

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO PROF.^a CINOBELINA ELVAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
MESTRADO EM FITOTECNIA

**MORFOFISIOLOGIA DA SOJA SUBMETIDA A DIFERENTES FONTES DE
CALCÁRIO E FÓSFORO NO CERRADO PIAUIENSE**

ADANIEL SOUSA DOS SANTOS

BOM JESUS-PI

2016

MORFOFISIOLOGIA DA SOJA SUBMETIDA A DIFERENTES FONTES DE
CALCÁRIO E FÓSFORO NO CERRADO PIAUIENSE

ADANIEL SOUSA DOS SANTOS

Engenheiro Agrônomo

ORIENTADOR: PROF. DR. LEANDRO PEREIRA PACHECO

CO-ORIENTADOR: PROF. DR. JÚLIO CÉSAR AZEVEDO NÓBREGA

CO-ORIENTADOR: PROF. DR. RAFAEL FELIPPE RATKE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia-Fitotecnia da Universidade Federal do Piauí - UFPI, para obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração (Fitotecnia).

BOM JESUS-PI

2016

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Setorial de Bom Jesus
Serviço de Processamento Técnico

S237m Santos, Adaniel Sousa dos.
Morfofisiologia da soja submetida a diferentes fontes de calcário e fósforo no Cerrado piauiense. / Adaniel Sousa dos Santos. – 2016.

55 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina Elvas, Programa de Pós-graduação em Agronomia-Fitotecnia, Bom Jesus-PI, 2016.
Orientação: “Prof. Dr. Leandro Pereira Pacheco”.

1. Glycine max. 2. Acidez. 3. Adubação Fosfatada.
4. Latossolo amarelo. 5. Nutrientes. 6. Produtividade.
I. Título.

CDD 633.34

MORFOFISIOLOGIA DA SOJA SUBMETIDA A DIFERENTES FONTES DE
CALCÁRIO E FÓSFORO NO CERRADO PIAUIENSE

Por

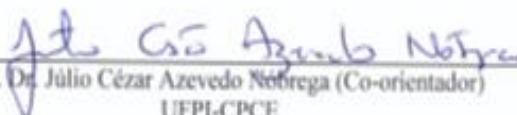
ADANIEL SOUSA DOS SANTOS

Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de
MESTRE EM AGRONOMIA – Fitotecnia, Área de Concentração (Produção Vegetal).

Aprovada em: 24 /02/2016



Prof. Dr. Leandro Pereira Pacheco (Orientador)
UFMT-ICAT



Prof. Dr. Júlio César Azevedo Nobrega (Co-orientador)
UFPI-CPCE



Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke (Co-orientador)
UFPI-CPCE



Prof. Dr. Francisco de Alcântara Neto (Examinador)
UFPI-CCA-DFI

A Deus por ter concedido esta grande vitória, pois “(...) os homens temam e reverenciem o Deus de Daniel. Pois ele é o Deus vivo e permanece para sempre; o seu reino não será destruído, o seu domínio jamais acabará.” **(Daniel, 6:26)**

A minha família em especial meus pais Areolino Alves dos Santos e Silvana Rodrigues de Sousa; meu filho Piêtro Daniel Medeiros Sousa e amigos em especial José Tiago da Silva Oliveira, pelos momentos de incentivo e compreensão, pelo amor e dedicação incondicional, sou muito grato a eles, por acreditarem em mim, pelo apoio e por terem sido minha base desde o início.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus por estar do meu lado em todos os momentos de alegrias, dificuldades e de superação, iluminando sempre os meus caminhos durante essa jornada;

Aos meus queridos pais, Areolino Alves dos Santos e Silvana Rodrigues de Sousa, por serem a essência de amor da minha vida, um exemplo de determinação, carinho, incentivo e companheirismo em toda essa caminhada;

As minhas irmãs Adriana Sousa dos Santos e Aline Sousa dos Santos e os meus sobrinhos Wellington, Wevérton, Wedson, João Pedro, Júlia e os meus cunhados José Antônio e João Batista, por sempre estarem ao meu lado me incentivando e me ajudando a alcançar esta grande vitória;

A minha esposa Lisânia de Castro Medeiros e o meu filho Piêtro Daniel Medeiros Sousa, pelo carinho e compreensão;

Ao meu orientador Professor Dr. Leandro Pereira Pacheco, grande pesquisador, um exemplo de dedicação à pesquisa, seriedade, competência, paciência, amizade e pelos valiosos ensinamentos contribuindo para o meu crescimento profissional. Obrigado por contribuir de uma forma imprescindível na minha vida profissional; pela excelente orientação, pelas cobranças, incentivo e convívio durante todo o meu período acadêmico;

A Universidade Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina Elvas (UFPI-CPCE) e aos docentes que contribuíram para esta caminhada em especial a Dra. Daniela Vieira Chaves, pela supervisão do Estágio em Docência, ao Dr. Fernandes Antônio Almeida, Dr. Rafael Felipe Ratke, Dr. Francisco de Alcântara Neto, Dr. Alexandre Faria da Silva e ao Dr. Fábio Mielezrski, pelo apoio, incentivo, aprendizado, amizade e confiança;

Aos colegas que ajudaram na realização prática do trabalho experimental, em especial João Batista, Wéverson, Tiago Calista, Aline, José Tiago, Joelma, Marinete e Rodrigo;

Ao Engenheiro agrônomo Rubens Prochnow e a fazenda Agropecuária Dois Irmãos pela instalação do experimento;

Aos meus colegas de Mestrado em especial João Batista, Farley Santana, Gabriel, Leonardo, Firmino, Alexandre, Vilmar, Tarciana, Glauciane, pelos momentos de aprendizagem constante ao longo desta caminhada;

Ao CNPq, pelo apoio no investimento do Projeto de Iniciação Científica;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudo concedida para o desenvolvimento do trabalho.

A coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Fitotecnia da Universidade Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina Elvas (UFPI/CPCE), pela oportunidade de me tornar Mestre em Agronomia-Fitotecnia.

A minha Comadre Ediane e a todas as pessoas que sempre estiveram ao meu lado contribuindo para essa conquista.

Muito Obrigado!

