, v. 01, n. 57, 2005.

MESCHEDE D. K.; BRACCINI, A. de L. e; BRACCINI, M. do C. L.; SCAPIM, C. A.; SCHUAB, S. R. P. Rendimento, teor de proteínas nas sementes e características agronômicas das plantas de soja em resposta à adubação foliar e ao tratamento de sementes com molibdênio e cobalto. Acta Scientiarum. Agronomy, v. 26, no. 2, p. 139-145, 2004.

MELLO, N. Inoculação aumenta produtividade e reduz custos da soja. Campo & Negócio, Uberlândia, v.1, n.125, 2015.

MENDES, I. C. et al. Adubação nitrogenada suplementar tardia em soja cultivada em latossolos do cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 43, n. 8, p. 1053-1060, 2008.

MENDES, I.C. et al. Embrapa Cerrado: 37 anos de contribuições para o avanço da FBN no Brasil. In: Anais da XVI RELARE – Reunião da Rede de Laboratórios para a Recomendação, Padronização e Difusão de Tecnologias de Inoculantes Microbianos de Interesse Agrícola. Londrina: Embrapa Soja, 2014, p. 60-61. (Embrapa Soja, Documentos, 350).

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. Principles of plant nutrition. Bern: International Potash Institute, 1987. 667p

MERCANTE, E. et al. Praprag - software para planejamento racional de máquinas agrícolas. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.30, n.2, p.322-333, 2010.

MIALHE, L.G. Manual de mecanização agrícola. São Paulo: Agronômica Ceres, 1974. 301 p.

MILAN, M. Gestão sistêmica e planejamento de máquinas agrícolas. 2004. 100 f. Tese (Livre-Docência em Mecânica e Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

MILAN, M. Controle de qualidade em operações agrícolas. In: CÂMARA, G.M.S. (Coord.). Soja: Tecnologia de Produção. Piracicaba: ESALQ/USP, 1998. p. 113-120.

MOLIN, J.P.; MILAN, M. Trator-implemento: dimensionamento, capacidade operacional e custo. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. Conservação e cultivo de solos para plantações florestais. Piracicaba: IPEF, 2002. cap. 13, p. 409-436.

MOLIN, J.P.; MILAN, M. Adequação do trator ao implemento e ao tipo de solo (compact disc). In: Seminário sobre métodos e equipamentos de preparo de solo para o plantio de florestas, Piracicaba, 2000. Resumos. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 9-16.

MOLIN, J.P. et al. Utilização de dados georreferenciados na determinação de parâmetros de desempenho em colheita mecanizada, Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 759-767, 2006.

NEVES, EM.; CIDADE, P.F.A.; ESPERANCINI, M.S.T. Orçamento de custos de 6 culturas no estado de São Paulo. Piracicaba: FEALQ, 1996. 86p. Relatório de Pesquisa Convênio FEALQ/SRB.

OLIVEIRA, S. et al. Tratamento de semente de soja com silício: efeitos na qualidade fisiológica e nas características agronômicas. Rev. Cultivando o saber, Cascavel, v.8, n.2, p.215-230, 2015.

OLIVEIRA, C.M.; SANTANA, A.C.; HOMMA, A.K.O. Os custos de produção e a rentabilidade da soja nos municípios de Santarém e Belterra, estado do Pará. Acta amazônica, v.43, n.1, p.23-32, 2013.

PANDEY, P.; MAHESHWARI, D.K. Bioformulation of Burkholderia sp. MSSP with a multispecies consortium for growth promotion of *Cajanus cajan*. Canadian Journal of Microbiology, v.53, p.213-222, 2007.

PAVAN, A.J. Plantio direto: avaliação de semeadora em função do manejo da palhada e velocidade de trabalho na cultura da soja. 2006, 64p. Dissertação (mestrado em agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal, 2006.

PEREIRA, C.E. et al. Effect of treating seeds with fungicides and storage on the response of plants inoculated with *Bradyrhizobium*. Revista Agroambiente On-line, v. 4, n. 2, p. 62-66, 2010.

PERES, J.R.R.; SUHET, A.R. & VARGAS, M.A.T. Sobrevivência de estirpes de *Rhizobium japonicum* na superfície de sementes de soja inoculadas. Pesq. Agropec. Bras., 21:489- 493, 1986.

PESSOA, A. C. S. et al. Produtividade da soja em resposta à adubação foliar, tratamento de sementes com molibdênio e inoculação *Bradyrhizobium japonicum*. Acta Scientiarum, v. 21, n. 03, p. 531-535, 1999.

PINHEIRO NETO, R.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A.; BORTOLOTTI, V. C.; PINHEIRO, A. C. Desempenho de mecanismos dosadores de semente em diferentes

velocidades e condições de cobertura do solo. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 30, n. 5, p. 611-617, 2008.

