

UniRV- UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

VIABILIDADE AGRONÔMICA E ECONOMICA DA TECNOLOGIA
REDUTORA DAS REAÇÕES DE ADSORÇÃO DE FÓSFORO
ASSOCIADA AO SUPERFOSFATO SIMPLES NO CULTIVO DE SOJA

LAWREN KRISTINE DE OLIVEIRA MORAIS

Magister Scientiae

RIO VERDE
GOIÁS – BRASIL
2021

LAWREN KRISTINE DE OLIVEIRA MORAIS

**VIABILIDADE AGRONÔMICA E ECONOMICA DA TECNOLOGIA REDUTORA
DAS REAÇÕES DE ADSORÇÃO DE FÓSFORO ASSOCIADA AO SUPERFOSFATO
SIMPLES NO CULTIVO DE SOJA**

Dissertação apresentada à UniRV – Universidade de Rio Verde, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para à obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**RIO VERDE
GOIÁS - BRASIL**

2021

Universidade de Rio Verde
Biblioteca Luiza Carlinda de Oliveira
Bibliotecário: Juatan Tiago da Silva – CRB 1/3158
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – (CIP)

M825v Morais, Lawren Kristine de Oliveira

Viabilidade agronômica e econômica da tecnologia redutora das reações de adsorção de fósforo associada ao superfosfato simples no cultivo de soja. / Lawren Kristine de Oliveira Morais. – 2021.

46 f.: il.

Orientadora: Profa. Dra. Veridiana Cardozo Gonçalves Cantão.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) — Universidade de Rio Verde - UniRV, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Faculdade de Agronomia, 2021.

Inclui índice de tabelas e figuras.

1. Adubação. 2. Gestão agronômica. 3. Gestão econômica 4. macronutriente. 5. Eficiência. I. Cantão, Veridiana Cardozo Gonçalves.

CDD: 633.34

LAWREN KRISTINE DE OLIVEIRA MORAIS

**VIABILIDADE AGRONÔMICA E ECONOMICA DA TECNOLOGIA REDUTORA DAS
REAÇÕES DE ADSORÇÃO DE FÓSFORO ASSOCIADA AO SUPERFOSFATO SIMPLES
NO CULTIVO DE SOJA**

Dissertação apresentada à UniRV – Universidade de
Rio Verde, como parte das exigências do Programa
de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para
obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVAÇÃO: 15 de dezembro de 2021

Profª. Dra. Veridiana Cardozo Gonçalves Cantão
Presidente da Banca Examinadora
Membro – FA/UniRV

Profª. Dra. Rose Luiza Moraes Tavares
Membro - FA/UniRV

Prof. Dr. Ricardo Francischini
Membro - FA/UniRV

Prof. Dr. Charles Barbosa Santos
Membro - FA/UniRV

Dra. Ana Paula Branco Corguinha
Membro – Consultora de desenvolvimento de
mercado ICL

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente ao Senhor Deus, que está sempre presente em minha vida, por ter me fortalecido e guiado em seu decorrer.

Ao meu companheiro, Douglas Araujo, que me apoiou em todos os momentos, me incentivando a chegar até aqui.

Aos meus pais, Claudiomar Moraes Palmeira e Maria Neide de Oliveira Moraes, por se fazerem presentes em minha vida e por me proporcionarem mais esta etapa.

Ao meu querido filho, Nicolas de Oliveira Araujo, que deu sentido especial à minha vida e que me proporciona grandes momentos de felicidade.

AGRADECIMENTO

Ao curso de Mestrado em Produção Vegetal da UniRV e aos professores que me ensinaram neste período. Tenho certeza que saio uma profissional mais completa e comprometida após esse período de desafios e conquistas.

À minha orientadora, Dra. Veridiana Cardozo Gonçalves Cantão, por todos ensinamentos, pela paciência, persistência, atenção e compreensão que teve a todo momento comigo, se fazendo presente em minha vida não só acadêmica como pessoal, onde em muitos momentos foi a minha fortaleza, estabelecendo minha fé e enaltecendo a minha capacidade. A você toda a minha gratidão!

Aos meus pais, que sempre apoiaram meus sonhos e fizeram de tudo para que eles se realizassem. Cada oração, cada ajuda, cada ensinamento me fizeram chegar até aqui e, por isso, sou eternamente grata. Obrigada, esta conquista é nossa!

Ao meu noivo Douglas e ao meu filho Nicolas, obrigada por serem meu alicerce todos os dias, a minha chegada até aqui é por vocês.

Aos professores Ricardo Francischini, Rose Luiza Moraes Tavares e Gilmar Oliveira Santos, por terem contribuído com a execução do trabalho.

Aos meus colegas da Universidade Ana Carollina, Emanuela Maria, Gabriel, Jonathan, Marco Tulio, Rafaella e Raquel, obrigada por sempre estarem dispostos a ajudar, estudar juntos; sem vocês esta jornada não teria acontecido.

Às empresas Comigo e Verdesian, por terem custeado os insumos utilizados no decorrer do trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE TABELAS.....	v
RESUMO GERAL.....	vi
GENERAL ABSTRACT.....	vii
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	2
REFERÊNCIAS.....	6
CAPÍTULO 1 - TECNOLOGIA REDUTORA DAS REAÇÕES DE ADSORÇÃO DE FÓSFORO ASSOCIADA AO SUPERFOSFATO SIMPLES E SEU EFEITOS NA SOJA.....	10
RESUMO.....	10
ABSTRACT.....	11
1 INTRODUÇÃO.....	12
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	13
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
4 CONCLUSÕES.....	20
REFERÊNCIAS.....	21
CAPÍTULO 2 - VIABILIDADE ECONÔMICA DO SUPERFOSFATO SIMPLES ASSOCIADO À TECNOLOGIA REDUTORA DAS REAÇÕES DE ADSORÇÃO DE FÓSFORO.....	24
RESUMO.....	24
ABSTRACT.....	25
1 INTRODUÇÃO.....	26
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
4 CONCLUSÕES.....	33
REFERÊNCIAS.....	34
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	35

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Modo de ação da tecnologia redutora das reações de adsorção de fósforo	6
FIGURA 2	Temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), umidade (%), precipitação (mm dia-1) e radiação solar (Mj m ² dia-1) do município de Rio Verde - GO, nas safras 2018/19 (1 ^a safra) e 2019/20 (2 ^a safra).....	13
FIGURA 3	Médias da matéria seca da parte aérea (MSPA), massa de mil grãos (MMG) (A), vagens com um e dois grãos (1G e 2G) (B) e número de vagens por planta (NV) (C) em plantas de soja cultivadas com manejos da adubação fosfatada nas safras 2018/2019 e 2019/2020 em Rio Verde - GO.....	17
FIGURA 4	édias da matéria fresca e seca da parte aérea (MFPSA e MSPA) de plantas de soja cultivadas com superfosfato simples (SS) associado ou não à tecnologia redutora das reações de adsorção de fósforo (TRRA) em Rio Verde - GO.....	18
FIGURA 5	Médias da matéria fresca da parte aérea (MFPA) (A), massa seca da parte aérea (MSPA) (B) e índice de clorofila (IC) (C) em plantas de soja cultivadas em função de doses de superfosfato simples em Rio Verde - GO.....	19
FIGURA 6	Produtividades da soja com aplicação de superfosfato simples com e sem uso de TRRA, safras 2018/2019 (A) e 2019/2020 (B). Rio Verde – GO. Ausência de letras indicam que os tratamentos não diferem estatisticamente.....	30
FIGURA 7	Ponto de máxima eficiência econômica (MEE) da adubação fosfatada com superfosfato simples (SS) associado ou não à tecnologia redutora das reações de adsorção (TRRA) em Rio Verde – GO. (A) Safra 2018/19; (B) Safra 2019/2020.....	33

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Análise de solo da área experimental com profundidade de 0-20 cm.....	14
TABELA 2	Resumo da análise de variância com nível de significância para as características do desenvolvimento e componentes de rendimento da soja cultivada em função de doses de superfosfato simples associado ou não à tecnologia redutora das reações de adsorção em Rio Verde - GO.....	15
TABELA 3	Altura da parte aérea (APA), vagens com 3 e 4 grãos (G3 e G4) e produtividade (PROD) da soja com aplicação de superfosfato simples com e sem uso de TRRA, safras 2018/2019 e 2019/2020. Rio Verde (GO).....	20
TABELA 4	Valores relativos médios do custo operacional (CO_i), renda bruta (RB_i) e renda líquida operacional (RL_i) para cada tratamento na cultura da soja conduzida nas safras 2018/2019 e 2019/2020, no município de Rio Verde – GO.....	31

RESUMO GERAL

MORAIS, L. K. O., UniRV - Universidade de Rio Verde, novembro de 2021. **Viabilidade agronômica e econômica de tecnologia redutora das reações de adsorção de fósforo associada ao superfosfato simples no cultivo de soja.** Orientadora: Profa. Dra. Veridiana Cardozo Gonçalves Cantão.

Os solos do cerrado são altamente intemperizados. Com isso, possuem baixa fertilidade, reprimindo a disponibilidade do fósforo (P). Com a aplicação do fertilizante fosfatado em solo ácido, o P é fixado, se tornando indisponível para as plantas. Dito isso, objetivou-se avaliar o efeito agronômico e econômico do uso da tecnologia redutora das reações de adsorção de fósforo (TRRA) associada ao SS no cultivo de soja. O experimento foi conduzido em campo cultivando-se soja (M7110 IPRO) nas safras 2018/2019 e 2019/2020. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com 4 repetições. Adotou-se o esquema fatorial 4 x 2 x 2, onde o primeiro fator constituiu-se pelas doses de SS de 570; 480; 400 e 320 kg ha⁻¹. O segundo fator correspondeu ao uso ou não da tecnologia redutora das reações de adsorção do fósforo e o terceiro, às safras 18/2019 e 19/2020. Foram avaliados os componentes de rendimento da soja e a produtividade. Para a avaliação econômica, foram levantados os preços dos insumos em dólar. Em seguida, foi calculado o custo operacional (COt) e o ponto de máxima eficiência econômica, indicando qual dose do SS associada ou não ao TRRA proporcionou maior economia no cultivo de soja para o produtor rural. Com base na análise estatística, constatou-se que a interação entre os fatores resultou em diferenças significativas para as variáveis avaliadas. O ponto de máxima eficiência econômica na safra 18/2019 ocorreu com a dose de 568 kg ha⁻¹ de SS e na safra de 19/2020 foi encontrado com a aplicação de 320 kg ha⁻¹ de SS + TRRA. Estes tratamentos foram os que proporcionaram maior retorno econômico para o produtor, resultando em maior eficiência da adubação fosfatada para cultura da soja.

Palavras-chave: Adubação, gestão agronômica, gestão econômica, macronutriente, eficiência.

GENERAL ABSTRACT

MORAIS, L.K.O., UniRV - University of Rio Verde, November 2021. **Agronomic and economic feasibility of the reducing technology of phosphorus adsorption reactions associated with simple superphosphate in soybean cultivation.** Advisor: Prof. Dr. Veridiana Cardozo Gonçalves Cantão

Cerrado soils are highly weathered, as a result, they have low fertility, repressing the availability of phosphorus (P). With the application of phosphate fertilizer in acidic soil, P is fixed and becomes unavailable to plants. That said, this study aimed to evaluate the agronomic and economic effect of using the phosphorus adsorption reaction reducing technology (TRRA) associated with simple superphosphate in soybean cultivation. The experiment was carried out in the field, cultivating soybean (M7110 IPRO) harvests 18/2019 and 19/2020. The experimental design was in randomized blocks with 4 replications. A 4 x 2 x 2 factorial scheme was adopted, where the first factor was constituted by the doses of simple superphosphate (SS) of 570; 480; 400 and 320 kg ha⁻¹. The second factor corresponded to the use or not of TRRA and the third to the 18/2019 and 19/2020 harvests. Soybean yield components and productivity were evaluated. For the economic evaluation, input prices in dollars were calculated, then the operating cost (COt) and the point of maximum economic efficiency were calculated, indicating which dose of SS associated or not with TRRA provided greater savings in soybean cultivation for the rural producer. Based on the statistical analysis, it was found that the interaction between the factors resulted in significant differences for the variables evaluated. The maximum economic efficiency point in the 18/2019 harvest was 568 kg ha⁻¹ of SS and in the 19/2020 harvest it was found with the application of 320 kg ha⁻¹ of SS + TRRA. These treatments were the ones that provided the greatest economic return for the producer, resulting in greater efficiency of phosphate fertilization for soybean crops.