BIOGRAFIA DO AUTOR

Adaniel Sousa dos Santos, filho de Areolino Alves dos Santos e Silvana Rodrigues de Sousa, natural de Bom Jesus, Piauí. Reside na cidade de Currais, onde realizou o primário, ensino fundamental e ensino médio na Escola Jorge Rodrigues dos Santos. Em setembro de 2007, iniciou o curso de Bacharelado em Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal do Piauí – Campus Professora Cinobelina Elvas (UFPI/CPCE) graduando-se em 2013.1. Durante sua graduação foi bolsista de Iniciação Científica Voluntária, no qual participou dos projetos de Plantas de Cobertura no Controle de Culturas de Cereais e Fisiologia da Soja e Proteção de Plantas Cultivadas. Além disso, foi monitor voluntário da disciplina Fisiologia Vegetal. Em 28 de maio de 2013 colou grau na UFPI. Em março de 2014 iniciou o Mestrado na Universidade Federal do Piauí, no curso de Agronomia-Fitotecnia com ênfase em Fisiologia e Proteção de Plantas. Ministrou aulas de Fisiologia Vegetal no Estágio em Docência no curso de Bacharelado em Engenharia Agrônômica. No dia 24 de fevereiro de 2016 apresentou e defendeu sua dissertação de Mestrado concluindo uma importante fase de sua vida.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	i
GENERAL ABSTRACT.....	ii
LISTA DE TABELAS.....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	iv
CAPÍTULO I	5
1. INTRODUÇÃO GERAL	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1 A Cultura da Soja no Brasil.....	7
2.2 Principais Características dos Calcários e seu Efeito no Desenvolvimento da Soja.....	8
2.3 Disponibilidade de Nutrientes em Função da Calagem	11
2.4 Principais Características dos Fertilizantes Fosfatados.....	13
2.5 Importância da Adubação Fosfatada na Soja	14
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17
4. CAPÍTULO II-.....	23
MORFOFISIOLOGIA DA SOJA SUBMETIDA A DIFERENTES FONTES DE CALCÁRIO NO CERRADO PIAUIENSE	23
4.1 Introdução	25
4.2 Material e Métodos.....	27
4.2.1 Localização do experimento.....	27
4.2.2 Condução do experimento.....	27
4.2.3 Variáveis analisadas	29
4.2.4 Análise estatística.....	30
4.3 Resultados e Discussão	31
4.4 Conclusões	37
4.5 Referências bibliográficas	38
5. CAPÍTULO III	41
MORFOFISIOLOGIA DA SOJA SUBMETIDA A DIFERENTES FONTES DE FÓSFORO NO CERRADO PIAUIENSE	41
5.1 Introdução	43
5.2 Material e Métodos.....	45
5.2.1 Localização do experimento.....	45
5.2.2 Condução do experimento.....	46
5.2.3 Variáveis analisadas	47
5.2.4 Análise estatística.....	48
5.3 Resultados e discussão	49

5.4 Conclusões	53
5.5 Referências bibliográficas	54

RESUMO GERAL

SANTOS, ADANIEL SOUSA. **Morfofisiologia da soja submetida a diferentes fontes de calcário e fósforo no Cerrado piauiense.** 2016. 55 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Fitotecnia) – Universidade Federal do Piauí, PI¹.

O objetivo deste trabalho foi avaliar características morfofisiológicas da cultura da soja (*Glycine max*) sob diferentes fontes de calcário e fósforo no Cerrado piauiense. Os experimentos foram realizados na Fazenda Agropecuária Dois Irmãos (Serra do Quilombo), no município de Bom Jesus-PI. Foi implantado um experimento utilizando-se diferentes fontes de calcário e outro com diferentes fontes de fertilizantes fosfatados, durante duas safras agrícolas (2013/14 a 2014/15). Na condução do experimento com calcário, o delineamento experimental foi em blocos casualizados, sendo que os tratamentos constaram de quatro fontes de calcário (Minasul, Ibitirama; Cincal e Ceará), mais uma testemunha sem calcário, com quatro repetições em dois anos agrícolas. Foram avaliados o estande das plantas, teor de clorofila, índice de clorofila, fitomassa seca aérea, radiação fotossinteticamente ativa, eficiência da radiação fotossinteticamente ativa, número de ramos, número de legumes por planta, massa de mil grãos e produtividade dos grãos. Todas as fontes de calcário apresentam aumento das características morfofisiológicas da soja. Todas as fontes de calcário foi de fundamental importância para maximizar a produtividade de grãos da cultura da soja, com maior destaque na safra 2014/15, independentemente se realizada com calcário calcítico ou dolomítico e com corretivos de granulometria mais fina ou mais grossa. O experimento com fósforo foi conduzido em delineamento experimental com blocos casualizados, sendo que os tratamentos constaram de quatro fontes de fósforo (o superfosfato simples (SSP), o superfosfato triplo (SPT), fosfato natural reativo (FNR) e o fosfato natural reativo + enxofre (FNR+S)), mais uma testemunha com calcário cincal, com quatro repetições, perfazendo-se 20 parcelas (25m x 12m). O experimento foi implantado na safra agrícola 2012/13 e as avaliações foram realizadas durante as safras 2013/14 e 2014/15. Foram avaliados o estande das plantas, teor de clorofila, índice de clorofila, fitomassa seca aérea, radiação fotossinteticamente ativa, eficiência da radiação fotossinteticamente ativa, número de ramos, número de legumes por planta, massa de mil grãos e produtividade dos grãos. As fontes de fósforo SSP, SPT, FNR e FNR+S influenciam positivamente nas variáveis do estágio fenológico de florescimento e de produção da soja, com aumento do estande de plantas, índice de área foliar, eficiência da RFA, peso de mil grãos e produtividade. A fonte de fósforo SSP é a mais eficiente, com aumento em todas as características morfofisiológicas da soja.

Palavras-chave: *Glycine max*, acidez, adubação fosfatada, latossolo amarelo, nutrientes, produtividade.

GENERAL ABSTRACT

SANTOS, ADANIEL SOUSA. Morphophysiology of soybean submitted to different sources of limestone and phosphorus in the Cerrado of Piauí. 2016. 55 p. Dissertation (Master degree in Agronomy - Phytotechny) - Federal University of Piauí, PI².

