

Fertilizantes fosfatados e bioativador na cultura do algodoeiro

Phosphate fertilizers and bioactivator in cotton crop

Fertilizantes fosfatados y bioactivadores en cultivo de algodón

Recebido: 03/09/2023 | Revisado: 15/09/2023 | Aceitado: 16/09/2023 | Publicado: 19/09/2023

Pablo Rozo Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1213-3682>
Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Brasil
E-mail: pablo.rozo@hotmail.com

Marcos Antonio Camacho da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4764-9897>
Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Brasil
E-mail: camacho@uem.br

Resumo

O experimento avaliou a aplicação de fertilizantes fosfatados e bioativador, verificando efeitos nos componentes de produção do algodoeiro. Foram realizados dois experimentos, ambos com delineamento experimental em blocos casualizados, em esquema fatorial (2x5 no experimento I e 3x5 no experimento II). O experimento I utilizou duas fontes fosfatadas com cinco doses de superfosfato triplo 0, 72, 143, 214 e 286 kg ha⁻¹ e bioativador 0, 300, 600, 900 e 1200 g ha⁻¹. O experimento II utilizou cinco doses de termofosfato magnésiano (0, 133, 267, 533 e 1067 kg ha⁻¹), superfosfato triplo (0, 57, 114, 228 e 455 kg ha⁻¹) e bioativador (0, 240, 480, 960 e 1920 g ha⁻¹). As análises foram realizadas no SAS®. Os dados foram submetidos à análise de variância e comparadas por meio do teste de Tukey, a 5% de probabilidade para comparação entre fontes e análise de regressão para as doses. As aplicações de fertilizantes fosfatados e bioativador, nas condições estudadas, não influenciaram nas características avaliadas (massa média do capulho, massa de 100 sementes e rendimento de fibras). Em solos com baixo teor de fósforo, o bioativador e o superfosfato triplo apresentaram comportamento semelhante sobre a produtividade do algodoeiro. O bioativador, em solos com alto teor de fósforo, proporcionou a máxima produtividade com a dose 900 g ha⁻¹ e o maior retorno econômico com a dose de 870,87 g ha⁻¹. O termofosfato, em solos com baixo teor de fósforo, proporcionou a máxima produtividade na dose de 96 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e o maior retorno econômico na dose de 84,40 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Palavras-chave: Bioativação do solo; Cerrado; Fósforo; *Gossypium hirsutum* r. *latifolium*; Nutrição mineral.

Abstract

The experiment evaluated the application of phosphatic fertilizers and bioactivator, verifying their effects on the components of cotton production. Two experiments were carried out, both with a randomized complete block design, in a factorial scheme (2x5 in experiment I and 3x5 in experiment II). The experiment I used 02 phosphatic sources with 05 doses of triple superphosphate 0, 72, 143, 214 and 286 kg ha⁻¹ and bioactivator 0, 300, 600, 900 and 1200 g ha⁻¹. Experiment II used 5 doses of magnesium thermophosphate (0, 133, 267, 533 and 1067 kg ha⁻¹), triple superphosphate (0, 57, 114, 228 and 455 kg ha⁻¹) and bioactivator (0, 240, 480, 960 and 1920 g ha⁻¹). All analyzes were performed with the aid of SAS®. The data were submitted to analysis of variance and compared by means of the Tukey test, 5% probability for comparison between sources and regression analysis for the doses. Phosphate fertilizer and bioactivator applications, in both conditions studied, did not influence the characteristics evaluated (mean mass of the bush, mass of 100 seeds and yield of fibers). In soils with low phosphorus content, the bioactivator and triple superphosphate presented similar behavior on the yield of cotton. The bioactivator, in soils with high phosphorus content, provided the maximum productivity with the dose 900 g ha⁻¹ and the highest economic return with the dose of 870.87 g ha⁻¹. The thermophosphate, in soils with low phosphorus content, provided the maximum productivity in the dose of 96 kg ha⁻¹ of P₂O₅ and the highest economic return in the dose of 84.40 kg ha⁻¹ of P₂O₅.

Keywords: Cerrado; Mineral nutrition; Phosphorous; *Gossypium hirsutum* r. *latifolium*; Soil bioactivation.

Resumen

El experimento evaluó la aplicación de fertilizantes fosfatados y bioactivadores, verificando efectos sobre los componentes de la producción de algodón. Se realizaron dos experimentos, ambos con diseño experimental en bloques al azar, en esquema factorial (2x5 en el experimento I y 3x5 en el experimento II). En el experimento utilicé dos fuentes de fosfato con cinco dosis de superfosfato triple 0, 72, 143, 214 y 286 kg ha⁻¹ y bioactivador 0, 300, 600, 900 y 1200 g ha⁻¹. El Experimento II utilizó cinco dosis de termofosfato de magnesio (0, 133, 267, 533 y 1067 kg ha⁻¹), superfosfato triple (0, 57, 114, 228 y 455 kg ha⁻¹) y bioactivador (0, 240, 480, 960 y 1920 g ha⁻¹). Los análisis se realizaron utilizando SAS®. Los datos se sometieron a análisis de varianza y se compararon mediante la prueba de

Tukey al 5% de probabilidad para la comparación entre fuentes y análisis de regresión para dosis. Las aplicaciones de fertilizantes fosfatados y bioactivador, en las condiciones estudiadas, no influyeron en las características evaluadas (masa promedio de cápsulas, masa de 100 semillas y rendimiento de fibra). En suelos con bajo contenido de fósforo, el bioactivador y el superfosfato triple mostraron un comportamiento similar sobre la productividad del algodón. El bioactivador, en suelos con alto contenido de fósforo, proporcionó la máxima productividad con la dosis de 900 g ha⁻¹ y el mayor retorno económico con la dosis de 870,87 g ha⁻¹. El termofosfato, en suelos con bajo contenido de fósforo, proporcionó la máxima productividad con la dosis de 96 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y el mayor retorno económico con la dosis de 84,40 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Palabras clave: Bioactivación del suelo; Cerrado; Fósforo; *Gossypium hirsutum* r. *latifolium*; Nutrición mineral.

1. Introdução

O algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* r. *latifolium*), é uma espécie vegetal perene, entretanto é cultivada como cultura anual. Considerada uma cultura de grande importância socioeconômica para o país, especialmente para as regiões Nordeste e Centro Oeste, responsáveis por aproximadamente 96% da produção nacional (CONAB, 2019). É a fibra têxtil natural mais utilizada pelo homem e se caracteriza por ser uma celulose na sua forma quase pura. Além disso, a semente é rica em óleo e o caroço pode ser aproveitado para a alimentação animal (Carvalho, 1996 e CONAB, 2018).