Keywords: fertilizing, agronomic management, economic management, macronutrient, efficiency.

1 INTRODUÇÃO GERAL

A soja é uma commodity agrícola mundial, sendo cultivada em quase todos os estados, destacando-se nas produções e exportações. O estado de Goiás (GO) ocupa a 4ª colocação da produção brasileira, com 19.872 milhões de toneladas (t) produzidas em 5.618 milhões de hectares (ha) na safra 2019/2020 (CONAB, 2020). Os Latossolos do cerrado, em sua maioria, naturalmente apresentam-se na textura argilosa, são altamente intemperizados, de elevada acidez, baixa capacidade de troca de cátions (CTC), alta saturação por alumínio e, portanto, são de baixa fertilidade.

Em razão da alta acidez do solo do Cerrado, há uma grande quantidade de óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al) que interagem com o fósforo (P), tornando-o indisponível para as plantas (CAPUANI, 2017). Apesar de existir de 100 a 2500 kg ha⁻¹ de P na camada de 0-20 cm, apenas 0,1 a 1,0 kg ha⁻¹ encontram-se na solução do solo disponível para a planta (FURTINI et al., 2001).

Dito isso, destaca-se o aumento do uso de fertilizantes, principalmente à base de fósforo (P). A cada safra, novas tecnologias são desenvolvidas em busca de aumentar a produtividade da cultura. No entanto, a aplicação de P tem um grande impacto nas plantas, promovendo melhor desenvolvimento para a cultura (VIEIRA, 2021).

A eficácia na absorção de fósforo pela cultura depende do manejo da adubação fosfatada. Em busca de otimizar a absorção de P, vêm sendo utilizados polímeros, que possibilitam a liberação gradual do nutriente, suprindo as necessidades nutricionais da planta ao longo de seu ciclo e, por consequência, menores perdas do P por fixação, aumentando a absorção do nutriente pela cultura, permitindo também reduzir a dose de fertilizante a ser utilizada. Mesmo que a adubação responda positivamente na produção da cultura da soja, os custos com os insumos são altos. O estudo com novas tecnologias visa uma gestão mais eficiente e sustentável na produção agrícola (GUIMARÃES et al., 2018).

Portanto, há utilização da tecnologia redutora das reações de adsorção (TRRA) como alternativa de diminuir o uso de fertilizantes fosfatados visando sua introdução no sistema de produção da soja. São necessários estudos informando a fertilidade do solo e a nutrição da cultura da soja em solo argiloso. Diante disso, o presente estudo teve por objetivo avaliar o efeito agrônomico e econômico do uso da tecnologia redutora das reações de adsorção de fósforo (TRRA) associada ao superfosfato simples no cultivo de soja.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A safra brasileira de soja, no ano 2019/20, aumentou 2,6% em relação à safra anterior, preservando a aptidão de crescimento das safras anteriores. A produção teve um aumento de 4,6% em relação ao ciclo anterior e a produção total ficou em torno de 120,3 milhões de toneladas, sendo um recorde histórico (CONAB, 2020).

A produção da soja pode ser afetada por fatores genéticos e ambientais. Dentre os fatores genéticos, pode-se citar a adaptação ao clima de cultivo, resistência a insetos, pragas e doenças (THESING, 2020). Entre outros fatores ambientais, o manejo da cultura, as condições de nutrientes do solo e o clima são particularmente proeminentes, incluindo temperatura, fotoperíodo e água disponível (LOURENÇO et al., 2020). Porém, para se obter qualidade e boa produtividade da soja, os cultivares devem ter potencial genético, sendo os fatores ambientais ideais durante as fases de desenvolvimento e produção do cultivo. A temperatura necessária para o desenvolvimento da soja está entre 20 e 30° C, sendo 30° C mais propícia. Durante o processo de maturação, temperaturas mais altas e umidade excessiva farão com que a qualidade do grão diminua (GÖTTERT, 2019).

A baixa temperatura e o período de chuvas na fase final da safra acarretarão no atraso da colheita e os caules e folhas ficarão verdes, induzindo o florescimento em temperaturas acima de 13° C, abaixo de 10° C e acima de 40° C, o que pode causar danos às lavouras. Quanto à temperatura do solo, a faixa de temperatura ideal pode variar de 20 a 30 °C, sendo a temperatura ideal para uma boa emergência de plântulas (FELICET et al., 2019).

A demanda de água é um dos fatores que levam a maiores mudanças na produção de grãos. A disponibilidade de água é importante principalmente durante as fases de germinação e emergência, floração e enchimento de grãos. A soja necessita de 450 a 800 milímetros de chuva durante todo o seu ciclo. Água em excesso e escassez reduzirão a qualidade e a produtividade dos grãos. A demanda hídrica aumenta com o desenvolvimento das plantas, atingindo um máximo durante a floração e enchimento de grãos, período no qual leva de 1 a 8 mm no primeiro dia (VASCONCELOS et al., 2021).

O manejo cultural é um dos fatores mais importantes para o bom desempenho da cultura, pois cultivares com alto potencial genético requerem um bom manejo para alcançar altos rendimentos. O manejo da cultura vai do preparo do solo à colheita e, se adotado na hora certa, pode reduzir os custos de produção e aumentar a eficiência do sistema produtivo (ALVES; JULIATTI, 2018).

O cultivo da soja (*Glycine max (L.) Merril*) ocupa grande participação no agronegócio brasileiro, ocupando importante posição na exportação de produtos agrícolas e nas regiões agrônômicas. A produtividade do cereal vem aumentando ano a ano, alcançando essa conquista devido ao incremento do uso de fertilizantes minerais e ao uso de novas tecnologias que auxiliam na nutrição adequada das plantas (MACHADO et al., 2013).

O fósforo possui baixa mobilidade no solo (MARSCHNER, 2002; COSTA et al., 2009) e muitas vezes é um fator que restringe o desenvolvimento e crescimento das plantas (HINSINGER, 2001). Ele desempenha um papel vital no metabolismo das plantas, sendo importante na transferência de energia celular, respiração e fotossíntese. É um importante componente estrutural de genes e ácidos nucleicos cromossômicos, bem como de muitas coenzimas, fosfoproteínas e fosfolipídios.

Se outros fatores de produção são mantidos em um nível limitado, a fertilidade do solo está intimamente relacionada à produtividade da planta, sendo o fósforo (P) o nutriente mais estudado na literatura, por ser limitado e insubstituível (PINTO et al., 2020). É um nutriente importante, principalmente em solos de Cerrado, pois a taxa de utilização deste elemento em condições naturais é muito baixa e é um elemento de fácil fixação por colóides de solo (SOUSA; LOBATO, 2004).

Na ação da planta no efeito da adubação fosfatada, o P do solo pode ser dividido em compartimentos funcionais com diferentes disponibilidades, que são confundidas com P biodisponível, referindo-se à quantidade de P que as plantas podem absorver no solo. A ação é acometida pelas condições deste e habilidade da planta em absorver o macronutriente da solução do solo. Assim sendo, o P é disponível em função da taxa de liberação do solo na solução e não de acordo com a concentração total do elemento no solo (MEDEIROS et al., 2020).

O P apresenta funções essenciais para o crescimento e produção das plantas, contribuindo na fotossíntese, respiração, divisão e crescimento celular e, principalmente, na distribuição de energia. Se não houver fornecimento suficiente do nutriente, a planta não alcançará o seu potencial máximo de produção (CHIOCHETTA JUNIOR, 2020).

O P possui baixa solubilidade e mobilidade no solo, sendo encontrado principalmente na forma de ortofosfato, derivado do ácido fosfórico. O suprimento de P para as raízes se dá por meio do processo de difusão, que depende principalmente da interação entre as partículas e umidade do solo, além da superfície radicular (SILVA et al., 2014).

A eficiência do uso de nutrientes depende do processo pelo qual as plantas absorvem, transferem, acumulam e utilizam esse nutriente para melhor produzir matéria seca e/ou grãos.

Para o fósforo, outros conceitos têm sido apontados, como maior acúmulo desse elemento e maior acúmulo de matéria seca por unidade de nutriente acumulado (MELLO, 2021).

Como as plantas absorvem a forma de íons H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} , dependendo do pH e após a absorção, elas têm grande capacidade de acumular esse fosfato. Este nutriente constitui compostos de alta energia, derivados de inositol, fosfolípidios e outros ésteres para as plantas, transferência de energia das células, respiração, fotossíntese, a estrutura dos ácidos nucleicos cromossômicos e suas restrições, o que pode levar a um desenvolvimento limitado (SILVA et al., 2014).

O nutriente é encarregado também pela evolução das raízes e das plântulas, iniciando o seu desenvolvimento. Além de estar intimamente relacionado à produtividade, ajuda a melhorar a resistência ao estresse, eficiência hídrica e resistência a doenças. Diante disso, o fósforo disponível consiste em fósforo na solução do solo e fósforo produzido pela dessorção e dissolução do fósforo inorgânico (Pi) ou mineralização do fósforo orgânico (Po) (BEZERRA et al., 2017).

Na aplicação do fósforo, outro ponto a ser considerado é o fator disponibilidade. O fator efetivo é definido pela razão de equilíbrio entre o conteúdo de fósforo no solo e o conteúdo de fósforo na solução do solo. Representa uma medida da capacidade do solo de manter um certo nível desse nutriente na solução. As características e o conteúdo dos componentes minerais da argila determinam a velocidade do processo de P estável a P instável (ALMEIDA, 2018).

O P no solo quase não tem mobilidade e a perda devido ao movimento vertical no solo agrícola é considerada insignificante. Entretanto, nas condições de solos tropicais com grande quantidade de carga positiva, o movimento do nutriente pode ser alterado (MATOS et al., 2021).

A disponibilidade de fósforo e a capacidade do solo de fornecer esse nutriente dependem da presença de minerais primários e secundários, do uso de adubos, do tetracloreto de carbono do solo e do molibdênio e da capacidade das plantas de reciclar os nutrientes. Em conjunto, esses fatores retratam o movimento desses elementos ao longo do perfil do solo (MAZUCATO et al., 2020).

Portanto, as recomendações de fertilização devem considerar a taxa de perdas deste elemento em diferentes tipos de solos, a fim de fazer pleno uso das técnicas de adubação no campo (CARNEIRO et al., 2019). Sendo assim, a cada safra novas tecnologias são elaboradas para buscar o aumento da produção por área (PEREIRA et al., 2021).

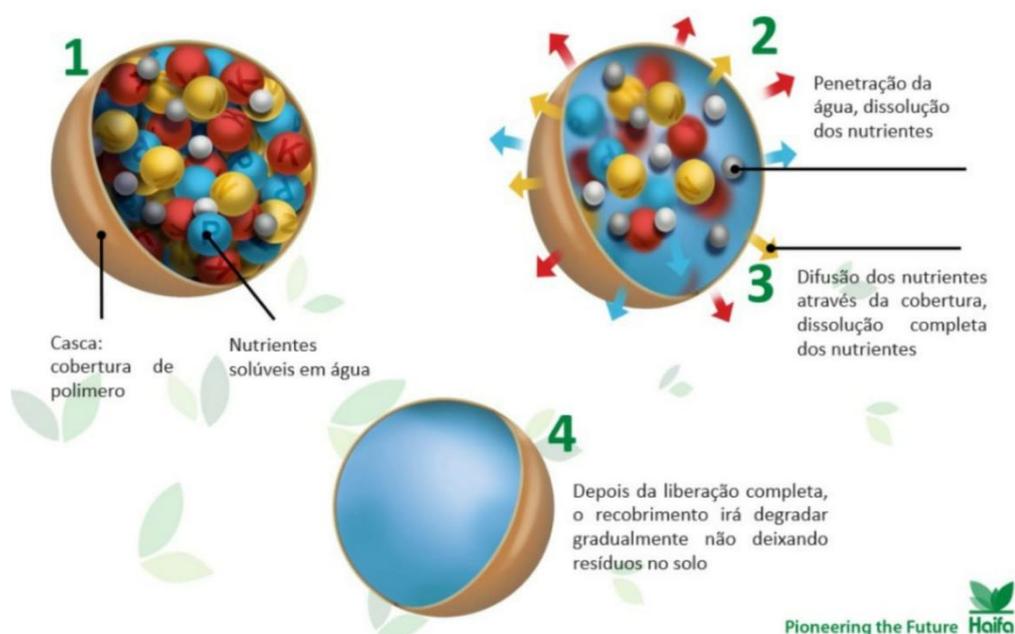
Além disso, a maior parte do fósforo fornecido a esses solos pela fertilização, está firmemente ligada aos componentes da argila, especialmente trióxido de ferro e alumínio, por adsorção específica, tornando-os inutilizáveis pelas plantas. Nos fertilizantes fosfatados tradicionais, o fósforo é liberado rapidamente na solução do solo e, assim, torna-se mais fácil causar uma reação de fixação. Já os fertilizantes fosfatados revestidos com polímero, dependendo do revestimento, a solução contendo ânions fosfatados nas partículas é gradualmente liberada, de forma que a solubilidade dos nutrientes no solo é menor, melhorando a eficiência da fertilização (SANTOS et al., 2018). Essa técnica utilizada para reduzir a fixação de fósforo é o uso de fertilizantes mais eficientes, como fertilizantes revestidos com polímeros, que liberam nutrientes gradualmente, ajudando, assim, no tempo de liberação de nutrientes (BLAYLOCK, 2007).