The objective of this work was to evaluate the morphological characteristics of soybean (*Glycine max*) under different sources of limestone and phosphorus in the Cerrado of Piauí. The experiments were carried out at Fazenda Agropecuária Dois Irmãos (Serra do Quilombo), in the municipality of Bom Jesus-PI. An experiment was implemented using different sources of limestone and another with different sources of phosphate fertilizers, during two agricultural crops (2013/14 to 2014/15). The experimental design was a randomized complete block design, with four treatments (Minasul, Ibitirama, Cincal and Ceará), plus one non-limestone control, with four replications in two years. The plant stand, chlorophyll content, chlorophyll index, aerial dry biomass, photosynthetically active radiation, photosynthetically active radiation efficiency, number of branches, number of vegetables per plant, mass of one thousand grains and grain yield were evaluated. All limestone sources present an increase in the morphological characteristics of soybean. All sources of limestone were of fundamental importance to maximize the grain yield of the soybean crop, especially in the 2014/15 harvest, regardless of whether it was carried out with calcitic or dolomitic limestone and with thinner or thicker grain size correctives. The phosphorus experiment was conducted in a randomized complete block design, and the treatments consisted of four sources of phosphorus (single superphosphate (SSP), triple superphosphate (SPT), natural reactive phosphate (FNR) and natural reactive phosphate + Sulfur (FNR + S)), plus one control with Cincal limestone, with four replicates, making 20 plots (25m x 12m). The experiment was implemented in the 2012/13 crop season and the evaluations were carried out during the 2013/14 and 2014/15 seasons. The plant stand, chlorophyll content, chlorophyll index, aerial dry biomass, photosynthetically active radiation, photosynthetically active radiation efficiency, number of branches, number of vegetables per plant, mass of one thousand grains and grain yield were evaluated. The sources of phosphorus SSP, SPT, FNR and FNR + S positively influence the variables of the phenological stage of flowering and of soybean production, with increase of the plant stand, leaf area index, RFA efficiency, thousand grain weight and productivity. The source of phosphorus SSP is the most efficient, with an increase in all the morphological characteristics of soybean.

Key-words: *Glycine max*, acidity, phosphate fertilization, yellow latosol, nutrients, productivity.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO – II

Tabela 1 - Características químicas e granulométricas das diferentes fontes de calcário utilizadas em Latossolo Amarelo do Cerrado piauiense.....28

Tabela 2. Estande das plantas, teor de clorofila, índice de clorofila, fitomassa seca aérea, radiação fotossinteticamente ativa (RAF) e eficiência da radiação fotossinteticamente ativa em soja, cultivada em Latossolo Amarelo do Cerrado piauiense com diferentes fontes de calcário, nos anos agrícolas 2013/14 e 2014/15. Bom Jesus – PI, Brasil.....31

CAPÍTULO - III

Tabela 1- Médias para as variáveis no estágio fenológico de florescimento pleno da soja em função das fontes de fósforo nas safras 2013/14 e 2014/15.....49

Tabela 2. Índice de área foliar (IAF), estande de plantas (EP) e engalhamento (EG) de plantas de soja em função das fontes de fósforo.....50

Tabela 3- Médias para as variáveis do estágio fenológico de produção da soja em função das fontes de fósforo nas safras 2013/14 e 2014/15.....52

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO- II

Figura 1. Médias mensais de precipitação pluvial, ocorridas na Fazenda Agropecuária Dois Irmãos (Serra do Quilombo) nos anos agrícolas 2013/14 e 2014/15, durante a realização dos experimentos.....27

Figura 2. Número de ramos (A), número de legumes por planta (B), massa de mil grãos (C) e produtividade dos grãos (D) obtidos no ensaio fontes de calcário utilizadas em Latossolo Amarelo do Cerrado piauiense cultivado com soja, nos anos agrícolas 2013/14 e 2014/15. Bom Jesus – PI, Brasil. Médias seguidas de mesma letra maiúscula entre barras na mesma safra pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade. Data refer to mean values ($n = 4$) \pm standard error. CV – coeficiente de variação.....35

CAPÍTULO-III

Figura 2. Médias mensais de precipitação pluvial, ocorridas na Fazenda Agropecuária Dois Irmãos, nos anos agrícolas 2013/14 e 2014/15, durante a realização dos experimentos.....45

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO GERAL

A cultura da soja (*Glycine max (L.)*) originou-se na China, possui ampla adaptação nos climas subtropicais e tropicais, considerada uma das mais importantes leguminosas cultivadas no mundo (TEIXEIRA et al., 2008). Seu cultivo continua sendo a principal atividade responsável pela expansão da fronteira agrícola brasileira, principalmente nas regiões sob vegetação de Cerrado, com destaque para a região do sudoeste piauiense. Contudo, a implantação dessa cultura nas novas áreas de cultivo, tem requerido novas tecnologias e manejo cultural adequado, principalmente em função das condições edafoclimáticas específicas da região (PETTER et al., 2014). Além disso, favorecem produção, o que têm apontado esta região como uma das mais promissoras no cenário produtivo de soja, milho e arroz de terras altas do Brasil.

O manejo da fertilidade dos solos sob Cerrado é indispensável quando se busca a exploração agrícola de forma sustentável. Com isso, estudos tem sido realizado em várias regiões do Cerrado, visando a melhoria das condições da acidez dos solos (FONTES et al., 2001; ALCARDE & RODELLA, 2003), aumento da disponibilidade de P (SOUSA & LOBATO, 2004) e de outros nutrientes. No entanto, na região do Cerrado piauiense ainda são poucos os estudos avaliando o efeito dos corretivos e fertilizantes fosfatados nos atributos químicos e biológicos dos solos da região.

O cultivo da soja vem promovendo uma rápida expansão agrícola na região do Cerrado piauiense, sob sistemas de manejo convencional e plantio direto. Em decorrência da elevada expansão nas áreas de cultivo, são necessário procedimentos que viabilizem a utilização dos solos ácidos e com baixa disponibilidade de cátions predominantes na região, mediante o uso adequado de corretivos da acidez do solo e do fornecimento de nutrientes, especialmente os de baixo conteúdo, como o fósforo (P), uma vez que pouco se conhece sobre o comportamento tanto de corretivos de acidez quanto das fontes de fertilizantes fosfatados nos atributos dos solos da região.