Em relação à fertilidade do solo, o algodoeiro é uma espécie exigente em solos ricos de matéria orgânica, profundos, de textura média, permeáveis, bem drenados e de boa a alta fertilidade. Em geral, as plantas do algodoeiro precisam extrair do solo 69, 26, 73, 36, 27 e 6 kg/ha de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), respectivamente, para produzir 1.000 kg há⁻¹ de algodão em caroço. Para o cultivo do algodão em solos do Cerrado, que naturalmente são ácidos e de baixa fertilidade, há necessidade da correção da acidez bem como a aplicação de fertilizantes para viabilizar a produção nesses solos (Borin et al., 2017).

A região Centro-Oeste do país tem se destacado na produção do algodão, com uma produção superior a 200 mil toneladas (CONAB, 2019). Um aspecto fundamental é a correta nutrição mineral, o P tem relação direta com a produção do algodoeiro, pelo fato que os solos no Brasil são originalmente pobres deste nutriente, principalmente na região do Cerrado. O N e o K são tidos como elementos de interação, ou seja, carecem da presença do P para responder o seu próprio efeito (Staut & Athayde, 1999).

Dos macronutrientes mais importantes às plantas, o P é o elemento que limita mais frequentemente a produção das culturas na região do Cerrado. Isso, por apresentar-se em formas pouco disponíveis aos vegetais e pelas características de alta adsorção de P dos solos dessa região. Mesmo sendo exigido em pequenas quantidades pelo algodoeiro, têm se recomendado aplicações de quantidades elevadas de P para atender a demanda dos cultivos (Carvalho et al. 1995), principalmente quando os teores de P são menores que 6 mg dm⁻³ podendo ultrapassar 110 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para se obter uma boa produção (Aguilar et al. 2014).

Atualmente, um dos desafios da agricultura mundial é desenvolver uma agricultura sustentável, produzindo alimentos, fibras e energia em maior quantidade e qualidade, com o mínimo de impacto aos recursos naturais. Neste contexto, a utilização de tecnologias e modelos de produção alternativos e inovadores, podem representar uma estratégia viável para produtores que buscam maiores lucros e uma produção sustentável (Trentin et al., 2014).

Em virtude dessa sustentabilidade na agricultura, empresas de insumos agrícolas têm utilizado a tecnologia de bioativação natural em seus produtos. O bioativador de plantas e de solo tem capacidade em gerar o aumento de efeitos benéficos ao vigor das plantas, com equilíbrio entre solo/planta, por meio do reaproveitamento dos fertilizantes aplicados ou da fertilidade pré-existente no solo. Age na disponibilização do fósforo fixado não liberado às plantas e promove o reequilíbrio de microrganismos fornecendo maior energia no processo fotossintético (Cruz et al., 2015).

Tendo em vista as dificuldades para produção agrícola no Cerrado, onde a disponibilidade de P no solo nem sempre é encontrada por características intrínsecas da região, objetivou-se avaliar a aplicação de fertilizantes fosfatados e bioativador,

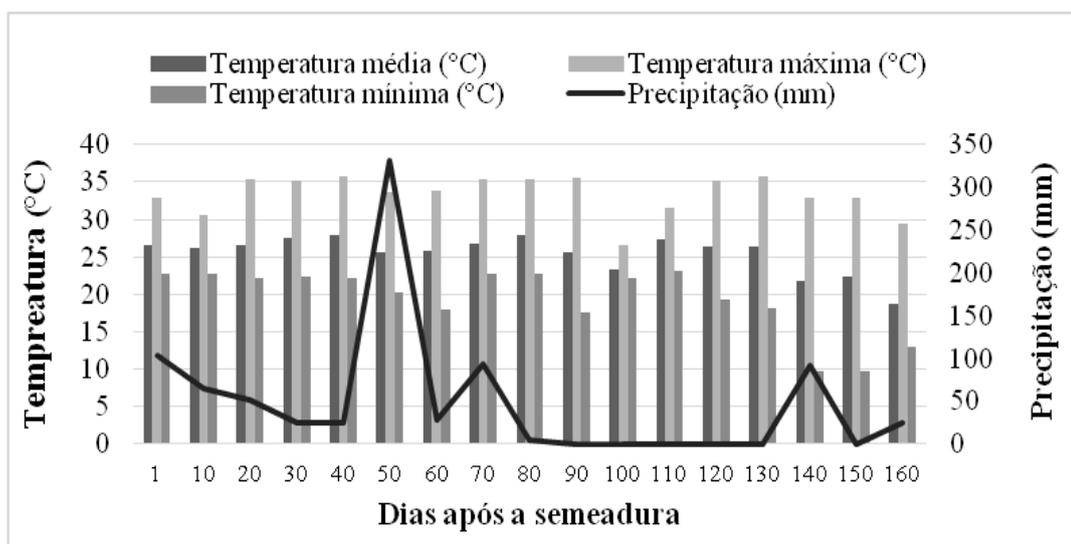
verificando seus efeitos nos componentes de produção do algodoeiro.

2. Metodologia

O estudo foi conduzido na Unidade Universitária de Aquidauana da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, com coordenadas geográficas 20°28' S, 55°40' W e altitude média de 191 metros, o clima da região, segundo classificação de Köppen, é do tipo Aw (tropical úmido), com precipitação pluviométrica média anual de 1.400 mm com temperatura do ar máxima de 33°C e mínima de 19°C (havendo concentração de chuvas de novembro a fevereiro), sobre um Argissolo Vermelho distrófico, A moderado, textura média/argilosa.

Amostras de solo foram coletadas antes da implantação do experimento, cujas análises químicas (RAIJ et al., 2001) e granulométricas (EMBRAPA, 1997) são apresentadas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente. As precipitações e temperaturas máximas e mínimas, registradas na área experimental durante o período de condução dos trabalhos, são apresentadas na Figura 1.

Figura 1 - Precipitação e médias de temperaturas (máximas e mínimas) a cada 10 dias após a semeadura, ao longo do período de condução dos experimentos.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 1 - Resultado da análise química do solo, antes da instalação dos experimentos, na região de Aquidauana/MS.

A/P	pH	P	MO	K	Ca	Mg	Al+H	Al	SB	T	V
cm		mg dm ⁻³	g dm ⁻³		-----cmolc dm ⁻³ -----						%
Exp I/0-20	5,14	75,20	16,02	0,30	2,65	1,10	1,61	0,00	4,05	5,66	71,55
Exp I/20-40	4,79	23,14	11,63	0,22	2,45	0,95	1,75	0,10	3,62	5,37	67,41
Exp II/0-20	4,46	5,87	14,54	0,23	1,75	1,00	2,26	0,19	2,98	5,24	56,87
Exp II/20-40	4,16	9,97	10,86	0,16	1,40	0,70	2,48	0,44	2,26	7,74	47,68

A/P (área e profundidade amostrada) = Exp I (Experimento I) e Exp II (Experimento II), com profundidade das amostras em cm; pH (CaCl₂). Fonte: Autoria própria.

Tabela 2 - Resultado da análise física do solo, antes da instalação dos experimentos, na região de Aquidauana/MS.