Em conformidade com as necessidades de nutrientes das plantas ao longo do ciclo de cultivo, pode reduzir o efeito de fixação do fósforo no solo, aumentando a produtividade de grãos ou reduzir a necessidade de fertilizante fosfatado, o que é muito interessante, pois as matérias-primas dos fertilizantes são finitas (VALDERRAMA et al., 2009).

Assim sendo, Santos, Oliveira e Pinto (2021) mencionam a importância de pesquisar e utilizar novas tecnologias que possam minimizar as perdas de P no sistema de produção agrícola. Neste cenário, além de reduzir o impacto ao meio ambiente, pode-se colaborar para a redução do uso de fertilizantes fosfatados e, conseqüentemente, diminuir os custos de produção.

Neste sentido, o polímero utilizado nos fertilizantes fosfatados reduz os custos da adubação, auxilia na liberação do nutriente, melhorando, assim, a nutrição das plantas. Fertilizantes polimerizados liberam o P de maneira gradual, reduzindo os custos e evitando perdas para o ambiente (BARRAGAN, 2021).

O revestimento dos fertilizantes com polímeros é mais eficaz quando comparado com fertilizantes convencionais, uma vez que fertilizantes com polímeros atribuem menores perdas de nutrientes por lixiviação, volatilização e fixação (BORELLI, 2020). A eficiência é ocasionada pela estrutura dos grânulos dos fertilizantes revestidos por polímeros, onde, ao absorver a água do solo, solubilizam os nutrientes no interior das cápsulas e são gradualmente liberados através de estrutura porosa em torno da raiz, de acordo com a necessidade das culturas, como mostrado na figura 1 (SOUZA et al., 2012).



Fonte: Haifa-group.com

Figura 1 - Modo de ação da tecnologia redutora das reações de adsorção de fósforo.

Quando comparado com países de clima temperado, no Brasil há poucas pesquisas com fertilizantes revestidos por polímeros. Assim, a realização de experimentos em regiões como a do Cerrado é necessária, devido ao seu elevado potencial produtor de grãos (BARBOSA et al., 2014).

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Danilo Silva. Disponibilidade de fósforo e produtividade de soja em rotação com braquiária ruziziensis. 2018.

ALVES, Viviane Moreira; JULIATTI, Fernando Cezar. Fungicidas no manejo da ferrugem da soja, processos fisiológicos e produtividade da cultura. **Summa Phytopathologica**, v. 44, p. 245-251, 2018.

BARBOSA, Juliano Magalhaes et al. Fertilizantes com polímeros, DMPP e EDTA aplicados em tomate industrial e efeito residual na soja. 2014.

BARRAGAN, Gabriel Comparsi et al. EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE ADUBOS FOSFATADOS REVESTIDOS COM POLÍMEROS NA CULTURA DO MILHO. **Seminário de Iniciação Científica do Univag**, n. 10, 2021.

BEZERRA, M. A. F.; OLIVEIRA, F. A.; BEZERRA, F. T.C.; PEREIRA, W. E.; SILVA, S. A. Cultivation of cowpea in oxisols under the residual effect of phosphorus fertilization. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n.1, p. 109-115. 2014.

BLAYLOCK, A. O futuro dos fertilizantes nitrogenados de liberação controlada. *Informações agronômicas*, v.120, n.01, p.08-10, 2007.

BORELLI, Laíze Matos. Fertilizantes de eficiência aprimorada: perspectivas e potencial de uso de biopolímeros como matrizes de liberação lenta ou controlada. 2020.

CAPUANI, Silvia. Formas de fósforo em solos oxídicos em função de corretivos da acidez do solo, fontes de fósforo e plantas de cobertura. 2017.

CAPUANI, Silvia. Formas de fósforo em solos oxídicos em função de corretivos da acidez do solo, fontes de fósforo e plantas de cobertura. 2017.

CARNEIRO, K. A. A.; AZEVEDO, M. C.; FRAGA, V. S.; DIAS, B. O.; SOUZA, T. A. F.; CORRÊA, M. M.; ANTONINO, A. C. D.; SALCEDO, I. H. Perdas de fósforo por lixiviação em neossolo regolítico adubado com esterco bovino curtido em condições semiáridas. **Revista Educamazônia**, v. 23, n.2, 2019.

CHIOCHETTA JUNIOR, Jose Carlos. **Efeito de fertilizantes de liberação gradual de nutrientes na dinâmica do nitrogênio no solo e na produção da cultura do milho (Zea mays)**. 2020. Tese de Doutorado.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira: grãos, safra 2020/21, v. 8, n. 6, sexto levantamento, mar. 2021.

COSTA, José Paulo Vieira et al. Difusão de fósforo em solos de Alagoas influenciada por fontes do elemento e pela umidade. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 3, 2009.

FELICETI, Maikely Luana et al. **Desempenho de sementes de genótipos de soja com grupos de maturação contrastantes em função da época de semeadura**. 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

GÖTTERT, Gilnei Carlos. Quantificação das perdas na colheita mecanizada de soja, milho e trigo em função da hora e do mecanismo da colhedora. 2019.

GUIMARÃES, M. M. B. et al. Organomineral fertilization in growth, physiology and phytomass production of castor oil plant BRS Energia. **African Journal of Agricultural Research**, v. 13, n.13, p. 596-606, 2018.

HAIFA-GROUP.COM Disponível em: <https://www.haifa-group.com/pt/articles/tecnologia-multicote-0>. Data de acesso: 28/12/2021.

HINSINGER, Philippe. Biodisponibilidade do P inorgânico do solo na rizosfera afetada por alterações químicas induzidas por raízes: uma revisão. **Planta e solo**, v. 237, n. 2, pág. 173-195, 2001.

LOURENÇO, Leandro Fellet. **O efeito da deficiência hídrica em plantas de soja**. 2020. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MACHADO, V. J.; SOUZA, C. H. E.; LANA, R. M. Q.; SILVA, A. A.; RIBEIRO, V. J. Produtividade da cultura do milho em função de adubação nitrogenada em cobertura. **Revista Verde**, Mossoró, v. 8, n. 5, p. 93-104, 2013. ISSN 1981-8203.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants, San Diego. Academic Press, 2002. 889p.

MATOS, Carlos Henrique Lima et al. Utilização de colunas de solo na avaliação da lixiviação do fósforo em Roraima. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 11051-11059, 2021.

MAZUCATO, Valéria Sun Hwa et al. Comportamento de wetland construído de fluxo vertical com fundo parcialmente saturado na remoção de matéria orgânica nitrogenada e fósforo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 56506-56520, 2020.

MEDEIROS, Maria Deuzilene Oliveira do Nascimento et al. Comparação de métodos de extração de fósforo disponível em solos do semiárido. 2020.

MELLO PRADO, Renato. **Nutrição de plantas**. Editora Unesp, 2021.

PEREIRA, Rogério Machado et al. Comparação de cultivares de soja no Sudoeste Goiano em resposta à aplicação de diferentes doses de Cloreto de Potássio. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 4132-4144, 2021.

PINTO, Luiz Alberto da Silva Rodrigues et al. Extração e quantificação das frações de fósforo orgânico no solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 34260-34278, 2020.

SANTOS, B. A. V. et al. Fertilizante fosfatado de eficiência aumentada e bioativador no crescimento inicial do cafeeiro. 2018.

SANTOS, César Ferreira; OLIVEIRA, Renato Soares; DO CARMO PINTO, Sheila Isabel. Uso de bioativador associado à dosagens de fertilizante fosfatado na cultura do milho. **Nativa**, v. 9, n. 1, p. 16-22, 2021.

SILVA, J. A.; OLIVEIRA, A. P.; MOURA, M. F.; SILVA, J. A.; ARAÚJO, M. A. M. Efeito residual da adubação fosfatada em três cultivos sucessivos com feijão-caupi. **Revista Caatinga**, Mossoró, 27, 31-38. 2014.

SOUSA, DMG de; LOBATO, Edson. Cerrado: correção do solo e adubação. **Planaltina: Embrapa Cerrados**, v. 416, 2004.

SOUZA, Carlos Henrique Eiterer de et al. Fosfato monoamônio revestido com polímeros no plantio das culturas de milho irrigado e cana-de-açúcar. 2012.

THESING, Larissa. Correlações fenotípicas, genotípicas e caracterização agrônômica de soja cultivada com infestação natural de percevejos (*Euschistus heros*). 2020.

VALDERRAMA, Márcio et al. Fontes e doses de nitrogênio e fósforo em feijoeiro no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 3, p. 191-196, 2009.

VASCONCELOS, Elizeu Costa et al. Tendências climáticas e seus potenciais efeitos sobre a cultura de grãos no município de Macapá, Amapá. 2021.

VIEIRA, Fernando Pires et al. EFEITOS DA ADUBAÇÃO FOLIAR DE MICRONUTRIENTES EM CONJUNTO COM BIOESTIMULANTES: UMA REVISÃO DE LITERATURA. 2021.

VIEIRA, NILSON DARLAN. Resposta da soja a fontes e doses de fósforo em solos com diferentes teores de argila. 2021.

CAPÍTULO 1

TECNOLOGIA REDUTORA DAS REAÇÕES DE ADSORÇÃO DE FÓSFORO ASSOCIADA AO SUPERFOSFATO SIMPLES E SEU EFEITOS NA SOJA

RESUMO

A dinâmica do fósforo (P) no solo é complexa, mas o manejo da adubação fosfatada auxilia a minimizar os problemas relacionados ao elemento. A disponibilidade de fósforo no solo é um fator que interfere diretamente na sua absorção pelas plantas, podendo ser influenciada pela textura, dose do fertilizante fosfatado e pelo tempo de contato do P com o solo. Assim, objetivou-se avaliar a eficiência agronômica do superfosfato simples com e sem o uso de tecnologia redutora das reações de adsorção do fósforo (TRRA) na cultura da soja. O experimento foi conduzido em condições de campo nas safras 2018/2019 e 2019/2020, sob sistema de semeadura direta da soja (M 7110 IPRO). Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados com quatro repetições. O esquema estatístico seguiu o modelo fatorial 4 x 2 x 2. O primeiro fator refere-se a doses de superfosfato simples (SS) utilizadas (320; 400; 480 e 570 kg ha⁻¹). O segundo fator é o uso ou não da TRRA associado ao SS e o terceiro ao ano de cultivo da soja (safras 2018/2019 e 2019/2020). Foram avaliadas características referentes ao crescimento, os componentes de rendimento e a produtividade da soja. Após dois anos do cultivo da soja sob diferentes doses de SS associado ou não ao TRRA, verificou-se que não houveram incrementos nos componentes de produtividade da cultura. Portanto, conclui-se que o manejo da adubação fosfatada adotando doses de superfosfato simples associado ou não à tecnologia redutora de adsorção não representou maior eficiência agronômica para cultura.

Palavras-chave: adubação, *Glycine max*, fertilizante fosfatado, fixação de P, polímero.