Considerando as dificuldades enfrentadas pelos agricultores da região para identificar as melhores fontes de calcário e fósforo nos sistemas agrícolas, este trabalho teve como objetivo, avaliar os efeitos das diferentes fontes de calcários e fertilizantes

fosfatados nas características morfofisiológicas da cultura da soja no Cerrado do sudoeste do Piauí.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A Cultura da Soja no Brasil

O Brasil é atualmente o segundo maior produtor mundial de soja, superado apenas pelos Estados Unidos. Na safra 2014/15, a cultura teve destaque, apresentando acréscimo de 5,7% (1,73 milhão de hectares), estimada em 31,9 milhões hectares, seguida do milho segunda safra, com acréscimo de 1,3% (115,8 mil hectares), estimada em 9,33 milhões de hectares. Na região do MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia), apesar da inconstância climática durante as fases iniciais da lavoura, a posterior regularização das chuvas nas áreas produtoras, especialmente na Bahia, Piauí e Tocantins, contribuiu para que a produção regional fosse de 10,5 milhões de toneladas, representando um incremento de 20,9% em relação ao exercício anterior.

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) pertence à classe *Magnoliopsida*, ordem *Fabales*, família *Fabaceae*, gênero *Glycine*. Sendo uma planta anual com caule ereto, possui uma grande diversidade quanto ao ciclo de vida, podendo variar de 70 dias para as mais precoces, até 200 dias para as mais tardias.

A exploração da oleaginosa iniciou-se no sul do país devido ao poder de plasticidade e atualmente é encontrada nos mais diferentes ambientes, em virtude do avanço do cultivo em áreas de Cerrado. Nos anos 80, a soja liderou a implantação de uma nova civilização no Brasil Central (principalmente nos estados de Goiás e Mato Grosso), levando o progresso e o desenvolvimento para regiões despovoadas e desvalorizadas (FREITAS et al., 2011). Atualmente é uma das culturas anuais mais importante do Cerrado piauiense, cujo cultivo se encontra em processo de expansão, possuindo grande importância na geração de emprego e renda na região, uma vez que, as condições topográficas e clima são favoráveis à cultura (ALCÂNTARA NETO et al., 2010).

A expansão contínua em novos territórios do bioma Cerrado, estabeleceu uma nova fronteira agrícola chamada de MATOPIBA, no norte e nordeste do país. Apesar das condições edafoclimáticas ideais para o cultivo da soja, o crescimento contínuo da área cultivada na região enfrenta desafios como avanço em logística para o transporte do grão. Além disso, enfrentam impasses na questão ambiental, na qual o código florestal tenta reduzir o desmatamento na região (FREITAS et al., 2011).

Por ser uma cultura de grande interesse econômico, trata-se de uma cadeia produtiva bastante abrangente e seus grãos possuem altos teores de óleo e de proteínas que ficam entre 20% e 40%, respectivamente (LOPES et al., 2002; SEDIYAMA, 2009). Além disso, são muito utilizados pela agroindústria (produção de óleo vegetal e rações para alimentação animal), e pelas indústrias químicas e de alimentos. Com sua ampla utilização, também vem crescendo o seu uso como uma fonte alternativa de biocombustível (COSTA NETO ; ROSSI, 2000).

O crescimento da cultura da soja no país esteve sempre associado aos avanços científicos e a disponibilização de tecnologias ao setor produtivo. A mecanização e a criação de cultivares altamente produtivas adaptadas às diversas regiões, o desenvolvimento de pacotes tecnológicos relacionados ao manejo de solos, de adubação e calagem e, controle de pragas e doenças, além da identificação e solução para os principais fatores responsáveis por perdas no processo de colheita, são fatores promotores desse avanço (FREITAS et al., 2011).

2.2 Principais Características dos Calcários e seu Efeito no Desenvolvimento da Soja

A qualidade do calcário é um fator considerado para corrigir a acidez do solo. Sua eficiência depende de sua capacidade de liberar oxidrilas (equivalente em carbonato de cálcio – ECaCO_3) e da velocidade em que estas são liberadas. Ademais, a fração do calcário que passa na peneira ABNT nº 50 (com diâmetro de orifícios de 0,30 mm) apresenta o valor de reatividade (RE) igual a 100%, considerando-se um período de tempo de 12 a 36 meses. Já as partículas de calcário com diâmetro entre 0,30 e 0,84 mm (passam na peneira ABNT nº 20, mas ficam retidas na peneira ABNT nº 50) apresentam RE = 60%, no mesmo período. Para as partículas mais grossas, com diâmetro entre 0,84 e 2,00 mm (ficam retidas na peneira ABNT nº 20, mas passam na peneira ABNT nº 10) apresentam RE = 20% (MACIEL, 2004).

As partículas com diâmetro maior que 2,00 não apresentam efeito corretivo nesse período de tempo (PANDOLFO & TEDESCO, 1996). Com isso, o poder de neutralização (PN) e RE, são portanto, utilizados para expressar o valor corretivo do calcário, isto é, seu poder relativo de neutralização total ou PRNT (Brasil, 2004c). O termo "relativo" indica que este valor é expresso em relação ao CaCO_3 puro, com

partículas que passam na peneira ABNT nº 50 , cujo valor de PRNT é de 100% (MACIEL, 2004).

Para se conhecer o efeito residual do calcário é importante conhecer não só o PRNT, mas também o seu PN e RE. Em geral, quanto maior a RE menor o efeito residual do calcário, isto é, quanto mais rápida a ação do corretivo, menor é a duração do efeito da calagem e vice-versa (para partículas menores que 2,0 mm). Além do mais, recomenda-se, portanto, efetuar tanto a distribuição como a incorporação o mais uniforme possível, uma vez que a incorporação do corretivo não corrige os problemas devidos à má distribuição, mas sim, tende a agravá-los. Portanto, a eficiência dessa prática depende muito dos implementos agrícola disponíveis, sendo os distribuidores que aplicam o corretivo em linhas próximas da superfície do solo os mais eficientes (MACIEL, 2004).

O calcário deve ser aplicado, preferencialmente, até seis meses antes da semeadura ou do plantio da cultura mais exigente, como as leguminosas, que são menos tolerantes à acidez e até três meses antes do plantio das demais culturas para obter os efeitos benéficos da calagem. Com isso, após a aplicação do corretivo, o pH do solo atinge um valor máximo em aproximadamente 3 a 12 meses, tendendo a diminuir após 4 a 6 anos, devido ao processo de reacidificação natural do solo. As informações disponíveis indicam que o efeito residual da calagem é, em geral, igual ou superior a cinco anos. O diagnóstico da acidez pela análise do solo amostrado em período inferior a quatro anos da aplicação do corretivo pode ser errado, pois parte do corretivo pode ainda estar reagindo. Isso indica que a reaplicação de corretivo só deverá ser feita após esse período com base em outra análise de solo (MACIEL, 2004).