Área	Profundidade	Areia	Silte	Argila
	cm	-----g kg ⁻¹ -----		
Experimento I	00-20	690	60	250
Experimento I	20-40	620	100	280
Experimento II	00-20	650	140	210
Experimento II	20-40	620	130	250

Fonte: Autoria própria.

Foram realizados dois experimentos concomitantemente em duas áreas experimentais, uma com maior concentração de fósforo (75,20 mg dm⁻³), denominado experimento I, e outra com menor concentração (5,87 mg dm⁻³), denominado experimento II. A área experimental foi explorada com a pecuária por um longo tempo, em seguida foram realizados experimentos com a cultura do algodão, soja e deixada em pousio até a realização destes experimentos.

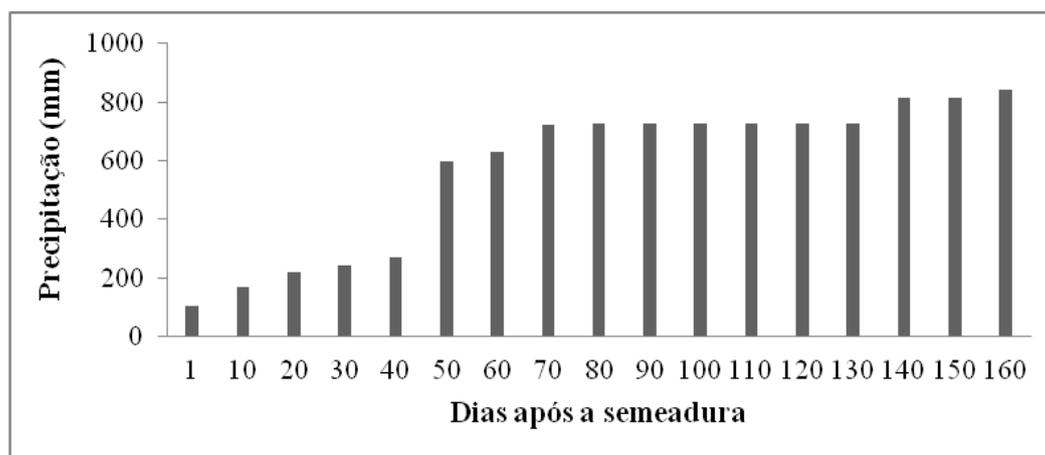
No experimento I, foram utilizados dois insumos distintos com cinco doses, sendo um fertilizante fosfatado, o superfosfato triplo, com doses 0, 72, 143, 214 e 286 kg ha⁻¹ (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ respectivamente) e o bioativador do solo com doses 0, 300, 600, 900 e 1200 g ha⁻¹. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2x5, com quatro repetições.

No experimento II, foram utilizados três insumos distintos com cinco doses, sendo dois fertilizantes fosfatados, o termofosfato magnésiano com doses 0, 133, 267, 533 e 1067 kg ha⁻¹ (0, 48, 96, 144 e 192 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e o superfosfato triplo com doses 0, 57, 114, 228 e 455 kg ha⁻¹ (0, 48, 96, 144 e 192 kg ha⁻¹ de P₂O₅), e o bioativador do solo com doses 0, 240, 480, 960 e 1920 g ha⁻¹. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 3x5, com três repetições.

O espaçamento entrelinhas do algodoeiro, em ambos os experimentos, foi de 0,90 m. No experimento I cada unidade experimental foi composta por seis linhas de cultivo, com cinco metros de comprimento, sendo área útil quatro linhas centrais da parcela desconsiderando 0,5 m das extremidades. No experimento II, cada unidade experimental foi composta por cinco linhas de cultivo, com cinco metros de comprimento, sendo área útil três linhas centrais da parcela desconsiderando 0,5 m das extremidades. Aos 15 dias após a emergência (DAE) e estabelecimento das plantas, estas foram desbastadas, deixando-se 9 plantas por metro em todos os tratamentos.

Os dados pluviográficos e as temperaturas foram obtidos da estação agrometeorológica automatizada da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – Unidade Universitária de Aquidauana. A estação está situada no município de Aquidauana/MS entre as coordenadas 20°27'20" S e 55°40'17" W, com altitude aproximada de 191 m. Na Figura 2 é possível observar o acúmulo de precipitação a cada 10 dias após a semeadura até o fim do ciclo da cultura.

Figura 2 - Precipitação acumulada a cada 10 dias após a semeadura, ao longo do período de condução dos experimentos.



Fonte: Autoria própria.

A lavoura de algodão (*Gossypium hirsutum* r. *latifolium*) foi implantada em dezembro/2017. Os fertilizantes fosfatados foram distribuídos manualmente no sulco aberto com o trator. Em seguida, a semeadura foi realizada com auxílio da plantadeira manual, com tratamento das sementes de algodão utilizando-se fungicida Vitavax/Thiran 200 + 200 (100 + 100g i.a. para 100 kg semente) e inseticida Tiametoxam (210g i.a. para 100 kg semente). O controle de plantas daninhas, insetos-pragas e patógenos foram realizados conforme recomendações da EMBRAPA (2003) e de acordo com a necessidade da cultura durante o ciclo.

A adubação seguiu o preconizado por Araujo e Sofiatti (2016), com exceção para o P, pois o mesmo foi aplicado em doses pré-estabelecidas. Para adubação de cobertura foi utilizado 80 kg ha⁻¹ de N e 20 kg ha⁻¹ de K₂O, divididas igualmente em duas aplicações aos dias 25 e 56 DAE.

Aos 157 DAE foi realizada a colheita na área útil das parcelas, manualmente. A produtividade (kg ha⁻¹ de algodão em caroço) foi determinada após a colheita de todos os capulhos da área útil de cada parcela. Também foi avaliada massa média do capulho, massa de 100 sementes e rendimento de fibras.

A máxima eficiência técnica (MET) foi obtida conforme Rajj (1991), enquanto a máxima eficiência econômica (MEE) foi obtida através da derivação da equação de regressão entre a produção de algodão em caroço e as doses crescentes do produto, sendo possível calcular a dose mais econômica. Levando em conta a relação de troca, logo, têm-se: $dy / dx = a_1 + 2a_2x$ x = relação de troca (Natale et al. 2010). A dose mais econômica (x') foi calculada por:

$$x' = \frac{a_1 - \text{relação de troca}}{2 \cdot (-a_2)}$$

Para a realização do cálculo da dose econômica, utilizou-se o preço do produto em questão, para o presente estudo foi utilizado o preço pago pela tonelada de algodão em pluma pela indústria no ano de 2018. O preço do algodão em pluma foi calculado com os dados apresentados no CEPEA (2018), utilizando a média dos valores praticados em maio de 2018 (R\$ 3,5633 lb⁻¹ de algodão em pluma) equivalente à R\$ 7,8557 kg⁻¹ de algodão em pluma, enquanto o valor utilizado para o bioativador foi R\$ 0,4445 g⁻¹ e para o termofosfato magnésiano foi R\$ 22,66 kg⁻¹ de P₂O₅.