CHAPTER 1

REDUCING TECHNOLOGY OF PHOSPHORUS ADSORPTION REACTIONS ASSOCIATED WITH SIMPLE SUPERPHOSPHATE AND ITS EFFECTS ON SOYBEAN

ABSTRACT

The dynamics of phosphorus (P) in the soil is complex, but the management of phosphorus fertilization helps to minimize problems related to the element. The availability of phosphorus in the soil is a factor that directly interferes with its absorption by plants, and it can be influenced by the texture, dose of phosphate fertilizer and the time of contact of P with the soil. Thus, the objective was to evaluate the agronomic efficiency of simple superphosphate with and without the use of reducing phosphorus adsorption reaction technology (TRRA) in soybean crop. The experiment was carried out under field conditions in the 2018/2019 and 2019/2020 harvests, under a direct sowing soybean system (M 7110 IPRO). A randomized complete block design with four replications was used. The statistical scheme followed the 4 x 2 x 2 factorial model. The first factor refers to the doses of simple superphosphate (SS) used (320; 400; 480 and 570 kg ha⁻¹). The second factor is the use or not of the TRRA associated with SS and the third is the year of soybean cultivation (2018/2019 and 2019/2020 harvests). Characteristics related to soybean growth, yield components and productivity were evaluated. After two years of soybean cultivation with the cultivar Monsoy 7110 IPRO under different doses of SS associated or not with TRRA, it was verified that there were no increases in the crop yield components. Therefore, it is concluded that the management of phosphate fertilization adopting doses of simple superphosphate associated or not with adsorption reduction technology, did not represent greater agronomic efficiency for the crop.

Keywords: fertilization, Glycine max, phosphate fertilizer, P fixation, polymer.

1 INTRODUÇÃO

A soja é um dos principais produtos agrícolas do Brasil e é produzida em quase todos os estados. O estado de Goiás ocupou o terceiro lugar na produção nacional na safra 2019/2020, com uma produção de 13.519 milhões de toneladas e uma área de plantio de 3.545 milhões de hectares (CONAB, 2020).

Entre os elementos que vêm contribuindo para o aumento de produção da cultura da soja, está o aumento da eficiência das fontes de fertilizantes, onde, com o uso de fertilizantes fosfatados, revestidos por tecnologias redutoras das reações de adsorção (TRRA), há a possibilidade de reduzir as perdas que acontecem no processo de fixação do fósforo (P) no solo, permitindo que o nutriente fique disponível por um período maior.

À medida que aumenta o consumo de fertilizantes minerais e corretivos, práticas e recomendações têm sido estudadas para proporcionar o desenvolvimento e o uso mais eficaz destes insumos, a fim de garantir a competitividade dos agricultores.

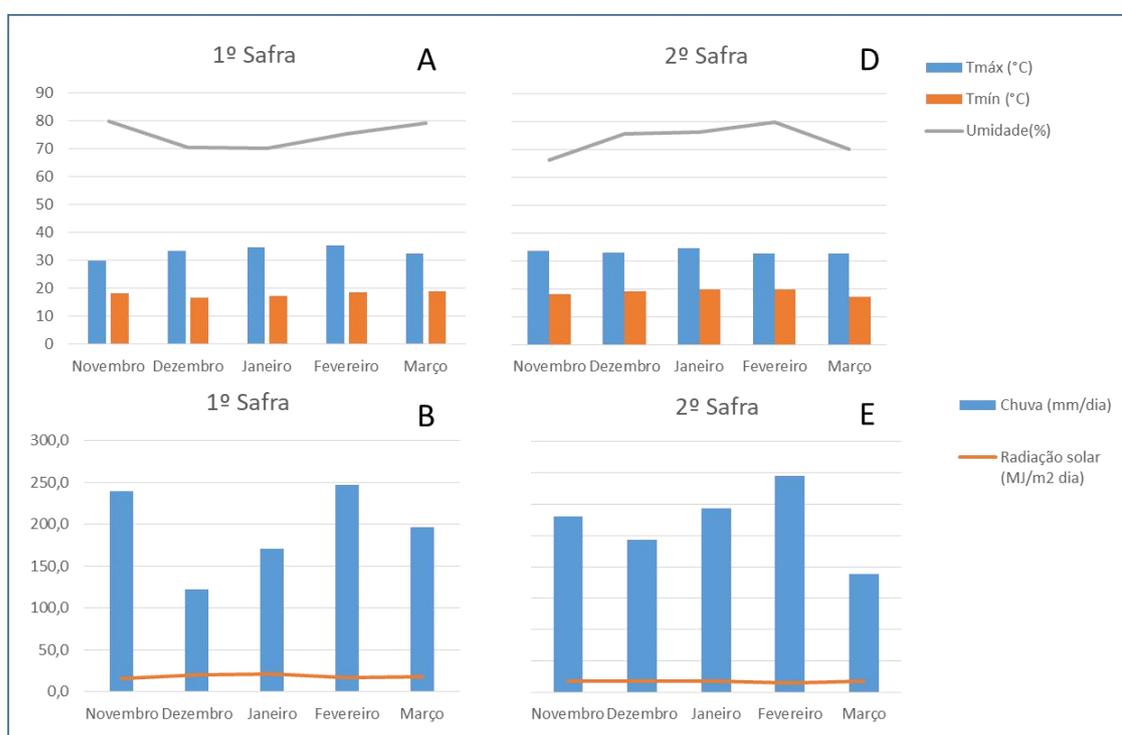
Os solos do cerrado são, em sua maioria, muito intemperizados, com alta acidez, baixa capacidade de troca catiônica (CTC) e alta saturação por alumínio (m%), o que podem ser fatores limitantes para altas produtividades da soja. Além disso, tais características reduzem a eficiência dos fertilizantes (DANTAS, 2019). A qualidade do fertilizante, a época de aplicação e o tipo de solo relacionados à textura, umidade, espécie vegetal e manejo da cultura são fatores que irão afetar a eficiência dos fertilizantes, podendo levar à perda de nutrientes, desperdício financeiro e redução da produtividade (HENDGES, 2021).

Não há dúvida de que o fósforo (P) é um dos principais nutrientes para as plantas, devido à sua resposta às espécies vegetais e complexa dinâmica no solo (PINTO et al., 2020). Com isso, o uso de fertilizantes que tenham efeito protetor sobre os íons fosfato pode reduzir sua adsorção no solo e aumentar a absorção de P nas plantas, melhorando a eficiência da adubação (SANTOS et al., 2019), ou seja, a disponibilidade de P no solo é um fator que afeta de modo direto sua absorção pelas plantas.

O uso de fertilizantes revestidos com polímero é uma tecnologia que vem sendo utilizada para reduzir a fixação de P no solo e aumentar a eficácia dos fertilizantes, pois liberam o nutriente gradualmente, podendo, portanto, aumentar a produtividade de grãos ou reduzir o custo da adubação fosfatada. Baseado no exposto, objetivou-se avaliar a eficiência agrônômica do superfosfato simples, com e sem o uso de tecnologia redutora das reações de adsorção do fósforo na cultura da soja.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em campo durante as safras 2018/2019 e 2019/2020, na área experimental da Universidade de Rio Verde, coordenadas: 17°47'18"S 50°57'31"W, com clima do tipo Aw. 23,3°C, segundo Koppen. A altitude local é de 739 m, no município de Rio Verde, GO. As condições climáticas durante os cultivos da soja são apresentadas na Figura 2.



Fonte: INMET, 2021.

Figura 2 - Temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), umidade (%), precipitação (mm dia⁻¹) e radiação solar (Mj m² dia⁻¹) do município de Rio Verde - GO, nas safras 2018/19 (1ª safra) e 2019/20 (2ª safra).

O cultivar de soja utilizado foi M 7110 IPRO, adotando-se o sistema de semeadura direta. Segundo a detentora do material genético Monsoy, o cultivar apresenta as características de precocidade, excelente arquitetura de plantas, resistência ao acamamento, ampla adaptação geográfica, possibilidade de semeadura antecipada, estabilidade produtiva.

Adotou-se o delineamento experimental em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições. O esquema estatístico seguiu o modelo fatorial 4 x 2 x 2. O primeiro fator refere-se às doses de superfosfato simples (SS) utilizadas (320; 400; 480 e 570 kg ha⁻¹). O segundo

fator foi o uso ou não da tecnologia redutora das reações de adsorção (TRRA) associada ao SS e o terceiro, os anos de cultivo da soja (safras 2018/2019 e 2019/2020).

A semeadura do primeiro ano foi realizada em 27/11/2018 e a do segundo ano em 27/11/2019, utilizando-se o espaçamento entre linhas de 0,5 m e cada parcela contendo 6 linhas de plantio com 6 m de comprimento, totalizando 18 m² em cada parcela.

O uso do superfosfato simples (SS) foi escolhido em função de ser este um dos mais utilizados pelos produtores do Sudoeste de Goiás, devido à sua solubilidade em água e por conter em média 18% de P₂O₅, 16% de Ca e 10% de S.

Os tratamentos testados tiveram como base as orientações para adubação e calagem para o Cerrado (SOUSA; LOBATO, 2004) e o manejo da adubação fosfatada para a cultura da soja, adotado por produtores do Sudoeste goiano. Sendo assim, onde aplicou-se 570 kg ha⁻¹ de SS foi considerado o tratamento controle, pois refere-se à recomendação de adubação de acordo com os resultados da análise de solo descritos na tabela 1 (SOUSA; LOBATO, 2004). A adubação fosfatada cotidianamente utilizada por parte dos produtores do Sudoeste goiano se dá na dose de 400 kg ha⁻¹ de SS e, com base nesta, adotou-se manejos que representassem 20% a menos (320 kg ha⁻¹) e mais (480 kg ha⁻¹) da adubação padrão adotada pelos produtores. A adubação ocorreu no momento da semeadura, aplicando-se o fertilizante no sulco. Esta operação ocorreu nas duas safras.

Tabela 1 - Análise de solo da área experimental com profundidade de 0-20 cm

Amostra	pH	Al	Ca	Mg	V	P (Meh)	Areia	Silte	Argila
	CaCl ₂		cmol _c dm ⁻³		%	mg dm ⁻³		%	
0 - 20	4,6	0,19	1,21	1,02	36	0,6	46	6	46

Al= alumínio, Ca= cálcio, Mg= magnésio, V= saturação de base, P= fosforo, Meh = Mehlich-1.

O manejo fitossanitário foi semelhante ao realizado em cultivo comercial. Os produtos químicos foram utilizados conforme necessidade, sendo aplicados apenas produtos registrados junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

Foram avaliados altura de parte aérea (APA), massa seca de parte aérea (MSPA), massa fresca de parte aérea (MFPA) e índice de clorofila (IC) no estágio fenológico V₅. Em decorrência da colheita, foram avaliados o número de vagens por planta (NV) e número de vagem com 1, 2, 3 ou 4 grãos, massa de mil grãos (MMG) e produtividade (PROD).

A análise estatística foi efetuada para todas as variáveis descritas anteriormente, com o auxílio do programa SISVAR (FERREIRA, 2019). As variáveis foram submetidas à análise

de variância e, quando observado significância, usou-se regressão para o efeito das doses e o teste Tukey para comparação de médias. Considerou-se o nível de significância de $p \leq 0,05$.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo da ANOVA para as características avaliadas é apresentado na Tabela 2. Observa-se que não houve interação entre as fontes de variação safra, dose de superfosfato simples (SS) e o uso ou não da tecnologia redutora das reações de adsorção de fósforo (TRRA). Entretanto, nas características avaliadas em V_5 observa-se que a massa fresca da parte aérea (MFPA) apresentou significância nas fontes de variação dose (D) e tecnologia (T); a matéria seca da parte aérea (MSPA) nas fontes D e T e o índice de clorofila (IC) foi influenciado pelo fator T.

As características avaliadas em decorrência da colheita apresentaram significância somente no fator safra. Tais efeitos são observados no número de vagens com 1 e 2 grãos (G1 e G2), no número de vagens por planta (NV) e na massa de 1000 grãos (MMG) (Tabela 2).

Tabela 2 - Resumo da análise de variância com nível de significância para as características do desenvolvimento e componentes de rendimento da soja cultivada em função de doses de superfosfato simples associado ou não à tecnologia redutora das reações de adsorção em Rio Verde - GO

FV	GL	APA	MFPA	MSPA	IC	G1	G2	G3	G4	NV	MMG	PROD
Bloco	3											
Safra (S)	1	ns	ns	**	ns	**	**	ns	ns	**	**	ns
Dose (D)	3	ns	**	**	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Tecnologia (T)	1	ns	**	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
S*D	3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
S*T	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
D*T	3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
S*D*T	3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Erro	63	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	-	7,5	17,3	12,8	3,8	32,4	12,8	15,0	12,7	11,8	5,8	22,21

FV: Fonte de variação; APA: altura da parte aérea; MSPA e MFPA: massa fresca e seca da parte aérea; IC: índice de clorofila; G1, 2, 3 e 4: vagens com 1, 2, 3 e 4 grãos; NV: número de vagens por planta, MMG: massa de 1000 grãos; PROD: produtividade. ^{ns} não significativo; ** significativo a 1% de probabilidade.