O crescimento do sistema radicular e da parte aérea das plantas é significativamente influenciado pelos atributos químicos do solo, sobretudo pela presença de bases trocáveis no ambiente radicular. Deste modo, a presença do alumínio trocável ao longo do perfil do solo, causa prejuízos para o crescimento e desenvolvimento das raízes, principalmente, de espécies vegetais mais sensíveis a este elemento, promovendo assim, uma redução na absorção de nutrientes e, conseqüentemente, na produtividade das culturas (RAMPIM et al., 2011).

Após a colheita da cultura de verão no final do período das chuvas, considera-se como a melhor época de aplicação do calcário. Sua aplicação deve ser realizada em

duas etapas, metade incorporada a 20 cm de profundidade com arado de aiveca ou de disco, e o restante incorporado com grade pesada e após grade niveladora. Se faz importante o semeio da cultura de cobertura melhor adaptada à região, de preferência com crescimento rápido para promover uma boa proteção do solo, principalmente na época das chuvas. Na safra de verão, iniciar a semeadura direta (SFREDO, 2008).

A aplicação e a incorporação do calcário devem ser realizadas com antecedência mínima de seis meses para leguminosas (MACIEL, 2004), sendo um tempo suficiente para que o corretivo, através do contato com as partículas do solo, reaja com a acidez do solo e proporcione um ambiente com melhores condições para o desenvolvimento da cultura, levando-se em conta a presença de água, imprescindível para a reação do calcário. O parcelamento em dois ou mais anos da dose de calcário calculada como necessária, não representa nenhuma vantagem, uma vez que não se estará criando, no primeiro ano, o ambiente propício para o melhor desenvolvimento da planta; o mesmo pode ocorrer nos anos seguintes, devido aos agentes de acidificação do solo, alteração na quantidade de calcário (SFREDO, 2008).

Ao avaliar algumas características agrônômicas, como componentes da produção, produtividade e qualidade fisiológica da semente da soja cultivada na “safrinha”, em decorrência de diferentes coberturas vegetais, com e sem calagem superficial, sob sistema de semeadura direta (SSD), verificaram que quanto à resposta da soja à calagem, a pesquisa por muito tempo tem procurado estudar o efeito desta na cultura (LIMA et al., 2009), mesmo que sua resposta seja bastante conhecida na literatura científica quando se trata de cultivo convencional, embora exista dúvidas com relação à aplicação de calcário na superfície do solo em SSD, provavelmente em função da utilização de genótipos tolerantes ao Al. A correção da acidez no sistema convencional de cultivo ou na implantação do SSD, pressupõe a incorporação do calcário ao solo com aração e gradagens, para proporcionar o máximo contato entre as partículas do corretivo aos colóides do solo (ROSSETTO et al., 1994).

O interesse na busca de formas alternativas para implantação de culturas no sistema de semeadura direta (SSD), em áreas nunca antes utilizadas com esse sistema de cultivo, sem a necessidade de promover o revolvimento inicial do solo por meio de preparo convencional, realizando-se a calagem superficial desde o estabelecimento. As vantagens desse procedimento estariam relacionadas à manutenção das características

químicas e estruturais do solo, ao maior controle da erosão e à economia com as operações de incorporação de calcário e preparo do solo (CAIRES et al., 2000b).

Ao trabalharem com diferentes coberturas vegetais, com e sem calagem superficial, sob SSD não observaram efeito dos tratamentos sobre a massa de 100 sementes (BARIZON e FERNANDES, 2000). Em contrapartida, Rosseto et al. (1994), ao estudarem o efeito do calcário aplicado convencionalmente na produção e qualidade fisiológica das sementes de soja, verificaram que esta prática propiciou maior produção de grãos e de sementes, favorecendo a uniformização da produção de sementes de maior tamanho e massa, mas que no entanto apresentaram menor qualidade física e fisiológica. Para Lima et al (2009), o número de plantas de soja do estande final não foi influenciado pelos fatores cobertura vegetal e calagem superficial.

Muitos agricultores ao utilizar apenas o calcário na linha, propiciou uma baixa produtividade comparado a calagem tradicional e, portanto, uma renda inferior. Contudo, pesquisas recentes no RS têm mostrado ser possível obter rendimentos altos de soja pela calagem tradicional, com o uso de apenas metade da quantidade de calcário recomendada para corrigir o solo, sendo adicionado 450 kg/ha de calcário fino na linha de semeadura em cada novo cultivo. Devido a carência de informações de pesquisa que relata esta prática em outros estados e em outras culturas, é aconselhável que a mesma não seja usada indiscriminadamente, sem a devida orientação de um técnico (VOLKWEISS et al., 1992).

2.3 Disponibilidade de Nutrientes em Função da Calagem

Determinadas reações químicas e biológicas ocorrem devido a acidez do solo que controlam a disponibilidade de nutrientes e a presença de elementos tóxicos, especialmente o alumínio, cuja ação é exacerbada pela sensibilidade da maioria das plantas cultivadas à pequenas concentrações de fitotoxicidade na solução do solo (BROWN et al., 2008). Deste modo, a calagem é uma prática essencial para a incorporação de solos ácidos ao sistema produtivo e também é recomendada para solos reacidificados pelo uso na agricultura. Atualmente a correção do solo é realizada com uso de calcário dolomítico e calcítico ou magnésiano. Além disso, os silicatos de cálcio e magnésio, recentemente utilizados como corretivos de solo, têm aumentado a

produtividade das culturas, em especial as acumuladoras de silício como o arroz (PEREIRA, 2004).

O pH é o fator que mais influencia a disponibilidade, em consequência, a absorção de nutrientes pelas plantas. Em solos ácidos, ocorre menor disponibilidade de P pela sua precipitação com Fe e Al, solúveis nessa condição de pH, reduzindo, assim, a sua absorção e acúmulo pela planta (SOUSA et al., 2007). Nas maiores densidades do solo, esse efeito não foi observado, devido à limitação física do solo ao crescimento das plantas, principalmente o radicular, não permitindo diferenças pronunciadas na produção de massa seca entre os corretivos utilizados (SOUZA, 2011).