Com a dificuldade da variação cambial e da grande oscilação de preços pagos pela tonelada de algodão em caroço, optou-se por usar a relação de troca no lugar da moeda corrente, conforme utilizado por Natale et al. (2010). Com isso, o próprio algodão em caroço foi utilizado como moeda nos cálculos, utilizando a relação de R\$ gramas de bioativador

aplicado/R\$ kg de algodão em pluma paga pela indústria no ano de 2018. A relação de troca para o termofosfato magnésiano foi R\$ kg do adubo aplicado/R\$ kg de algodão em pluma.

Todas as análises foram realizadas com o auxílio do SAS (SAS Institute, 2002). Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas por meio do teste de Tukey, a 5% de probabilidade para comparação entre fontes e análise de regressão para as doses. Utilizou o teste W (Shapiro & Wilk, 1965) apresentando normalidade residual e o teste Bartlett, que expôs homogeneidade residual.

3. Resultados e Discussão

3.1 Experimento I: solo com alto teor de Fósforo

Neste experimento, independentemente das fontes utilizadas, ocorreu efeito das doses aplicadas na produtividade do algodão. Como pode ser observado na Tabela 3, todas as médias das variáveis massa média do capulho, massa de 100 sementes e rendimento de fibras não apresentaram diferença significativa.

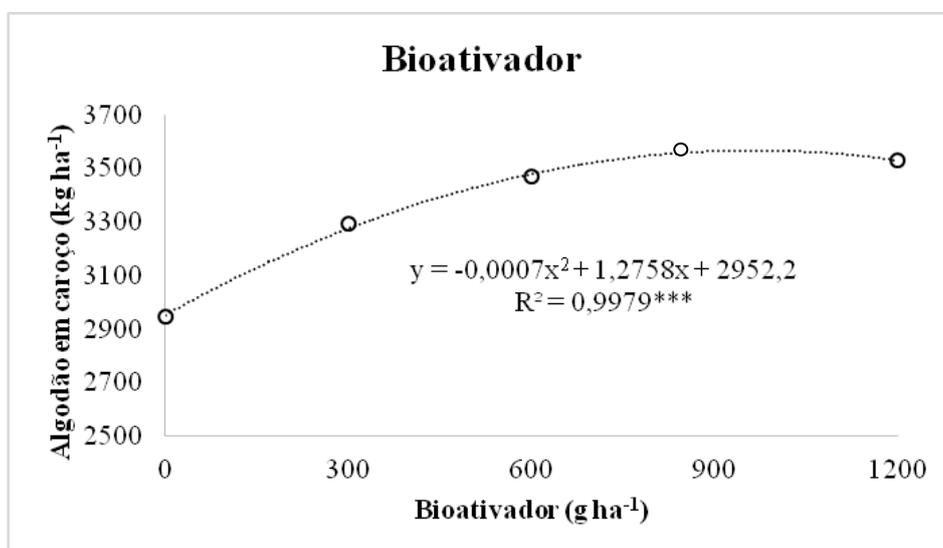
Tabela 3 - Médias e coeficientes de variação das variáveis respostas do experimento I dentro de cada fonte.

Variável	BIO	ST	Coeficiente de variação
Massa média do capulho (g)	3,45	3,71	19,66%
Massa de 100 sementes (g)	8,48	8,41	7,67%
Rendimento de Fibras (%)	50,48	51,29	2,46%

BIO = bioativador; ST = superfosfato tripla. Fonte: Autoria própria.

Quando analisada a fonte Bioativador (Figura 3), percebe-se um pequeno acréscimo conforme o aumento das doses. A dose estimada com máxima eficiência técnica foi 911,28 g ha⁻¹ que resultaria em uma produtividade de 3534 kg ha⁻¹ de algodão em caroço, média inferior à nacional, safra 2017/18, que foi de 4267 kg ha⁻¹ (CONAB, 2018). No entanto, a alta concentração de P nesta área experimental (Tabela 1) pode ter influenciado diretamente na redução da produtividade com aplicação do bioativador do solo, uma vez que segundo Cruz et al. (2015) essa tecnologia atua na ativação do fósforo não disponível para as plantas.

Figura 3 - Produtividade do algodão em caroço, experimento I, em função das doses de Bioativador aplicado no solo. Aquidauana-MS, safra 2017/18.



Fonte: Autoria própria.

Analisando a Tabela 4, percebe-se que a lavoura não recebeu as unidades necessárias de calor no estágio de crescimento da primeira flor ao primeiro capulho, emergência ao primeiro capulho, sendo necessárias unidades de calor de 850 e entre 1575-1675 respectivamente (Rosolem, 2001) e passou por um período de aproximadamente 50 dias sem precipitação (Figura 1), o que também pode ter influenciado de forma negativa na produtividade, pois a deficiência hídrica promove redução de número de folhas, altura das plantas e por consequência redução da produtividade (Cordão Sobrinho et al., 2007).

Tabela 4 - Número médio de dias e unidades de calor (UC) obtidos em diferentes estádios de crescimento durante o experimento I, na safra 2017/18, na região de Aquidauana, MS.

Estádios de crescimento	Número de dias	Unidades de calor ⁽¹⁾
Semeadura à emergência	6	80
Emergência ao primeiro botão	36	453
Primeiro botão à primeira flor	23	301
Emergência à primeira flor	59	754
Primeira flor ao primeiro capulho	54	650
Emergência ao primeiro capulho	113	1.379

¹⁾UC – Unidades de Calor acumuladas, calculadas por: $UC = [(T + t)/2 - 15]$, onde T = temperatura máxima diária; t = temperatura mínima diária; 15 = temperatura base (°C). Fonte: Autoria própria.

Conforme Cruz et al. (2015) em um experimento realizado com algodão na Fundação Bahia, no município de Luis Eduardo Magalhães/BA, alcançaram uma produtividade de 3675 kg ha⁻¹ de algodão em caroço, com uma aplicação de 1000 g ha⁻¹ de bioativador do solo. Muito similar com o resultado atingido por esse estudo, onde a máxima eficiência técnica na produtividade foi de 3534 kg ha⁻¹ de algodão em caroço.