O desdobramento da ANOVA mostra que dentro das safras 2018/2019 e 2019/2020 houve diferenças entre as médias de MSPA e MMG (Figura 3- A), 1G e 2G (Figura 3- B) e NV (Figura 3- C). Destaca-se que a média dos tratamentos para cada característica foi

significativamente maior na safra 2019/2020. Provavelmente, os resultados possam ser explicados em função das condições climáticas (Figura 2). A safra 2019/2020 apresentou umidade relativa do ar um pouco mais alta e sem grandes oscilações. Além disso, os eventos de precipitação foram mais frequentes e bem distribuídos (2019/2020). Isto traz benefícios para as plantas, pois não houve estresse pela falta de água no solo, favorecendo assim os processos bioquímicos e fisiológicos da soja.

Entre os componentes climáticos que mais afetam o desenvolvimento e a produtividade da cultura da soja estão a temperatura, o fotoperíodo e a disponibilidade hídrica, onde as fases mais críticas são visíveis na germinação, emergência, florescimento e enchimento de grãos (FARIAS; NEUMAIER; NEPOMUCENO, 2009). Em condições hídricas satisfatórias, com disponibilidades hídricas regulares e volumes elevados de chuva, a soja segue seu desenvolvimento naturalmente, tendo sua folhagem presente durante seu ciclo, passando pelo período de floração e vigorosa formação de vagens e grãos (SANTOS et al., 2018).

O uso de doses do SS associado ou não ao TRRA resultou em efeitos significativos nas médias de MFPA e MSPA da soja (Figura 4). Observa-se que o SS proporcionou as maiores massas na parte aérea de soja. Por meio de estudos feitos por Souza et al. (2014), foi constatado que os resultados de massa seca de raiz não apresentaram diferença estatística entre a aplicação com fertilizantes convencionais e revestidos na cultura da soja. Já Guareschi (2011), encontrou resultados distintos realizando a aplicação de fertilizantes revestidos 15 dias antes da semeadura, onde obteve maior massa seca de parte aérea, número de vagens e produção de grãos de soja.

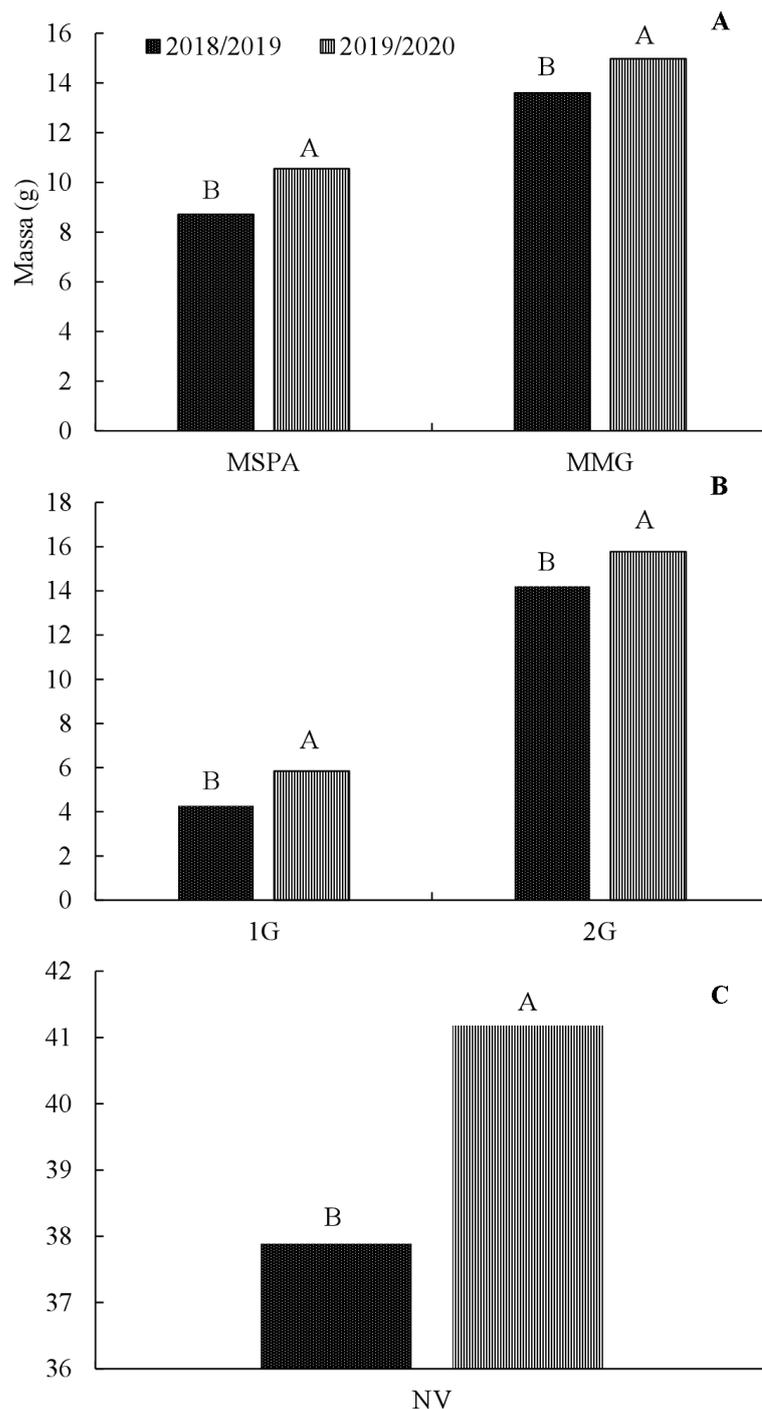


Figura 3 - Médias da matéria seca da parte aérea (MSPA), massa de mil grãos (MMG) (A), vagens com um e dois grãos (1G e 2G) (B) e número de vagens por planta (NV) (C) em plantas de soja cultivadas com manejos da adubação fosfatada nas safras 2018/2019 e 2019/2020 em Rio Verde - GO.

No mesmo sentido, os resultados de Figueiredo et al. (2012) indicam que a aplicação de fertilizantes fosfatados revestidos com polímero estimula o crescimento de plantas e massa seca de milho. No entanto, isso só acontece quando é realizada a correção de solos ácidos e

intemperizados do Cerrado, alcançando a saturação por base (V%) de 40 a 50%, onde a elevação de V% em torno de 60% minimiza o efeito do polímero.

Andrade et al. (2021) evidenciaram que, com o uso de fertilizantes fosfatados com a adição tecnologia, afim de acrescentar em sua eficiência agrônômica, em relação ao fertilizante sem a tecnologia, não houve aumento de produtividade da cultura da batata.

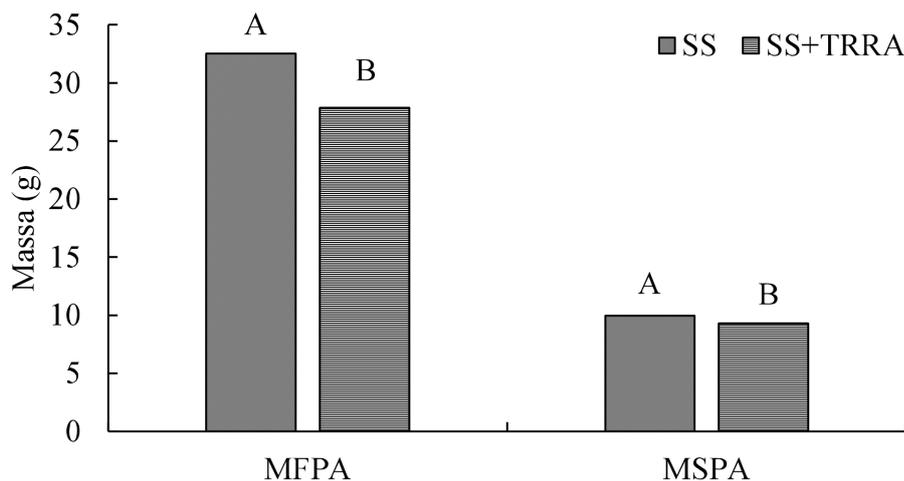


Figura 4 - Médias da matéria fresca e seca da parte aérea (MFPSA e MSPA) de plantas de soja cultivadas com superfosfato simples (SS) associado ou não à tecnologia redutora das reações de adsorção de fósforo (TRRA) em Rio Verde - GO.

O efeito das doses de SS associado ou não ao TRRA sob as características MFPA, MSPA e índice de clorofila (IC) são apresentados na figura 5. Observa-se que a MFPA apresentou resposta segundo modelo matemático polinomial (Figura 5- A). Assim, a MFPA aumentou até o ponto de máxima eficiência agrônômica, referente à dose de 511 kg ha⁻¹, posteriormente sendo reduzida com o aumento da dose de fertilizante fosfatado. A MSPA apresentou mesmo comportamento semelhante à MFPA. Entretanto, seu ponto de máxima eficiência agrônômica ocorreu com a aplicação de 444,29 kg ha⁻¹ de SS com ou sem TRRA (Figura 5- B). O IC (Figura 5- C) apresentou ajuste ao modelo matemático linear decrescente em resposta às doses de fertilizante fosfatado. O uso de 320 kg ha⁻¹, o ponto de máxima eficiência agrônômica, onde obteve-se o maior IC (49,31). Resultados semelhantes foram encontrados por Guareschi et al. (2011), onde a adubação com fertilizantes fosfatados simples não influenciou na massa seca de parte aérea da cultura da soja; já com o uso de fertilizantes revestidos com polímero mostrou maior rendimento de massa seca.

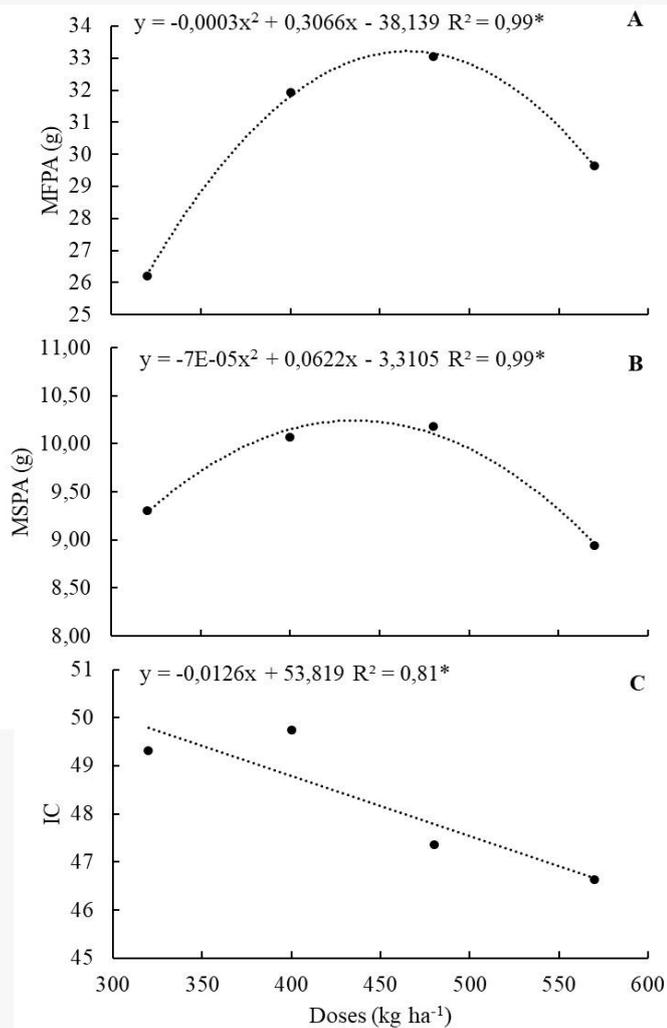


Figura 5 - Médias da matéria fresca da parte aérea (MFPA) (A), massa seca da parte aérea (MSPA) (B) e índice de clorofila (IC) (C) em plantas de soja cultivadas em função de doses de superfosfato simples em Rio Verde - GO.

Guareschi et al. (2011) também obtiveram a mesma resposta em seu trabalho com a utilização de fertilizante revestido por polímero. O número de vagens por planta foi estatisticamente igual com o uso do fertilizante convencional. Em contrapartida, Santini et al. (2010) relataram que quando a aplicação do fertilizante revestido por polímero é realizada 15 dias antes da semeadura, ocorre maior número de vagens por planta de soja.