POTAFOS - Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Como a planta de soja se desenvolve. *Arquivo do Agrônomo – Nº 11*. 1997. 21p. Traduzido do original: *How a soybean Plant Develops. Special Report n. 53*, Iowa, 1997.

RICHETTI, A. Viabilidade econômica da cultura da soja na safra 2014/2015, em Mato Grosso do Sul. Embrapa: Comunicado técnico 194, Dourados, 2014.

RUFINI, M. et al. Simbiose de bactérias fixadoras de nitrogênio com feijoeiro-comum em diferentes valores de pH. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 46, n. 1, p.81-88, 2011.

SANTOS NETO, J.T. et al. Adubação nitrogenada, com e sem inoculação de semente, na cultura da soja. *Revista Fazu Agronomia*, Uberaba, n.10, p. 8-12, 2013.

SCHONINGER, E.L. et al. Atributos químicos do solo e produtividade da cultura de soja em área de semeadura direta após calagem superficial. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 31, p. 1253-1262, 2010.

SCHUH, C. A. Biopolímeros como suporte para inoculantes. 2005. 81p. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola e do Ambiente) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

SEDIYAMA, T. (Org.). *Tecnologias de produção e usos da soja*. Londrina: Mecenias, 2009, 314 p.

SEDIYAMA, T. *Tecnologia de produção de sementes de soja*. Londrina: Mecenias, 2013. 352 p.

SFREDO, G. J.; OLIVEIRA, M. C. N. *Soja: molibdênio e cobalto*. Londrina: Embrapa Soja, 2010. (Documentos, 322).

SILVA, P.R.A. et al. Rentabilidade na semeadura cruzada da cultura da soja. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, Campina Grande, v.19, n.3, p.293–297, 2015.

SILVA JUNIOR, J.A. et al. Desempenho de semeadora múltipla durante semeadura de arroz em áreas de preparo conservacionista do solo após plantio direto no inverno. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, XLII, 2014, Campo Grande. Anais...Campo Grande, 2014. 4p.

SILVA, A.F. et al. Doses de inoculante e nitrogênio na semeadura da soja em área de primeiro cultivo. Bioscience Journal, v. 27, n. 3, p. 404-412, 2011.

SILVA, M.F.S. Uso de inoculantes polimérico contendo bactérias diazotróficas na cultura da cana-de-açúcar. 2009. 80p. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2009.

SILVA, M.L.; JACOVINE, A.G.; VALVERDE, S.R. Economia florestal. Viçosa: UFV, 2005. 178p.

SIMÕES, D.; FENNER, P.T. Avaliação técnica e econômica do forwarder na extração de madeira em povoamento de eucalipto de primeiro corte. Revista Floresta, v.40, p.711-720, 2010.

SIMÕES, D.; SILVA, M. R. Análise técnica e econômica das etapas de produção de mudas de eucalipto. Revista Cerne, Lavras, v. 16, n. 3, p. 359-366, 2010.

SMITH, R.S. Inoculant formulations and applications to meet changing needs. In: TIKHONOVICH, I.A. et al. (Ed.). Nitrogen fixation: fundamentals and applications. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1995. p.653-657.

SMITH, R.S. Legume inoculant formulation and application. Canadian Journal of Microbiology, Ottawa, v. 38, p. 485-492, 1992.

STOKES, B.J. Harvesting developments in the South. In: Annual Hardwood Symposium, 21., 1993, Cashiers. Proceedings... Cashiers: Hardwood Research Council, 1993. P. 59-71.

STRICKLAND, R.M. et al. Extracting machine performance information from site-specific grain yield data to enhance crop production management practices. 2001. 3p. Disponível em: <<https://www.agriculture.purdue.edu/SSMC/newsletters/july2001f.htm>>. Acesso em: 24 out. 2015.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Trad: SANTARÉM, E. R. Fisiologia vegetal. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004, 613p.

TOLEDO, A. et al. Comportamento espacial da demanda energética em semeadura de amendoim em latossolo sob preparo convencional. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 12, n. 30, p. 459-467, 2010.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Foreign Agricultural Services. Commodities and products: oilseeds. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov>>. Acesso em: 19 out. 2015.

VALDEZ, D. et al. Manganese application alleviates the water deficit-induced decline of N<sub>2</sub> fixation. Plant Cell and Environment, v.23, p.497-505, 2000.

VALENTE, D.S.M. et al. A decision support system for cost determination in grain storage facility operations. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.31, n.4, p.735-744, 2011.

VARGAS, M.A.T. & HUNGRIA, M. Fixação biológica do N<sub>2</sub> na cultura da soja. In: VARGAS, M.A.T. & HUNGRIA, M., eds. Biologia dos solos de cerrados. Planaltina, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997. p.297-360.