Para o algodoeiro, o estabelecimento da dose mais econômica do bioativador, utilizou a relação de troca para o presente estudo (R\$ g de bioativador aplicado/R\$ kg algodão produzido) estimada em 0,05658. A dose, calculada à partir dos parâmetros da regressão apresentada na Figura 1 e na relação de troca, foi calculada da seguinte maneira:

$$x' = \frac{1,2758 - 0,05658}{2 \cdot (-0,0007)} = 870,87 \text{ g ha}^{-1}$$

A dose econômica foi inferior à dose de máxima produtividade, correspondendo aproximadamente 96% da dose. A receita estimada pela aplicação da dose 870,87 g ha⁻¹ de bioativador, utilizando a média dos valores praticados em maio no CEPEA (2018) (R\$ 7,8557 kg⁻¹ de algodão em pluma) será de R\$ 14.006,71 ha⁻¹ (produtividade de 1783 kg ha⁻¹ de algodão em pluma), no entanto, o incremento na receita é baixo aplicando a dose de máxima produtividade (911,28 g ha⁻¹), correspondendo a R\$ 15,71 ha⁻¹. O custo de produção para algodão em pluma utilizando a dose mais econômica seria de R\$ 6.682,68 ha⁻¹ (CONAB 2018), o que torna rentável a produção de algodão nas condições estudadas.

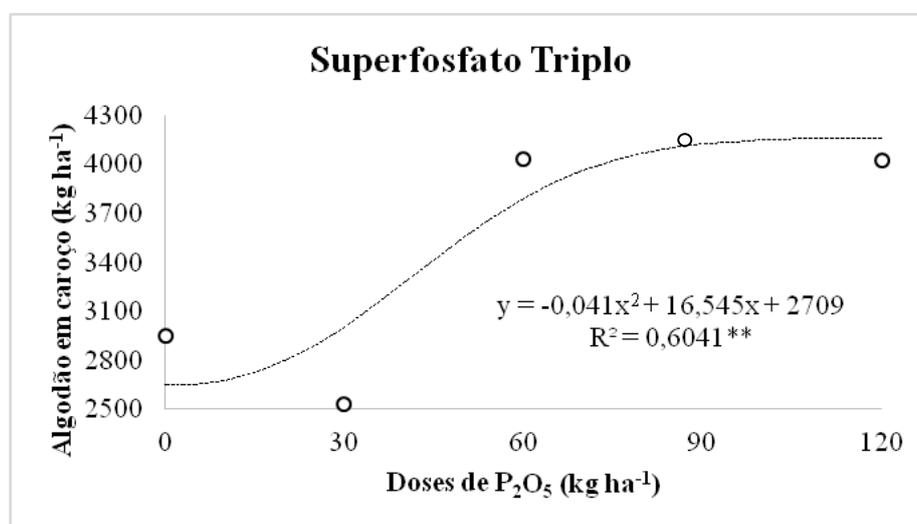
A produtividade estimada com a dose econômica (870,87 g ha⁻¹ de bioativador) está próxima da produtividade técnica máxima possível (911,28 g ha⁻¹ de bioativador). Resultados similares foram encontrados por Resende et al. (2016) em efeito de doses de P na produtividade e armazenamento pós-colheita de dois cultivares de cebola, onde a dose econômica representou 98,5% da dose de máxima produtividade.

O superfosfato triplo, também apresentou efeitos de dose na produtividade do algodão em caroço (Figura 4). A dose com máxima eficiência técnica estimada foi 202 kg ha⁻¹ de P₂O₅, que responderia com uma produtividade de 4378 kg ha⁻¹ de algodão em caroço, valor superior à média nacional safra 2017/18 4267 kg ha⁻¹ de algodão em caroço (CONAB, 2018). Porém

a produtividade se estabiliza, não ocorrendo declínio ou acréscimo mesmo aumentando a dose. Essa produtividade está abaixo dos resultados obtidos por Batista et al. (2010) em um trabalho realizado em Januária/MG, onde a lavoura alcançou uma produtividade de 4894 kg ha⁻¹ com aplicação de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Kaneko et al. (2011) em um experimento realizado na região de Chapadão do Sul-MS, concluíram ser indiferente as doses de adubação fosfatada em solos com altos teores de P. A dose de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de superfosfato triplo, utilizada nesse estudo resultou em uma produtividade de 4104 kg ha⁻¹ de algodão em caroço. Bem como, Santos et al. (2012) no Cerrado da Bahia, em solo de textura média, com teor médio de P, concluíram que a cultura do algodoeiro não responde adubação fosfatada nessas condições.

Figura 4 - Produtividade do algodão em caroço, experimento I, em função das doses de superfosfato triplo aplicado no solo. Aquidauana-MS, safra 2017/18.



Fonte: Autoria própria.

Os resultados positivos com o bioativador e adubação fosfatada, alcançados neste trabalho, estão totalmente ligados com as funções do P no metabolismo de desenvolvimento do algodoeiro. O P é componente estrutural de macromoléculas, como adenosina trifosfato (ATP) e ácidos nucleicos e fosfolípidos. Com papel essencial na divisão celular e integrado à estrutura química de compostos fundamentais ao metabolismo vegetal, sendo importante ao crescimento das partes aérea e radicular das plantas (Malavolta, 2006).

3.2 Experimento II: solo com baixo teor de Fósforo

Neste experimento, todas as médias da variável massa média do capulho, massa de 100 sementes e rendimento de fibras não apresentaram diferença significativa (Tabela 5).

Tabela 5 - Médias e coeficientes de variação das variáveis respostas do experimento II dentro de cada fonte.

Variável	BIO	TF	ST	Coefficiente de variação
Massa média do capulho (g)	3,61	3,99	3,81	18,57%
Massa de 100 sementes (g)	7,02	7,25	7,03	8,13%
Rendimento de Fibras (%)	47,75	49,54	46,80	32,63%

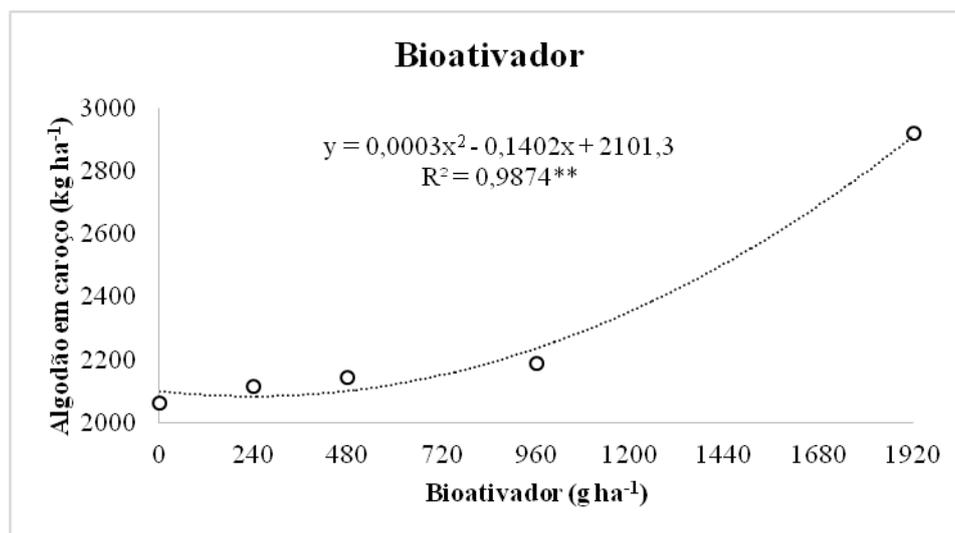
BIO = bioativador; TF = termofosfato magnésiano; ST = superfosfato triplo. Fonte: Autoria própria.