As safras, as doses de SS e o uso ou não do TRRA não proporcionaram diferenças com relação à produtividade da soja (Tabela 3). Mesmo que as doses de SS associadas ou não ao uso do TRRA apresentando-se iguais perante análise estatística, a maioria dos manejos da adubação fosfatada adotados proporcionou produtividades superiores às registradas nas safras 2018/2019 e 2019/2020 em Goiás (3.290 e 3.712 kg ha⁻¹) (CONAB, 2019; CONAB, 2020).

Tabela 3 - Altura da parte aérea (APA), vagens com 3 e 4 grãos (G3 e G4) e produtividade (PROD) da soja com aplicação de superfosfato simples com e sem uso de TRRA, safras 2018/2019 e 2019/2020. Rio Verde (GO)

Tratamento	APA (cm)		VAGEM				PROD (kg ha ⁻¹)	
			G3		G4			
	2018/19	2019/20	2018/19	2019/20	2018/19	2019/20	2018/19	2019/20
570	47,33	48,15	21,00	6,00	0,0001	15,00	4030,20	3183,60
480	47,54	48,36	20,00	7,00	1,00	15,00	3648,60	3426,60
400	48,54	49,36	17,00	5,00	0,0001	17,00	3567,00	3650,40
320	46,96	47,78	19,00	7,00	0,0001	16,00	2785,20	3445,98
570 + TRRA	43,70	44,53	18,00	6,00	0,0001	15,00	3276,60	3660,60
480 + TRRA	49,87	50,70	20,00	5,00	0,0001	15,00	3213,60	3447,00
400 + TRRA	46,91	47,74	18,00	6,00	0,0001	17,00	2722,20	3256,20
320 + TRRA	46,95	46,78	19,00	10,00	0,0001	16,00	3183,60	4185,00
Média geral	47,06	47,1	18,86	14,21	0,41	19,05	3303,38	3531,92

O desenvolvimento de plantas mais altas se deve à maior disponibilidade de fósforo em função do uso de fertilizantes revestidos por polímeros. Em maiores circunstâncias de exposição do fertilizante fosfatado com o solo, pode reduzir a fixação do P nas partículas do solo, à vista disso, melhorando seu aproveitamento pela cultura (CASTALDO, et al., 2021).

Tais resultados estão de acordo com Guareschi et al. (2011), que concluíram que quando a adubação é feita durante a semeadura os fertilizantes fosfatados simples e com o revestimento por polímeros resultam em mesma produção de massa seca e produtividade na cultura da soja. Andrade et al. (2021) constatou em seu trabalho que com a aplicação de fertilizantes fosfatados com tecnologia não apresentou o aumento da produtividade em comparação ao fertilizante convencional na cultura da batata, foi evidenciado que a área do experimento estava com alta disponibilidade de P no solo.

4 CONCLUSÕES

Após o cultivo de duas safras de soja com o cultivar Monsoy 7110 IPRO, conclui-se que o manejo da adubação fosfatada realizado no sulco de semeadura adotando doses de superfosfato simples associado ou não à tecnologia redutora das reações de adsorção do fósforo não proporcionou diferenças na eficiência agrônômica na cultura.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, Bruno Bernardes de et al. Tecnologias em fertilizantes fosfatados no cultivo da batata para processamento industrial. 2021.
- BEZERRA, M. A. F.; OLIVEIRA, F. A.; BEZERRA, F. T.C.; PEREIRA, W. E.; SILVA, S. A. Cultivation of cowpea in oxisols under the residual effect of phosphorus fertilization. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n.1, p. 109-115. 2014.
- BLAYLOCK, A. O futuro dos fertilizantes nitrogenados de liberação controlada. *Informações agronômicas*, v.120, n.01, p.08-10, 2007.
- CARNEIRO, K. A. A.; AZEVEDO, M. C.; FRAGA, V. S.; DIAS, B. O.; SOUZA, T. A. F.; CORRÊA, M. M.; ANTONINO, A. C. D.; SALCEDO, I. H. Perdas de fósforo por lixiviação em neossolo regolítico adubado com esterco bovino curtido em condições semiáridas. **Revista Educamazônia**, v. 23, n.2, 2019.
- CASTALDO, João Henrique et al. Recobrimento com fertilizante fosfatado de sementes de soja e sua eficiência na germinação, crescimento, produtividade e na disponibilidade de fósforo no solo. 2021.
- CHIOCHETTA JUNIOR, Jose Carlos. **Efeito de fertilizantes de liberação gradual de nutrientes na dinâmica do nitrogênio no solo e na produção da cultura do milho (Zea mays)**. 2020. Tese de Doutorado.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Brasília, DF, v. 6, safra2018/19, n. 12º Levantamento - Safra 2018/19.
- CONAB. Acompanhamento da safra brasileira: grãos, safra 2020/21, v. 8, n. 6, sexto levantamento, mar. 2021.
- DANTAS, João Paulo de Sá. **Perfil de extração de água do solo pela cultura de soja de alta e baixa produtividade de grãos**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2019.
- DE SOUZA, Juscelio Ramos et al. Eficiência do fósforo revestido com polímeros na cultura da soja. **Embrapa Amapá-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2014.
- FARIAS, J; NEUMAIER, N; NEPOMUCENO, A. Soja. 261-278p. 2009. In: INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. 1ª Edição, Brasília, DF, 2009, 546 p.
- FARIAS, J; NEUMAIER, N; NEPOMUCENO, A. Soja. 261-278p. 2009. In: INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. 1ª Edição, Brasília, DF, 2009, 546 p.

FERREIRA, D.F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, p. 1039-1042, 2019. GUARESCHI, Roni Fernandes et al. Adubação antecipada na cultura da soja com superfosfato triplo e cloreto de potássio revestidos por polímeros. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 643-648, 2011.

FIGUEIREDO, Cícero Célio de et al. Adubo fosfatado revestido com polímero e calagem na produção e parâmetros morfológicos de milho. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, p. 446-452, 2012.

GUARESCHI, Roni Fernandes et al. Adubação antecipada na cultura da soja com superfosfato triplo e cloreto de potássio revestidos por polímeros. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 643-648, 2011.

HENDGES, Igor Pereira. **Produtividade do milho e eficiência de uso de nitrogênio pela aplicação de fertilizantes de liberação controlada, fertilizantes estabilizados e matéria orgânica**. 2021. Tese de Doutorado.

MACHADO, V. J.; SOUZA, C. H. E.; LANA, R. M. Q.; SILVA, A. A.; RIBEIRO, V. J. Produtividade da cultura do milho em função de adubação nitrogenada em cobertura. **Revista Verde**, Mossoró, v. 8, n. 5, p. 93-104, 2013. ISSN 1981-8203.

MATOS, Carlos Henrique Lima et al. Utilização de colunas de solo na avaliação da lixiviação do fósforo em Roraima. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 11051-11059, 2021.

MAZUCATO, Valéria Sun Hwa et al. Comportamento de wetland construído de fluxo vertical com fundo parcialmente saturado na remoção de matéria orgânica nitrogenada e fósforo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 56506-56520, 2020.

MEDEIROS, Maria Deuzilene Oliveira do Nascimento et al. Comparação de métodos de extração de fósforo disponível em solos do semiárido. 2020.

PELÁ, Adilson et al. Enhanced-efficiency phosphorus fertilizer: promising technology for carrot crop. **Horticultura Brasileira**, v. 36, n. 4, p. 492-497, 2018.

PEREIRA, Rogério Machado et al. Comparação de cultivares de soja no Sudoeste Goiano em resposta à aplicação de diferentes doses de Cloreto de Potássio. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 4132-4144, 2021.

PINTO, Luiz Alberto da Silva Rodrigues et al. Extração e quantificação das frações de fósforo orgânico no solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 34260-34278, 2020.

SANTINI, JOSÉ MATEUS KONDO; PERIN, ADRIANO; GAZOLLA, PAULO ROBERTO. XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo Adubação Antecipada na Cultura da Soja com Superfosfato Triplo e Cloreto de Potássio Revestidos por Polímeros em Condições Edafoclimáticas de Cerrado.

SANTOS, B. A. V. et al. Fertilizante fosfatado de eficiência aumentada e bioativador no crescimento inicial do cafeeiro. 2018.

SANTOS, César Ferreira; OLIVEIRA, Renato Soares; DO CARMO PINTO, Sheila Isabel. Uso de bioativador associado à dosagens de fertilizante fosfatado na cultura do milho. **Nativa**, v. 9, n. 1, p. 16-22, 2021.

SANTOS, Sara Ramos dos et al. Associação de biocarvão com fertilizante fosfatado e sua influência na eficiência de uso do fósforo pelo milho. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 43, 2019.

SILVA, J. A.; OLIVEIRA, A. P.; MOURA, M. F.; SILVA, J. A.; ARAÚJO, M. A. M. Efeito residual da adubação fosfatada em três cultivos sucessivos com feijão-caupi. **Revista Caatinga**, Mossoró, 27, 31-38. 2014.

SOUSA, DMG de; LOBATO, Edson. Cerrado: correção do solo e adubação. **Planaltina: Embrapa Cerrados**, v. 416, 2004.

VALDERRAMA, Márcio et al. Fontes e doses de nitrogênio e fósforo em feijoeiro no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 3, p. 191-196, 2009.

VIEIRA, B.A.R.M. de; TEIXEIRA, M.M. Adubação de liberação controlada chega como solução. **Revista Campo & Negócios**, Uberlândia, v.41, n.3, p.4-8, 2004.

CAPÍTULO 2

VIABILIDADE ECONÔMICA DO SUPERFOSFATO SIMPLES ASSOCIADO À TECNOLOGIA REDUTORA DAS REAÇÕES DE ADSORÇÃO DE FÓSFORO

RESUMO

A soja é uma das principais commodities mundiais, sendo de suma importância econômica. Assim, há um grande aumento na área tecnológica do setor produtivo relacionado à cultura. Neste contexto, estudos que busquem maior eficiência da adubação fosfatada são primordiais devido à complexa dinâmica do fósforo no solo. Diante do exposto, objetivou-se avaliar a viabilidade econômica da adubação fosfatada com superfosfato simples associado ou não à tecnologia redutora das reações de adsorção de fósforo (TRRA) no cultivo de soja. O trabalho foi executado em campo nas safras 2018/19 e 2019/20, no município de Rio Verde - GO. Os experimentos foram conduzidos em delineamento de blocos casualizados, no esquema fatorial $4 \times 2 \times 2$, contendo 4 repetições por tratamento. O primeiro fator foram doses de superfosfato simples (SS) (570; 480; 400 e 320 kg ha⁻¹). O segundo, presença ou ausência do TRRA junto ao SS e o terceiro as safras 2018/2019 e 2019/2020. Foi utilizado o cultivar M7110 IPRO como indicador da produtividade alcançada nos tratamentos. Para a avaliação econômica, foram levantados os preços dos fertilizantes, da semente de soja e do TRRA. Foi calculado o custo operacional (COT), receita bruta (RB_i), receita líquida operacional (RL_i) e a máxima eficiência econômica (MEE). As doses de SS associadas ou não ao uso de TRRA não resultaram em aumentos na produtividade da soja cultivar M7110 IPRO. Entretanto, com a análise econômica, foi possível observar que no primeiro ano de cultivo, o uso de SS na dose de 570 kg ha⁻¹ foi o tratamento mais viável e na safra 2019/2020 o uso de 320 kg ha⁻¹ de SS + TRRA proporcionou maior retorno econômico. A maior eficiência econômica da adubação fosfatada para a soja ocorreu com o uso de 568 kg ha⁻¹ de SS na safra 2018/2019 e 320 kg ha⁻¹ de SS+TRRA na safra 2019/2020.

Palavras-chave: adubação fosfatada, produtividade, eficiência econômica.