O efeito do cultivo prévio do capim-marandu (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu), da aplicação de corretivos e da compactação do solo no acúmulo de macronutrientes pela soja cultivada em sucessão foram avaliados por Sousa et al., (2012). Segundo os autores, o cultivo prévio do capim-Marandu e o uso de corretivos amenizaram os efeitos negativos da compactação do solo sobre a nutrição da soja. Além disso, a utilização de corretivos do solo contribuiu para o aumento no acúmulo de macronutrientes na parte aérea da soja, porém, o incremento na compactação diminuiu o acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S. A compactação do solo persistiu parcialmente mediante o cultivo prévio com o capim Marandu.

Ao quantificar o suprimento de Ca e Mg às raízes de soja cultivadas em solo com saturações crescentes de Mg na CTC com pH 7, Sousa et al., (2012) verificaram que quando as concentrações na solução são insuficientes para manter o fluxo de massa como principal mecanismo de suprimento de Mg, aumentando o papel da difusão, ocorrem prejuízos no desenvolvimento das plantas, associados à menores produções de matéria seca. Quando o suprimento de Ca e Mg às raízes é suficiente, as interações entre estes cátions não causam problemas à produção de matéria seca de soja (SOUSA et al., 2012).

Ao avaliar as alterações resultantes da aplicação de proporções de calcários calcítico e dolomítico nos teores trocáveis de Ca e Mg de solos em efeitos na nutrição mineral de plantas, Sousa et al., (2012) observaram que a aplicação de calcário calcítico, dolomítico e suas misturas promovem alterações nos teores de Ca e Mg do solo, mas não afetam as suas relações nas plantas, por isso, não provocam problemas

nutricionais. Quando os teores de Ca e Mg do solo são suficientes, a interação entre estes dois cátions na absorção pela planta é de baixa importância (SOUSA et al, 2012).

2.4 Principais Características dos Fertilizantes Fosfatados

A legislação brasileira exige garantias quanto à composição química e propriedades físicas dos fertilizantes fosfatados comercializados no país, principalmente quanto à granulometria (tamanho de partículas) e ao peso (CQFS-RS/SC, 2004). Em âmbito global a maioria das legislações estão focadas em três principais especificações: total de P_2O_5 presente no fertilizante, propriedades físico-químicas (solubilidade) e propriedades físicas (tamanho da partícula) (ZAPATA & ROY, 2004).

Características físicas, químicas e físico-químicas específicas de cada fertilizante sob condições adversas do solo podem influenciar sua eficiência na nutrição das plantas. Entre estas, por apresentar fundamental importância, a solubilidade (como uma característica físico-química do fertilizante) merece maior atenção em estudos envolvendo o componente fosfatado (CHIEN et al., 2011).

Durante o final do século XX, tem crescido exponencialmente o uso de fertilizantes comerciais em todo o mundo seguindo em expansão em pleno século XXI. Como resultado, vários produtos têm surgido no mercado, oferecendo uma numerosa quantidade de fontes fertilizantes, de diferentes formas físicas e químicas buscando suprir as necessidades de cada ambiente. Desta forma, dependendo do conteúdo mineral e do processo de industrialização, os fertilizantes sólidos podem diferir em tamanho e formato da partícula, cor, densidade, concentração e solubilidade (MCAULEY, 2009).

De certa forma, todas as fontes fosfatadas solúveis são rapidamente dissolvidas no solo disponibilizando fósforo para a absorção pelas plantas. No entanto, o P solúvel em água na forma de ortofosfato pode ser rapidamente convertido em formas não solúveis através de reações com minerais (RHEINHEIMER et al., 2003; BASTOS, 2006). Devido à variabilidade dos produtos das reações do P no solo (HEDLEY & MCLAUGHLIN, 2005), diferentes fontes fosfatadas solúveis poderiam apresentar diferentes eficiências sob condições adversas, também dependentes das características texturais e mineralógicas do solo (CHIEN et al., 2011).

Desta forma, o modo de aplicação poderia alterar a velocidade e a capacidade do fertilizante em reagir no solo, como conseqüente solubilização e disponibilização do P

na solução do solo, determinando o grau de eficiência da adubação fosfatada (BREVILIERI, 2012). Por este motivo, ainda existem divergências sobre a melhor forma de utilização das diferentes fontes fosfatadas disponíveis no país (SILVA et al., 2009), inclusive na região do Cerrado piauiense ainda são inexistentes estudos avaliando o efeito dos corretivos e fertilizantes fosfatados nos atributos químicos e biológicos dos solos da região (NEGREIRO, 2014).

Segundo Moterle et al.(2009), a fertilização fosfatada apresenta maior resposta em produtividade com o manejo no sulco. Em contrapartida, outros autores não encontraram diferença quanto ao modo de aplicação do fertilizante na produtividade (GUARESCHI et al., 2010). Da mesma forma, Motomiya (2004) adiciona que fontes fosfatadas apresentam eficiências distintas dependendo do modo de aplicação, onde a fertilização no sulco nem sempre aumenta a produtividade (PAULETTI, 2010).

De maneira geral, em estudos com P são utilizadas fontes superfosfatadas como padrão experimental (NUNES, 2010), desta forma não sendo considerada a variabilidade existente nas características estruturais da molécula do fertilizante fosfatado e as possíveis interações com o modo de aplicação (TRENKEL, 1997; DEITH et al., 2005). A existência da variabilidade na composição de fontes fosfatadas pode resultar em conclusões equivocadas em estudos com fertilizantes (CHIEN et al., 2011). Este aumento da demanda fertilizante repercutiu na diversificação dos fertilizantes produzidos, os quais após o processo de industrialização da rocha fosfatada apresentam características moleculares e nutricionais diferenciadas resultantes de diferentes processos de fabricação (MCAULEY et al., 2009). De alguma forma, estes fertilizantes buscam atender as deficiências nutricionais existentes em cada sistema de cultivo.