No entanto, ocorreram efeitos de dose, pois uma das doses do bioativador e do superfosfato triplo obteve um aumento significativo na produtividade do algodão em caroço comparada às demais (Figuras 5 e 6). A dose 1920 g ha⁻¹ de bioativador apresentou uma produtividade de 1403 kg ha⁻¹ de algodão em pluma, sendo a maior produtividade em relação às outras doses. Para alcançar essa produtividade o custo de produção para algodão em pluma será de R\$ 6.682,68 ha⁻¹ (CONAB 2018), no entanto, a receita alcançada será de R\$ 11.021,55 ha⁻¹.

Esse aumento na produtividade, comparado às outras doses, pode ser explicado pelo fato que esta área experimental possui menor concentração de fósforo no solo, com isso o bioativador promoveu o aumento da disponibilidade de fósforo para a planta e a mesma respondeu em aumento da produtividade trazendo os padrões de qualidade e equilíbrio biológico mais próximo da necessidade da cultura em questão.

Morais et al. (2015) identificaram o aumento da atividade biológica do solo e plantas, revitalizando os processos ecológicos turbados, que são facilmente encontrados em nossas atuais áreas de cultivo (monocultura intensiva), onde o bioativador agiu em prol da causa e não da consequência de tais turbações na área de cultivo.

Figura 5 - Produtividade do algodão em caroço, experimento II, em função das doses de bioativador aplicado no solo. Aquidauana-MS, safra 2017/18.



Fonte: Autoria própria.

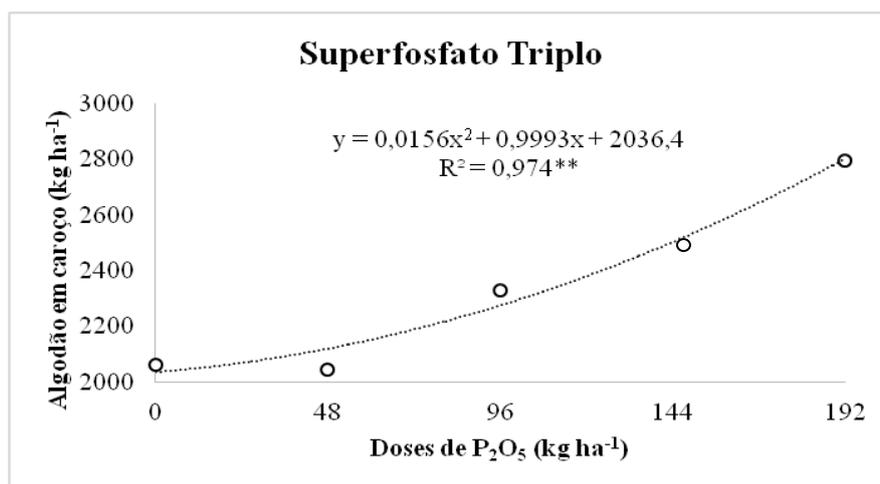
O uso dessa tecnologia de bioativação demonstrou resultados significativos neste experimento com a cultura do algodão (Figura 5). O bioativador do solo também promoveu incrementos em média de 6 a 8% nas produtividades de soja, em experimentos realizados em três Estados do país (MG, TO e GO). Segundo Cobucci (2015) associação do bioativador com a adubação de semeadura reduz o uso de adubos sem perdas na produção de soja.

Na cultura do café na região de Araguari/MG, o uso da tecnologia de bioativação do solo e da planta promoveu um aumento da produtividade em comparação à adubação convencional em 10 sacas beneficiadas/ha/ano. Outro ponto positivo foi a redução de 50% da recomendação de NPK (Fernandes et al., 2015).

A dose 1920 g ha⁻¹ de bioativador, resultou em uma produtividade de 2938 kg ha⁻¹ de algodão em caroço, valores não competitivos se comparada com a média da produtividade nacional para o ano de 2018 que foi 4267 kg ha⁻¹ de algodão em caroço (CONAB, 2018).

O superfosfato triplo, com a dose 192 kg ha^{-1} de P_2O_5 , obteve uma produtividade de algodão em caroço de 2803 kg ha^{-1} , o que também não é uma média competitiva em relação à produtividade do país ou das regiões com maiores produções. No entanto, é significativo o acréscimo na produtividade comparada às outras doses dentro dessa fonte de P para uma lavoura na região do Cerrado (Figura 6).

Figura 6 - Produtividade do algodão em caroço, experimento II, em função das doses de superfosfato triplo aplicado no solo. Aquidauana-MS, safra 2017/18.



Fonte: Autoria própria.

Essa baixa produtividade, mesmo aplicando 192 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 6), pode ser explicada pelo fato que originalmente solos em regiões de Cerrado possuem baixos teores de fósforo, com isso, ao se aplicar adubações fosfatadas, os solos “tendem” a funcionar como “dreno” de P, o tornando não disponível para as plantas, devido a presença abundante de sesquióxidos e óxidos de ferro e alumínio (Novais & Smyth, 1999). O pH e a falta de Ca no solo também podem ter influenciado na produtividade, pois tais características comprometem o desenvolvimento das raízes do algodoeiro e regiões de cultivo com textura argilosa ou compactada formam uma barreira física, ocasionando impedimento na máxima eficiência do sistema radicular (Rosolem et al. 2006).

Outro fato que pode ter associação a essa baixa produtividade foi que durante o ciclo de desenvolvimento do experimento ocorreu um período de aproximadamente 50 dias sem precipitação (Figura 1). Plantas de algodão submetidas a estresse hídrico apresentaram inferioridade em altura de planta, área foliar, fitomassa e por consequência ocorreu redução na produtividade (Silva et. al., 1998).

O experimento também recebeu excesso de unidades de calor nos estádios de crescimento sementeira à emergência e emergência ao primeiro botão (Tabela 6), onde as unidades de calor necessárias são entre 50-60 e 425-475 respectivamente (Rosolem, 2001). Característica contrária ocorreu para os estádios primeiro botão à primeira flor, primeira flor ao primeiro capulho e emergência ao primeiro capulho, o experimento não recebeu as unidades de calor suficientes para seu pleno desenvolvimento, sendo necessárias unidades entre 300-350, 850 e 1575-1675 respectivamente (Rosolem, 2001).