CHAPTER 2

ECONOMIC FEASIBILITY OF SIMPLE SUPERPHOSPHATE ASSOCIATED TO REDUCING TECHNOLOGY OF PHOSPHORUS ADSORPTION REACTIONS

ABSTRACT

Soybean is one of the main world commodities and it's of great economic importance. Thus, there is a great increase in the technological area of the productive sector related to culture. In this context, studies that seek greater efficiency in phosphate fertilization are essential due to the complex dynamics of phosphorus in the soil. Thus, the objective was to evaluate the economic viability of phosphate fertilization with simple superphosphate associated or not with the reduction technology of phosphorus adsorption reactions (TRRA) in soybean cultivation. The work was carried out in the field in the 2018/19 and 2019/20 harvests, in Rio Verde - GO. The experiments were carried out in a randomized block design, in a 4 x 2 x 2 factorial scheme with 4 replications per treatment. The first factor was doses of simple super phosphate (SS) (570, 480, 400 and 320 kg ha⁻¹). The second, presence or absence of TRRA with the SS and the third was 2018/2019 and 2019/2020 harvests. The cultivar M7110 IPRO was used as an indicator of the productivity achieved in the treatments. For the economic evaluation, the prices of fertilizers, soybean seeds and TRRA were surveyed. Operating cost (COt), gross revenue (R_{Bi}), net operating revenue (R_{Li}) and maximum economic efficiency (MEE) were calculated. The doses of SS associated or not with the use of TRRA did not result in increases in the productivity of soybean cultivar M7110 IPRO. However, with the economic analysis it was possible to observe that in the first year of cultivation, the use of SS at a dose of 570 kg ha⁻¹ was the most viable treatment and in the 2019/2020 harvest the use of 320 kg ha⁻¹ of SS + TRRA provided greater economic return. The greatest economic efficiency of phosphate fertilization for soybean occurred with the use of 568 kg ha⁻¹ of SS in the 2018/2019 harvest and 320 kg ha⁻¹ of SS+TRRA in the 2019/2020 harvest.

Keywords: phosphate fertilization, productivity, economic efficiency.

1 INTRODUÇÃO

Os produtores rurais têm sido prejudicados por não conhecer a contabilidade de sua fazenda, em função de não terem o controle dos custos no processo de produção. Como consequência disto, não são atingidos os resultados desejados. Isso faz com que seja necessário que os produtores busquem aprimoramento na gestão econômica de sua propriedade (RENGEL; AGUIAR, 2021).

Cada vez há mais espaço para a atividade agrícola na economia e a cultura da soja é um dos principais produtos deste setor. A soja brasileira atingiu produção no ano agrícola de 2019/20 de 135,41 milhões de toneladas, compondo uma vasta área cultivada de 38,50 milhões de hectares (CONAB, 2021).

O fósforo (P), macronutriente muito importante para o desenvolvimento da cultura, por fazer parte do processo de fotossíntese, pode limitar a produtividade da soja. É naturalmente encontrado no solo em formas solúveis (disponível para a planta), orgânica, adsorvida, precipitada e mineralogicamente estáveis. Portanto, a disponibilidade do P para as plantas depende do teor de argila; quanto maior, mais P retido ao solo e, assim, maior será a adsorção e/ou fixação e menor disponibilidade (MALAVOTA, 2002).

A região do cerrado possui solos altamente intemperizados e com baixa fertilidade, portanto, um dos aspectos que auxilia na fertilidade do solo e aumenta a produtividade das culturas é a utilização da adubação fosfatada (POMPERMAYER et al., 2020). Associadas aos fertilizantes fosfatados, podem ser utilizadas tecnologias como os polímeros e copolímeros para reduzir a adsorção de fósforo e aumentar a produtividade. Esta tecnologia preconiza reduzir as perdas naturais do nutriente, como a fixação, ao longo do ciclo da cultura, a fim de intensificar o efeito do fertilizante. Tal tecnologia pode ser utilizada como revestimento dos grânulos de fertilizantes sólidos, com o intuito de reduzir o custo da produção e mão de obra, onde irá elevar o rendimento, assim compensando possíveis aumentos de custo (ANDRADE et al., 2021).

A apuração dos custos de produção tem diversas finalidades, como analisar a rentabilidade e viabilidade econômica das atividades e determinar os parâmetros de tomada de decisão, como a tecnologia utilizada e doses do fertilizante (CASTALDO et al., 2021). Baseado no exposto, objetivou-se avaliar a viabilidade econômica da adubação fosfatada com superfosfato simples associado ou não à tecnologia redutora das reações de adsorção de fósforo no cultivo de soja.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de campo no município Rio Verde -GO, nas coordenadas 17°47'18"S 50°57'31"W. Adotou-se o delineamento experimental em blocos casualizados (DBC) no esquema fatorial 4 x 2 x 2 com quatro repetições. As parcelas experimentais foram compostas por 6 linhas de 6 metros de comprimento espaçadas em 0,5 m, totalizando 18 m².

No esquema fatorial citado, tem-se como primeiro fator as doses usadas de superfosfato simples (SS) de 320, 400, 480 e 570 kg ha⁻¹. O segundo fator foi o uso ou não da tecnologia redutora das reações de adsorção de fósforo (TRRA) junto ao SS e o terceiro fator, o cultivo de soja (cultivar M7110 IPRO) nas safras 2018/2019 e 2019/2020.

As semeaduras foram realizadas dias 27/11/2018 e 27/11/2019. Neste momento, procedeu-se a adubação fosfatada no sulco, sendo esta operação realizada nos dois cultivos. Onde foi aplicado 570 kg ha⁻¹ de SS, considerou-se como tratamento referência por se tratar da recomendação de adubação de acordo com os resultados da análise de solo (SOUSA; LOBATO, 2004). A adubação fosfatada cotidianamente utilizada por parte dos produtores do Sudoeste goiano se dá na dose de 400 kg ha⁻¹ de SS e, com base nesta, adotou-se manejos que representassem 20% a menos (320 kg ha⁻¹) e mais (480 kg ha⁻¹) da adubação padrão adotada pelos produtores.

O experimento foi colhido manualmente e submetido à trilhagem dos grãos para se obter o peso e umidade, com a finalidade de se calcular a produtividade de cada parcela. Os dados de produtividade da soja foram submetidos a ANAVA no programa Sisvar 5.6 (FERREIRA, 2019) e, quando detectada significância, adotou-se o teste de médias de Tukey ($p \leq 0,05$) e regressão para as doses. Na análise econômica não foram empregados testes estatísticos, mas, para definição do ponto de eficiência econômica dos tratamentos, levou-se em consideração as equações de regressão.

Para a avaliação econômica dos tratamentos foram levantados os preços dos fertilizantes, da semente de soja e da tecnologia redutora das reações de adsorção de fósforo (TRRA). Em seguida, os preços foram dolarizados para a época da aquisição dos insumos. Com estes definidos, foi calculado o custo operacional de cada tratamento (COt), em US\$ ha⁻¹, como sendo o produto entre a quantidade utilizada de cada insumo na parcela, em unidade ha⁻¹, multiplicado pelo seu respectivo preço (Pi), em US\$ unidade⁻¹. Como os tratamentos

receberam todos o mesmo manejo, o custo final de cada parcela se diferiu única e exclusivamente pelo custo operacional, sendo:

$$CO_i = \sum_{i=1}^n insumo_i * P_i$$

Em que:

insumo_i: quantidade do insumo utilizado na parcela, em unidade ha⁻¹;

P_i: preço do insumo, em US\$ unidade⁻¹.

Em seguida, foram calculados os indicadores de análise de resultados de rentabilidade para os tratamentos:

a) Receita bruta do tratamento (R_{Bi}), em US\$ ha⁻¹: receita obtida com a venda da produção. É o valor do produto entre o rendimento da parcela (Y_i), em kg ha⁻¹, e o preço efetivamente recebido no mercado pela venda da produção (P_i), em US\$ kg⁻¹, dada pela seguinte expressão:

$$RB_i = Y_{c_i} * P_{c_i}$$

Os preços foram obtidos no mercado de Rio Verde – GO quando foram enviados para a comercialização.

b) Receita líquida operacional da parcela (R_{Li}), em US\$ ha⁻¹: é o lucro operacional e é o resultado da diferença entre a R_{Bi} e o custo operacional total em cada parcela (CO_t). Esse indicador representa o valor que sobra para investir ou alocar em outros recursos para o processo produtivo. É viável e interessante do ponto de vista econômico o tratamento que apresentar RL > 0 e o tratamento mais viável é o que apresentar o maior RL. Esse indicador é obtido pela seguinte expressão:

$$RL_i = RB_i - CO_i$$

Ainda na parte econômica, com a função de produção, foi possível estimar o produto físico marginal (PFMg), obtido pela derivada da análise de regressão estimada (PFMg = ∂Y/∂X). Uma vez obtido este produto, foi factível calcular os pontos de máxima eficiência

técnica (MET) e máxima eficiência econômica (MEE), bastando para tal igualar o PFMg estimado a zero e a relação preço do insumo, neste caso o preço do fertilizante supersimples (PX) e o preço do produto, da soja (PY), respectivamente:

$$\text{Máxima eficiência técnica: } PFMg = \frac{\partial Y}{\partial X} = 0; \text{ e}$$

$$\text{Máxima eficiência econômica: } PFMg = \frac{\partial Y}{\partial X} = \frac{P_X}{P_Y}$$

O ponto de máxima eficiência técnica é aquele que indicou o maior rendimento da cultura com uma determinada quantidade do insumo, ou do supersimples, testado no experimento. O ponto de máxima eficiência econômica é aquele que indicou qual a dose do supersimples associado ou não ao TRRA que trouxe melhor resultado econômico para o produtor rural.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As produtividades obtidas pela soja com aplicação de superfosfato simples com e sem uso de TRRA, nas safras 2018/2019 e 2019/2020, são apresentadas na figura 6. Observa-se que a produtividade da soja em 2018/19 variou de 2.722,20 a 4.030,20 kg ha⁻¹. Estes valores representam em torno de 45 a 67 sacas de soja por hectare. Em 2019/2020 a produtividade foi de 3.184,60 a 4.185,00 kg ha⁻¹, o equivalente a 53 a 70 sacas ha⁻¹.

A análise estatística indicou que não houve diferença significativa entre as doses de SS associado ou não ao TRRA. Mesmo assim, a produtividade obtida pela maioria dos tratamentos foi superior à média registrada para Goiás na safra 2018/19 de 3.290 kg ha⁻¹ de grãos de soja (CONAB, 2019) e 3.712 kg ha⁻¹ na safra 2019/2020 (CONAB, 2020).

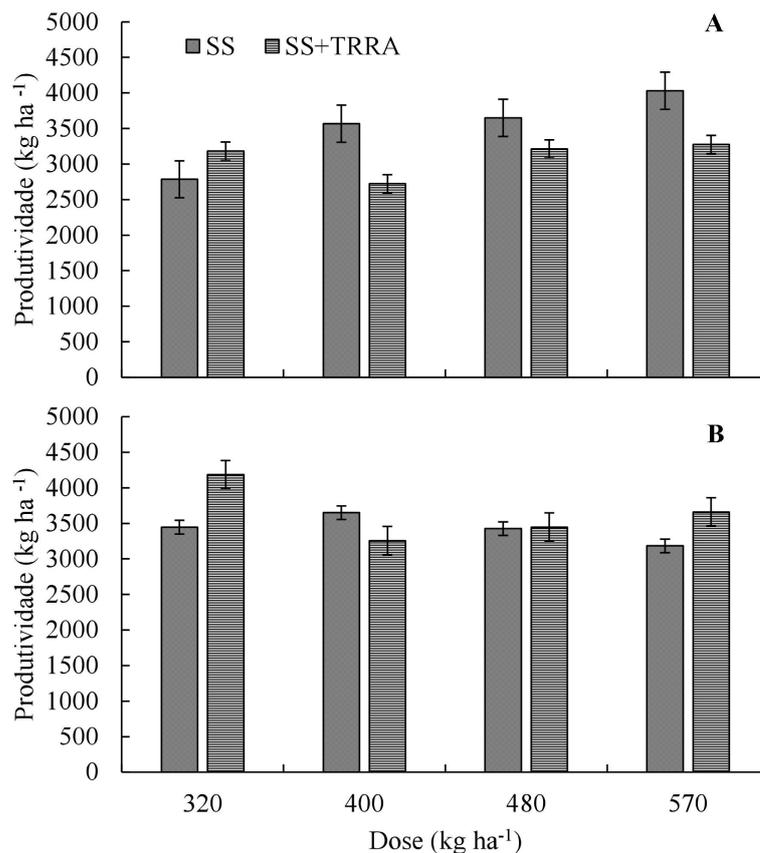


Figura 6 - Produtividades da soja com aplicação de superfosfato simples com e sem uso de TRRA, safras 2018/2019 (A) e 2019/2020 (B). Rio Verde – GO. Ausência de letras indicam que os tratamentos não diferem estatisticamente.

Considerando que a análise estatística não identificou diferenças entre os tratamentos nas duas safras de soja, a interpretação dos resultados pela análise da viabilidade econômica pode auxiliar os produtores nas decisões a respeito das aquisições e uso do fertilizante. Segundo Francischini et al. (2018), a análise econômica é uma ferramenta que permite o planejamento e priorização dos recursos nas áreas de produção.