VARGAS, M.A.T.; PERES, J.R.R.; SUHET, A.R. Adubação nitrogenada, inoculação e épocas de calagem para a soja em um solo sob Cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 17, p. 1127-1132, 1982.

VARGAS, M.A.T.; SUHET, A.R. Efeitos de tipos e níveis de inoculantes na soja cultivada em um solo de Cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.15, p.343-347, 1980.

VIEIRA NETO, S. A. et al. Formas de aplicação de inoculante e seus efeitos na cultura da soja. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 24, n. 2, p. 56-68, 2008.

VOSS, M. Inoculação de rizóbio no sulco de semeadura para soja, em um campo nativo, no norte do Rio Grande do Sul. *Passo Fundo: Embrapa Trigo*, 2002. 5p.

WILLIAMS, P.M. Current use of legume inoculant technology. In: ALEXANDER, M. *Biological nitrogen fixation. Ecology, technology and physiology*. New York: Plenum Press, 1984. p.173-200.

WITNEY, B. *Choosing and using farm machines*. Essex: Longman Scientific & Technical, 1988. 412p.

YASURIYAN, V.; HAMEED, M.S. & RAJ, S.A. Influence of adhesives and time lag between seed treatment and sowing on survival of rhizobia and crop response to inoculation. *Madras Agric. J.*, 83:488-490, 1996.

ZHANG, F.; SMITH, D.L. Inoculation of soybean (*Glycine max.* (L.) Merr.) with genistein-preincubated *Bradyrhizobium japonicum* or genistein directly applied into soil increases soybean protein and dry matter yield under short season conditions. *Plant Soil*, v. 179, p. 233-241, 1996.

ZHANG, F.; et al. Inhibition of the expression of *Bradyrhizobium japonicum* nod genes at low temperatures. *Soil Biology and Biochemistry*, v.28, n.12, p.1579–1583, 1996.

ZILLI, J.E.; et al. Dinâmica de rizóbios em solo do cerrado de Roraima durante o período de estiagem. *Acta Amazonica*, v. 43, p. 153-160, 2013.

ZILLI, J. E.; CAMPO, R. J.; HUNGRIA, M. Eficácia da inoculação de *Bradyrhizobium* em pré-semeadura da soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 45, n.3, p. 335-338, 2010.

ZILLI, J.E. et al. Influence of fungicide seed treatment on soybean nodulation and grain yield. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, n.4, p. 917-923, 2009.



ZIMBACK, C.R.L. Levantamento semidetalhado dos solos da bacia do Rio Pardo nos Municípios de Pardinho e Botucatu. Botucatu, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 1997. 55p.

## APÊNDICE

**Apêndice 1.** Insumos utilizados na área A e B, suas respectivas quantidades de aplicações, dosagem e forma de aplicação.

Insumos		Insumos utilizados na área A e B		
		Quantidade de aplicações	Dosagem do p.c <sup>1</sup> ha <sup>-1</sup>	Forma de aplicação
Inoculante	MasterFix L	*	**	***
	Glyphosate	2	3 L	150 L ha <sup>-1</sup>
Herbicida	Grant	1	1,2 L	150 L ha <sup>-1</sup>
	Verdict	1	0,5 L	150 L ha <sup>-1</sup>
	Belt	2	0,06 L	150 L ha <sup>-1</sup>
	Nomolt	2	0,6 L	150 L ha <sup>-1</sup>
Inseticida	Cefanol	2	1,2 L	150 L ha <sup>-1</sup>
	Galeão	2	0,15 L	150 L ha <sup>-1</sup>
	Talisman	2	0,5 L	150 L ha <sup>-1</sup>
Fungicida	Fox	3	0,5 L	150 L ha <sup>-1</sup>
	Sphere max	1	0,15 L	150 L ha <sup>-1</sup>
	Naturquel Mn	1	0,5 L	100 L ha <sup>-1</sup>
Adubo foliar	Naturquel Bo	1	0,5 L	100 L ha <sup>-1</sup>
	Naturquel Zn	1	0,5 L	100 L ha <sup>-1</sup>
Adjuvante	Vernish	4	0,05 L	150 L ha <sup>-1</sup>
Óleo mineral	Assist	14	0,03	9,68

<sup>1</sup>produto comercial. \*quantidade de aplicação conforme o tratamento em estudo. \*\*dose utilizada de acordo com o tratamento em estudo. \*\*\*forma de aplicação conforme o tratamento em estudo.

Herbicidas, inseticidas, fungicidas, adjuvante e óleo mineral, foram aplicados com taxa de aplicação de 150 L ha<sup>-1</sup>. Adubos foliares foram aplicados com taxa de 100 L ha<sup>-1</sup>.