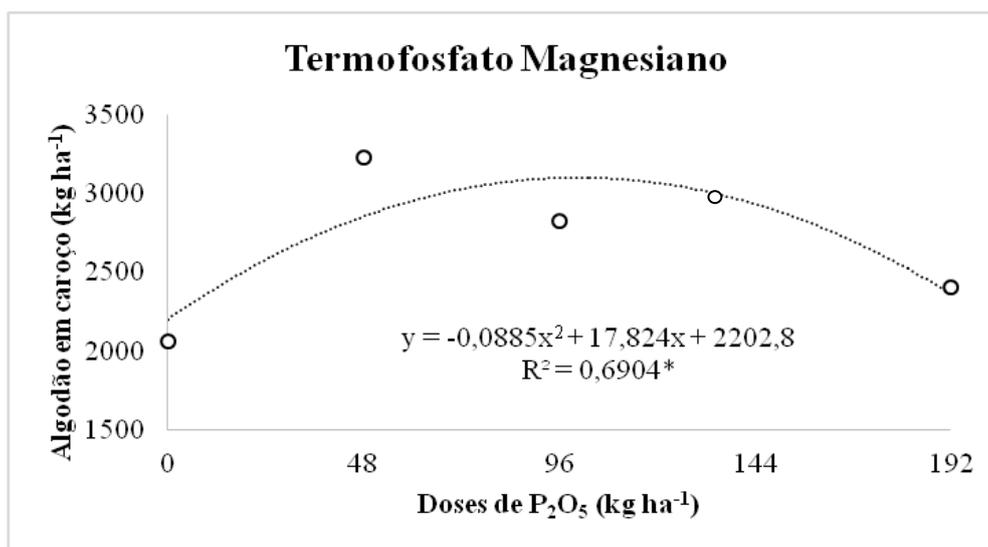
Tabela 6 - Número médio de dias e unidades de calor (UC) obtidos em diferentes estádios de crescimento durante o experimento II, na safra 2017/18, na região de Aquidauana, MS.

Estádios de crescimento	Número de dias	Unidades de calor ⁽¹⁾
Semeadura à emergência	6	80
Emergência ao primeiro botão	43	549
Primeiro botão à primeira flor	16	205
Emergência à primeira flor	59	754
Primeira flor ao primeiro capulho	54	650
Emergência ao primeiro capulho	113	1.379

¹⁾UC – Unidades de Calor acumuladas, calculadas por: $UC = [(T + t)/2 - 15]$, onde T = temperatura máxima diária; t = temperatura mínima diária; 15 = temperatura base (°C). Fonte: Autoria própria.

O termofosfato magnésiano apresentou uma curva de resposta na produtividade de algodão em caroço quando houve aumento da dose aplicada desta fonte de P. A dose estimada com máxima eficiência técnica para essa fonte foi 101 kg ha⁻¹ de P₂O₅ com produtividade alcançando valores de 3100 kg ha⁻¹ de algodão em caroço, porém ao aumentar a dose para 144 e 192 kg ha⁻¹ de P₂O₅ reduziu a produtividade para 2934 e 2363 kg ha⁻¹ de algodão em caroço respectivamente.

Figura 7 - Produtividade do algodão em caroço, experimento II, em função das doses de termofosfato magnésiano aplicado no solo. Aquidauana-MS, safra 2017/18.



Fonte: Autoria própria.

O estabelecimento da dose mais econômica do termofosfato magnésiano para o algodoeiro foi encontrada utilizando-se a relação de troca para o presente estudo (R\$ kg de termofosfato magnésiano aplicado/R\$ kg algodão produzido) estimada em 2,88453. A dose foi calculada da seguinte maneira:

$$x' = \frac{17,824 - 2,88453}{2 \cdot (-0,0885)} = 84,4037 \text{ kg ha}^{-1}$$

A dose mais econômica corresponde aproximadamente 84% à dose de máxima produtividade. A receita estimada pela aplicação da dose 84,40 kg ha⁻¹ de termofosfato magnésiano será de R\$ 11.972,09 ha⁻¹ (produtividade de 1524 kg ha⁻¹ de algodão em pluma), porém, o incremento na receita não é significativo ao se aplicar a dose de máxima eficiência técnica (101 kg ha⁻¹), correspondendo a R\$ 94,27 ha⁻¹. O custo de produção para algodão em pluma utilizando a dose 84,40 kg ha⁻¹ de

termofosfato magnésiano seria de R\$ 5.711,95 ha⁻¹ (CONAB, 2018), ou seja, cobre os gastos e responde em lucros ao agricultor. Resultados semelhantes foram obtidos por Bernardino et al. (2013), onde encontraram uma dose econômica correspondente a 70% da dose de máxima produtividade com adubação de potássio no algodoeiro.

4. Conclusão

As aplicações de fertilizantes fosfatados e bioativado, em ambas as condições estudadas, não influencia nas características da planta: massa média do capulho, massa de 100 sementes e rendimento de fibras.

Em solos com alto teor de fósforo, o bioativador apresentou resposta à produtividade com pequeno incremento e o superfosfato triplo proporcionou acréscimos na produtividade a partir da dose de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅

O bioativador, em solos com alto teor de fósforo, proporcionou a máxima produtividade com a dose 900 g ha⁻¹, o maior retorno econômico com a dose de 870,87 g ha⁻¹ e lucros com uma margem de 49,53%.

Em solos com baixo teor de fósforo, o bioativador e o superfosfato triplo apresentaram comportamento semelhante sobre a produtividade do algodoeiro.

O termofosfato, em solos com baixo teor de fósforo, proporcionou a máxima produtividade na dose de 96 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e o maior retorno econômico na dose de 84,40 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Referências