2.5 Importância da Adubação Fosfatada na Soja

O principal papel do fósforo (P), na fisiologia da planta, é fornecer energia para reações biossintéticas e para o metabolismo vegetal. Havendo deficiência, o P não metabolizado no vacúolo pode sair da célula, sendo direcionado para os órgãos mais novos da planta. Por ser um nutriente móvel e, juntamente com o nitrogênio e o potássio, é o mais prontamente redistribuído, via floema, para outras partes da planta, em particular aos órgãos novos em crescimento, vegetativos ou reprodutivos, que são drenos preferenciais no desenvolvimento das plantas. (EMBRAPA, 2008). Por isso, os

sintomas de deficiência aparecem, em primeiro lugar, nas partes mais velhas, que apresentam coloração verde azulada e menor crescimento.

O P como fosfato (PO_4^{-3}), é um componente integral de compostos importantes das células vegetais, incluindo fosfato-açúcares e fosfolipídeos que compõem as membranas vegetais. Este elemento é essencial no metabolismo das plantas, por possui um papel essencial na transferência de energia, respiração e fotossíntese. A energia absorvida pela clorofila durante a fotossíntese é convertida em adenosina trifosfatada (ATP) e atua como a primeira fonte energética requerida nos processos biológicos (TAIZ & ZEIGER, 2006).

A suplementação de fósforo P na fase inicial do desenvolvimento das culturas é crucial na otimização da produção final, onde em estágios posteriores sua limitação demonstra-se menos relacionada à produtividade (GRANT et al., 2005). Sua deficiência no solo diminui o crescimento das plantas e o potencial de rendimento nos estádios reprodutivos iniciais, como o florescimento, pela menor produção e maior aborto de flores, refletindo em impacto negativo na produtividade (AMADO et al., 2010).

A soja absorve cerca de 8,4 kg de P para cada tonelada de grãos produzida, sendo a cultura mais exigente em relação às culturas de trigo e milho. Concomitantemente, o uso de fertilizantes minerais fosfatados aumentou expressivamente a nível mundial, nas últimas décadas, principalmente em solos intemperizados como no Brasil que apresentam grande resposta à fertilização fosfatada (VALADÃO JÚNIOR et al., 2008).

O P é geralmente um dos nutrientes que as culturas melhor respondem, pois o suprimento adequado é importante desde os estágios iniciais de crescimento das plantas (STAUFFER; SULEWSKI, 2004). Segundo Fonseca et al. (2010), o P tem influência direta nos teores e acúmulos de macronutrientes do feijão-caupi. Além disso, Taiz e Zeiger (2009) afirmam que as folhas mais velhas são as que primeiro aparecem os sintomas da deficiência de P e o agravamento dessa deficiência pode ocasionar nas plantas jovens o crescimento reduzido e a produção de caules delgados.

A adubação fosfatada influencia no número de grãos por vagens, número de vagens por planta, massa de mil grãos, produtividade de grãos, na altura da planta, diâmetro de caule e número de folha (COUTINHO et al., 2014). A análise da altura é importante na avaliação da qualidade de plantas, uma vez que nos mostra um bom

indicador da evolução da cultura (SOUTO et al., 2009). O crescimento da planta é favorecido com a maior disponibilidade de P, pois promove maior crescimento e emissão das folhas e maior área foliar, provocando, maior captação da radiação solar e incremento na produção de fotoassimilados (BONFIM-SILVA et al., 2011).

O efeito da adubação com P e potássio na emergência das plântulas a campo e na produtividade da cultura da soja, foram avaliados por Moterle et al. (2009), que as maiores produtividades foram alcançadas utilizando-se 516 kg do adubo com formulação 00-20-20 onde a maior produtividade esteve relacionada ao aumento na massa de mil sementes. Estudando-se o efeito da adubação com P, potássio e zinco em soja, Gonçalves Júnior et al. (2010), verificaram que a adubação fosfatada e potássica propiciou significativo aumento da produtividade e no número de vagens por planta.

Atuando na transferência de energia da célula, o P compõe a estrutura dos ácidos nucleicos de cromossomos, na respiração e na fotossíntese, sendo que, sua limitação pode acarretar restrições no desenvolvimento das plantas (VANCE et al., 2003; ZUCARELI et al., 2006). O P é um dos nutrientes que mais limitam a produtividade das culturas nos solos de carga variável que predominam nas regiões tropicais e subtropicais brasileiros (MEURER, 2006). Corrêa et al. (2004), acreditam que o reduzido suprimento de P nessa região é decorrente tanto do material de origem como da forte interação do fosfato com o solo, fenômeno este conhecido como adsorção, sorção ou fixação de P.

A deficiência de P nos solos tropicais é maior devido ao pH ácido e à presença de minerais bastante intemperizados como é o caso dos óxidos cristalinos e amorfo de Fe e Al. Tais minerais apresentam grupamentos superficiais $-OH$, nos quais o fosfato pode ser adsorvido por meio de troca de ligante com o estabelecimento de ligações de alta estabilidade, dificultando assim a liberação desse nutriente para a solução do solo (BROGGI et al., 2010) .

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA NETO, F., GRAVINA, G. A., SOUZA, N. O. S., BEZERRA, A. A. C. Adubação fosfatada na cultura da soja na microrregião do Alto Médio Gurguéia. **Revista Científica Agrônômica**, Fortaleza, v.41, n.º 2, p. 266-271. Abril-junho, 2010.

ALCARDE, J. C.; RODELLA, A. A. Qualidade e Legislação de fertilizantes e corretivos. In: Tópicos em Ciência do Solo. vol.3. (2003) Viçosa - MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p.292-331, 2003.

AMADO T. J. C, SCHLEINDWEIN JA & FIORIN J. E. Manejo do solo visando à obtenção de elevados rendimentos de soja sob sistema plantio direto. In: Thomas AL & Costa JA (Eds.) Soja - Manejo para alta produtividade de grãos. Porto Alegre, UFRGS. p.35-97, 2010.

ARANTES, S. A. C. M.; LAVORENTI, A.; TORNISIELO, V. L. Efeito da Calagem e do Glifosato na Atividade Microbiana de diferentes classes de solos. **Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v.17 p.19-28, 2011.

BARIZON, R. R. M., FERNANDES, D. M. Nutrição e produção da soja, em sistema de plantio direto, em função de calagem superficial e palhada de brizantão (*Brachiaria brizantha*). In: FERTBIO, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2000. 1 CD-ROM. 2000

BASTOS, A. L. Fluxo difusivo, desenvolvimento de milho e atributos do solo influenciados por doses de fósforo em solos do Estado de Alagoas. 125f.: il.Tese (Doutorado) - Universidade Federal Paraíba, Areia. 2006

BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; CABRAL, C. E. A.; GONÇALVES, J. M.; PEREIRA, M. T. J. Produção e morfologia da leguminosa java submetida a adubação fosfatada. **Enciclopédia Biosfera**, v.7, n.12, p. 1-10, 2011.