O desempenho econômico das safras 2018/2019 e 2019/2020 é apresentado na Tabela 4. Verifica-se, na safra 2018/2018, que a dose de 570 kg ha⁻¹ de SS associada ou não ao TRRA foi a que apresentou o maior custo operacional (CO), 262,59 US\$ ha⁻¹ (SS) e 301,33 US\$ ha⁻¹ (SS + TRRA), mas o uso de 570 kg ha⁻¹ de SS proporcionou a maior renda bruta (R_{Bi}) de US\$ 1.075,34 ha⁻¹ (2018/2019) e renda líquida (R_{Li}) dentre os tratamentos na referida safra (US\$ 812,75 ha⁻¹). Adicionando-se o TRRA na dose de 570 kg ha⁻¹, o CO continuou sendo o mais alto entre as doses avaliadas com o produto adicionado ao SS, mas a R_{Bi} foi de US\$ 874,26 ha⁻¹ e R_{Li} de US\$ 572,93 ha⁻¹ na safra 2018/2019.

Passando para a safra 2019/2020, observa-se respostas econômicas diferentes da safra anterior. O uso de TRRA passa a ser o tratamento mais viável economicamente quando utilizado na dose de 320 kg ha⁻¹ (320 + TRRA) a RBi foi de US\$ 1.138,87 ha⁻¹ e a RLi US\$ 894,64 ha⁻¹ (tabela 4).

Tabela 4 - Valores relativos médios do custo operacional (CO_i), renda bruta (R_{Bi}) e renda líquida operacional (R_{Li}) para cada tratamento na cultura da soja conduzida nas safras 2018/2019 e 2019/2020, no município de Rio Verde – GO

Tratamentos	Safra 2018/2019			Safra 2019/2020		
	CO _i	R _{Bi}	R _{Li}	CO _i	R _{Bi}	R _{Li}
		--- US\$ ha ⁻¹ ---			--- US\$ ha ⁻¹ ---	
320	205,49	743,15	537,66	205,49	937,76	732,27
400	223,76	951,75	727,99	223,76	993,39	769,63
480	242,03	973,52	731,49	242,03	932,48	690,45
570	262,59	1.075,34	812,75	262,59	866,36	603,77
320+TRRA	244,23	849,45	605,22	244,23	1.138,87	894,64
400+TRRA	262,50	726,34	463,84	262,50	886,11	623,61
480+TRRA	280,77	857,45	576,68	280,77	938,04	657,27
570+TRRA	301,33	874,26	572,93	301,33	996,16	694,83

Fonte: dados da pesquisa. Calculado pelo autor 2021.

Há trabalhos na literatura, os quais avaliaram os indicadores econômicos do cultivo da soja. Os dados sobre os custos de produção de uma propriedade rural, em função de suas produções, contribuem na tomada de decisão do produtor. Ao analisar financeiramente o custo de se cultivar a soja, foi observado um custo total (CT) de R\$ 3.268,71. Referindo-se R\$ 2.215,01 ao custo operacional efetivo (COE), representando 67,8% do CT, distribuído em insumos e atividades agrícolas. Vale ressaltar que, de todo cultivo da cultura da soja, os componentes mais caros são os insumos (fertilizantes, defensivos e sementes), ocupando aproximadamente 59% do CT. Representando os insumos em porcentagem, o de maior custo é o fertilizante 26,7%, seguido de defensivos 20,2% e sementes 12,2%; já as operações mecanizadas (manutenção, combustível e mão de obra) atingiram 8,6% durante todo o ciclo da cultura da soja (ALVES et al., 2016).

De acordo com Tasitano et al. (2016), representando maior custo em uma planilha de gestão agrônômica, os fertilizantes destacam-se por possuir maior custo em uma lavoura. Os autores ressaltam a necessidade de o produtor realizar seu gerenciamento financeiro de forma eficaz, bem como conduzir a cultura a campo com a finalidade de reduzir perdas, exercendo assim uma agricultura de precisão.

As equações de regressão estimadas permitiram encontrar o ponto de máxima eficiência econômica (MEE) dos tratamentos em ambas as safras (Figura 7). Avaliando a

safra 2018/2019, observa-se que a MEE do SS foi quando se utilizou 568 kg ha⁻¹. Esta dose proporcionou produtividade de 3.993,4 kg ha⁻¹. Por outro lado, a MEE do SS associado ao TRRA ocorreu com o uso de 320 kg ha⁻¹ do fertilizante, resultando em 3.106,2 kg ha⁻¹. Estes resultados indicam que o uso do TRRA, mesmo tendo possibilitado a redução da dose de SS, não resultou em renda líquida (RL) suficiente para ser considerado viável economicamente na safra 2018/2019, pois o MEE do SS resultou em RL de US\$ 804,44 ha⁻¹ e a MEE do SS + TRRA em US\$ 585,13 ha⁻¹ (Figura 7A).

Com relação ao MEE da adubação fosfatada na safra 2019/2020 (Figura 7B) verifica-se que a MEE ocorreu quando foram produzidos 3.561,8 kg ha⁻¹ de grãos de soja, usando-se 376,4 kg ha⁻¹ de SS. Em contrapartida, o uso de SS + TRRA na dose de 320 kg ha⁻¹ proporcionou a produção de 4.126,3 kg ha⁻¹ de soja. Os resultados da safra 2019/2020 mostram que SS + TRRA proporcionou em maior RL para o produtor (US\$872,00 ha⁻¹) quando comparada ao SS isolado (US\$750,60 ha⁻¹).

Oliveira et al. (2004) relataram em seu trabalho que a dose de ponto de máxima eficiência econômica foi equivalente a 110 kg ha⁻¹ P₂O₅, a qual se aproximou-se da dose de 112 kg ha⁻¹ de P₂O₅, sendo esta a dose que atingiu maior massa verde de coentro. Moreira et al. (2021) observaram que a dose de MEE (399 kg ha⁻¹ P₂O₅) foi menor que a encontrada na máxima eficiência técnica (MET) de 493 kg ha⁻¹ P₂O₅.

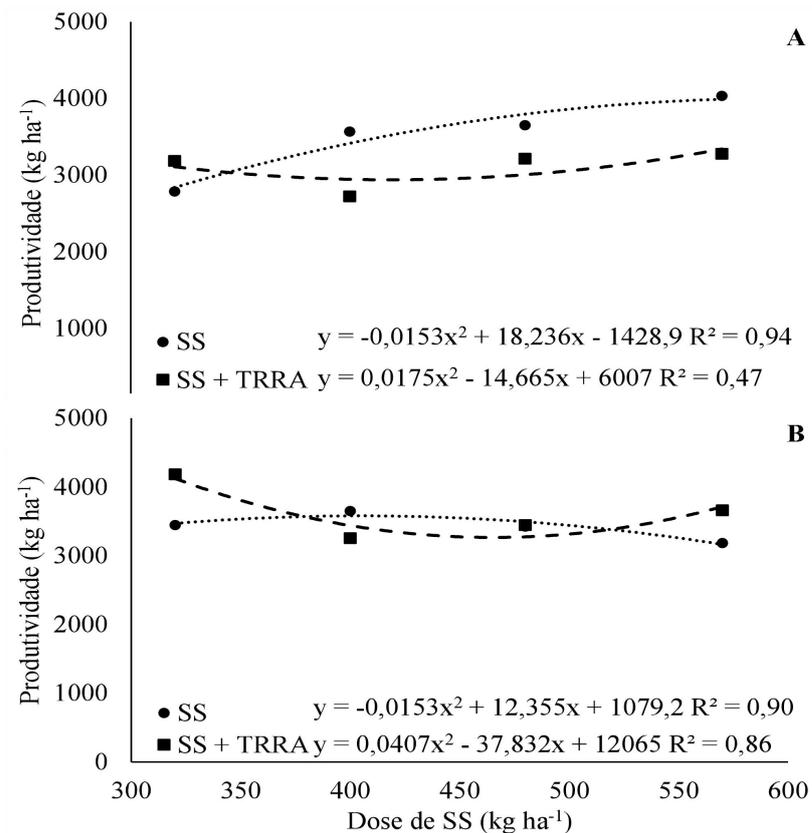


Figura 7 - Ponto de máxima eficiência econômica (MEE) da adubação fosfatada com superfosfato simples (SS) associado ou não à tecnologia redutora das reações de adsorção (TRRA) em Rio Verde – GO. (A) Safra 2018/19; (B) Safra 2019/2020.

Os resultados mostram que a associação do TRRA ao SS é uma tecnologia que precisa ser melhor entendida, pois fatores ambientais podem influenciar no desempenho do produto. Haja visto que na safra 2018/2019 seu uso proporcionou retorno ao produtor de apenas US\$ 585,13 ha⁻¹ e, na safra seguinte, a situação foi oposta, sendo a RL de US\$ 872,00 ha⁻¹.

4 CONCLUSÕES

A adubação fosfatada utilizando o super simples sem o uso do TRRA na dose de 568 kg ha⁻¹ foi viável economicamente nas condições da safra 2018/2019.

O fertilizante fosfatado com a tecnologia apresentou maior viabilidade econômica na dose de 320 kg ha⁻¹ na safra 2019/2020.

Associação do TRRA ao SS em diferentes doses não proporcionou aumento na produtividade da soja nas duas safras avaliadas.

REFERÊNCIAS

- ALVES, Gabriel Silva et al. Estudo econômico do cultivo de soja e sorgo safrinha economic study of soybean cultivation and sorghum second season. 2019.
- ANDRADE, Bruno Bernardes de et al. Tecnologias em fertilizantes fosfatados no cultivo da batata para processamento industrial. 2021.
- CASTALDO, João Henrique et al. Recobrimento com fertilizante fosfatado de sementes de soja e sua eficiência na germinação, crescimento, produtividade e na disponibilidade de fósforo no solo. 2021.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Brasília, DF, v. 6, safra2018/19, n. 12º Levantamento - Safra 2018/19.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 7, safra 2019/20, n. 12 décimo segundo levantamento, setembro. 2020.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, [S.l.], v. 37, n. 4, p. 529-535, dec. 2019.
- FRANCISCHINI, R. SILVA, A.G.; TESSMANN, D.J. Eficiência de bioestimulantes e fungicida nos caracteres agronômicos e econômicos na cultura do milho verde. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo (ONLINE)**, v. 17, p. 274-286, 2018.
- MALAVOLTA, EURIPEDES. **Adubos e adubações**. NBL Editora, 2002.
- MOREIRA, Andressa et al. Doses de máxima eficiência técnica e econômica de nitrogênio, fósforo, potássio e calcário para o capim-marandu. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, v. 18, n. 37, 2021.
- OLIVEIRA, Ademar P. de et al. Resposta do coentro à adubação fosfatada em solo com baixo nível de fósforo. **Horticultura Brasileira**, v. 22, p. 87-89, 2004.
- POMPERMAYER, Guilherme Verdicchio et al. Adubação fosfatada em sistemas de produção de soja. 2020.
- RENGEL, Maiza Cristina Amancio; AGUIAR, Maria Eduarda Heinzen. Custo de produção na cultura da soja. **CADERNO DE RESUMOS**, p. 75. 2021.
- SOUSA, DMG de; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2004.
- TARSITANO, Rodrigo Anselmo et al. Custos e rentabilidade da produção de girassol no estado do Mato Grosso, Brasil. **Revista ESPACIOS| Vol. 37 (Nº 12) Año 2016**, 2016.
- ZANAO, Luiz A. et al. Fertilização com fósforo com maior eficiência nas lavouras de soja e milho. **Australian Journal of Crop Science** , v. 14, n. 1, pág. 78-84, 2020.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adubação com fertilizantes fosfatados revestidos com polímeros mostrou que é possível a redução da dose do fertilizante na segunda safra em comparação ao fertilizante convencional, atingindo o ponto de máxima eficiência econômica. Ainda pode-se dizer que, afim de reduzir o investimento agrícola e conseqüentemente aumentar o lucro, preservar o solo, evitar altas doses de fertilizantes fosfatados, a TRRA pode ser utilizada para trazer retorno econômico para o produtor, mas, com relação aos ganhos em produtividade devido à liberação gradativa do fósforo, ainda é preciso pesquisar mais.

Assim, de acordo com trabalhos semelhantes ao conduzido, pode-se observar que, onde a adubação foi realizada 15 dias antes da semeadura, possibilitou aumento de produtividade. Isto mostra que há necessidade de investir em pesquisas relacionadas ao manejo da adubação fosfatada com fertilizantes revestidos em ambientes contrastantes, no que se refere a solo e fatores climáticos, haja visto que os dados climáticos de ambas as safras que foram apresentados possivelmente expliquem alguns efeitos encontrados.