- Aguiar, A. T. da E., Gonçalves, C., Paterniani, M. E. A. G. Z., Tucci, M. L.S., & Castro, C. E. F. de. (2014). *Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas*. Campinas-SP: Instituto Agronômico de Campinas, (7a ed.), 452p. (Boletim 200).
- Araujo, A. M. & Sofiatti, V. (2016). Correção e adubação – Algodão herbáceo no Cerrado. 2016. https://www.spo.cnpia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducao16_1gal1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-762_93187_sistemaProducaoId=7_718&p_r_p_-996514994_topicoId=10617.
- Bernardino, J. C., Zardin, A. R., Rufino, R. M., Oliveira, B. L. de, Silva, A. C. da R., & Camacho, M. A. (2013). Dose econômica de potássio na produção da variedade FMT 705 de algodoeiro herbáceo. In: XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Florianópolis-SC, 2013, 4p. <https://www.sbcs.org.br/cbcs2013/anais/arquivos/2644.pdf>.
- Batista, C. H., Aquino, L. A. de, Silva, T. R., & Silva, H. R. F. (2010). Crescimento e produtividade da cultura do algodão em resposta a aplicação de fósforo e métodos de irrigação. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, Fortaleza-CE, 4(4), 197-206, 2010.
- Borin, A. L. D. C., Ferreira, G. B., Medeiros, J. da C., & Carvalho, M. da C. S. (2017). Sistema de produção: cultura do algodão no Cerrado. Embrapa Algodão, (2ed.). Brasília/DF, junho 2017.
- Carvalho, P. P. (1996). *Manual do Algodoeiro*. Lisboa, Instituto de Investigação Científica Tropical, 1996. 282p.
- Carvalho, A. M. de, Fageria, N. K., Oliveira, I. P. de & Kinjo, T. (1995). Resposta do feijoeiro à aplicação de fósforo em solos dos cerrados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 19(1), 61-67. 1995.
- CEPEA, 2018. (2019). Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/indicador/algodao.aspx>.
- Cobucci, T. (2019). Efeito do Penegetic® Pflanzen e Penegetic® Kompost na produção de soja. *Revista de Resultados Penegetic®*, 2015, p.103. https://issuu.com/penegetic_brasil/docs/revista_resultados_penegetic_portu.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. (2018). *Perspectivas para a agropecuária*. Safra 2018/19, 6, 1-112.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. (2018). *Acompanhamento da safra brasileira de grãos*, 12, safra 2017/18, Brasília, 1-148.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. (2018). Os resultados da safra 2017/18: A receita bruta e líquida operacional dos produtores de algodão, amendoim e soja. Brasília, p. 1-85, 2018.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. (2019). *Acompanhamento da safra brasileira de grãos*, v.6, safra 2018/19, Brasília, 1-145.
- Cordão Sobrinho, F. P., Fernandes, P. D., Beltrão, N. E. de M., Soares, F. A. L., & Terceiro Neto, C. P. C. (2007). Crescimento e rendimento do algodoeiro BRS-200 com aplicações de cloreto de mepiquat e lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 11, 284-292, 2007.
- Cruz, F. A. B. da, Fabris, A., Lima, E. M., Ernesto, C. & Silva, A. S. (2015). Efeito do Penegetic® P e K na Cultura do Algodão. Boletim Divulgação dos Resultados de Pesquisas Safra 14/15. Setembro 2015, p.19.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2003). *Cultivo do algodão irrigado: adubação e correção*. Embrapa Algodão, 2003.

- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (1997). *Manual de métodos de análise de solos*. (2a ed.). SNLCS/EMBRAPA, 1997. 212p.
- Fernandes, A. L. T., Santinato, R., Silva, R. O & Teixeira, A. N. (2017). Estudo da viabilidade de disponibilização do potássio e fósforo em solos de cerrado com a utilização do Penegetic®. UNIUBE, 2015. http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/36975793/Estudo_da_viabilidade_de_disponibilizacao_de_potassio_e_fosforo_ACA_2013.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1492974262&Signature=weHBCZtHk8p4ZXAjd9iZqX03fM%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3Dpenegetic.pdf.
- Goedert, W. J., Lobato, E., & Lourenço, S. (1997). *Nutrient use efficiency in brasilian acid soils: Nutrient management and plant efficiency*. In: Moniz, A.C. et al. Plant-soil interactions at low pH. Brasília: SBCS, 1997. p.97-104.
- Kaneko, F. H., Holanda, H. V. de, Leal, A. J. F., Roque, C. G., Dias, A. R., & Franzote, F. H. (2011). Resposta do algodão adensado a doses de fósforo na “região dos chapadões”. In: 8º Congresso Brasileiro de Algodão & I Cotton Expo 1., 2011, São Paulo-SP. Evolução da cadeia para construção de um setor forte: Anais. Campina Grande-PB: Embrapa Algodão, 2011. p.1676-1681.
- Malavolta, E. (2006). Manual de nutrição de plantas., Agrônômica Ceres. 2006 638p.
- Marur, C. J., & Ruano, O. (2001). A reference system for determination of developmental stages of upland cotton. Rev. Ol. Fibras., Campina Grande, 5(2), 313-317, 2001.
- Morais, R. M. de, Steffen, G. P. K., Maldaner, J., Saldanha, C. W. & Steffen, R. B. (2015). Promoção da atividade biológica do solo por manejo alternativo. Memórias del V Congreso Latinoamericano de Agroecología. A1-525, 2015, 6p.
- Natale, W., Rozane, D. E., Prado, R de M., Romualdo, L. M., Souza, H. A. de, & Hernandez, A. (2010). Viabilidade econômica do uso do calcário na implantação de pomar de goiabeiras. Ciênc. Agrotec., Lavras, 34(3), 708-713, maio/jun., 2010.
- Novais, R. F., & Smyth, T. J. (1999). Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa-MG: Universidade Federal de Viçosa, DPS, 1999. 399p.
- Raij, B. (1991). *Fertilidade do solo e adubação*. Editora Agrônômica Ceres, 1991. 343p.
- Resende, G. M. de, Costa, N. D., & Yuri, J. E. (2016). Efeito de doses de fósforo na produtividade e armazenamento pós-colheita de dois cultivares de cebola. Rev. Ceres, Viçosa, 63(2), 249-255, mar/abr, 2016.
- Rosolen, C. A. (2001). Ecofisiologia e manejo da cultura do algodoeiro. *Informações Técnicas*, Piracicaba, (95), 201. Encarte Técnico, Piracicaba, (95), 1-9, set. 2001.
- Santos, F. C. dos, Filho, M. R. de A., Novais, R. F. de, Ferreira, G. B., Carvalho, M. da C. S. & Silva Filho, J. L. da. (2019). Fontes, doses e formas de aplicação de fósforo para o algodoeiro no Cerrado da Bahia. Revista Ceres, 59(4). http://www.scielo.br/scielo.php?fibrVersion=2&script=sci_arttext&pid=S0034-737X2012000400015&lng=en&tlng=en.
- SAS INSTITUTE. (2002). SAS user's guide. Version 9.1. Cary: SAS Institute, 2002.
- Silva, B. B., Souza, C. B., Rao, T. V. R., Azevedo, P. V. & Sobrinho, J. E. (1998). Efeitos do déficit hídrico sobre a fenometria e tecnologia de fibra do algodoeiro herbáceo. Revista Brasileira Eng. Agrícola e Ambiental, Campina Grande, 2, 42-46, 1998.
- Shapiro, S. S. & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality: complete samples. Biometrika, 52, 591-611, 1965.
- Soares, J. J., Lara, F. M., Silva, C. A. D., Almeida, R. P. & Wanderley, D. S. (1999). Influência da posição do fruto na planta sobre a produção do algodoeiro. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, 34, 755-759, 1999.
- Staut, L. A. & Athayde, M. L. F. (1999). Efeitos do fósforo e potássio no rendimento e em outras características agrônômicas do algodoeiro herbáceo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 34(10), 1839-1843.
- Trentin, E., Silveira, A. de O., Antonioli, Z. I., Jaques, R. J. S., Steffen, R. B., Steffen, G. P. K. & Bassaco, A. C. (2014). Efeito Bioativador do Penegetic® na atividade microbiana e qualidade do solo. UFSM, 2014. https://issuu.com/penegetic_brasil/docs/revista_resultados_penegetic_portu.