BREVILIERI, R. C. **Adubação fosfatada na cultura da soja em Latossolo Vermelho cultivado há 16 anos sob diferentes sistemas de manejo**. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal) - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, 52p. 2012.

BROGGUI, F.; FREIRE, F. J.; FREIRE, M. B. G. dos S.; NASCIMENTO, C. W. A. do.; OLIVEIRA, A. C. de. Avaliação da disponibilidade, adsorção e níveis críticos de fósforo em diferentes solos. **Revista. Ceres**, v. 57, n.2, p. 247-252, 2010.

BROWN, T. T.; KOENIG, R. T.; HUGGINS, D. R.; HARSH, J. B.; ROSSI, R. E. Lime effects on soil acidity, crop yield, and aluminium chemistry on directseeded cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, v. 72, n. 3, p. 634-640, 2008.

CAIRES, E. F.; BLUM, J.; FELDHAUS, I. C. Resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. In: FERTBIO, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2000b. 1 CD-ROM. 2000.

CHIEN, S. H.; PROCHNOW, L. I.; TU, S.; SNYDER, C. S. Agronomic and environmental aspects of phosphate fertilizers varying in source and solubility: an update review. **Nutr Cycl Agroecosyst**, 89:229–255, 2011.

CORRÊA, J. C.; MAUAD, M.; ROSOLEM, C. A. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.12, p.1231-1237, 2004.

COSTA NETO, P. R. & ROSSI, L. F. S. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em fritura. **Química Nova**, v.23, p. 4, 2000.

COUTINHO, P. W. R.; Silva, D. M. S.; Saldanha, E. C. M.; Okumura, R. S.; SILVA JÚNIOR, M. L. Doses de fósforo na cultura do feijão-caupi na região nordeste do Estado do Pará. **Agro@mbiente On-line**, v. 8, n. 1, p. 66-73, 2014.

DEITH, L. G. et al. Soil and fertilizer sources of plant nutrients. **Management of Wisconsin Soils A3588**, Fifth Edition, chapter 9, p. 87. 2005.

EMBRAPA. Soja no Brasil: Calagem, Adubação e Nutrição Mineral. Londrina, PR: **Embrapa solos**, 2008.

FONSECA, M. R.; FERNANDES, A. R.; SILVA, G. R.; BRASIL, E. C. Teor e acúmulo de nutrientes por plantas de feijão caupi em função do fósforo e da saturação por bases. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 53, n. 2, p. 195-205, 2010.

FONTES, M. P. F., CAMARGO, O. A. de, SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. **Scientia agrícola**, v. 58, p. 627-646, 2001.

FREITAS, M. C. M. A Cultura da Soja no Brasil: O Crescimento da Produção Brasileira e o Surgimento de uma Nova Fronteira Agrícola. **Enciclopédia biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.7, N.12; Pág.1, 2011.

GONÇALVES JÚNIOR, A. C.; NACKE, H.; MARENGONI, N. G.; CARVALHO, E. A.; COELHO, G. F. Produtividade e componentes de produção da soja adubada com diferentes doses de fósforo, potássio e zinco. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 660-666, 2010.

GRANT, C.; BITTMAN, S.; MONTREAL, M.; PLENCHETTE, C.; MOREL, C. Soil and fertilizer phosphorus: Effects on plant P supply and mycorrhizal development. **Canadian Journal of Plant Science**, 85:3-14, 2005.

GUARESCHI, R. F. **Emprego de fertilizantes revestidos por polímeros nas culturas da soja e milho**. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, Rio Verde. 44 f. 2010.

HEDLEY, M.; MCLAUGHLIN, M. **Reactions of phosphate fertilizers and by-products in soils.** In: Sims JT, Sharpley AN (ed) **Phosphorus: agriculture and the environment.** Agronomy Monograph no 46, ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, USA, pp 181–252, 2005.

HEIFFIG, L. S. **Plasticidade da cultura da soja (*Glycine max* (L) Merrill) em diferentes arranjos espaciais.** Dissertação (Mestrado em Agronomia- Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

HOLZSCHUH, M. J. **Eficiência de calcário calcítico e dolomítico na correção da acidez de solos sob plantio direto.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 85f. 2007.

LIMA, E. V; CRUSCIOL, C. A. C; CAVARIANI, C; NAKAGAWA, J. Características Agrônomicas, Produtividade E Qualidade Fisiológica Da Soja “Safrinha” Sob Semeadura Direta, Em Função Da Cobertura Vegetal E Da Calagem Superficial. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 31, nº 1, p.069-080, 2009.

LOPES, A. S.; GUILHERME L. R. G.; SILVA, M. C. Acidez do solo e calagem. 3ed. São Paulo: ANDA, 1990. 22p. (Boletim Técnico, 1).

LOPES, J. C.; MARTINS FILHO, S.; TAGLIAFERRE, C.; RANGEL, O. J. P. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de soja produzidas em Alegre-ES. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.24, n.1, p.51-58, 2002.

MACIEL, V. C . Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina / Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. - 10. ed.– Porto Alegre, 2004.

MCAULEY, A.; JONES, C.; JACOBSEN, J. Commercial fertilizers and soil amendments. In: Nutrient Management Module, No.10. Nutrient Management a self-study course from MSU Extension Continuing Education Series. **Montana State University**, may. 4449-2. 2009.

MEURER, E. J. Fundamentos de química do solo. **Evangraf.** 3 ed. p. 285. Porto Alegre, 2006.

MOTERLE, L. M.; SANTOS, R. F. dos; BRACCINI, A. de L. e; SCAPIM, C. A.; LANA, M. do C. Influência da adubação com fósforo e potássio na emergência das plântulas e produtividade da cultura da soja. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 40, n. 2, p. 256-265, 2009.

MOTOMIYA, W. R. et al. Métodos de aplicação de fosfato na soja em plantio direto. **Pesq. Agrop. Bras.**,39:307-312, 2004.

NEGREIRO, ALINE BARBOSA. **Teores de nutrientes, atributos microbianos e dinâmica do fósforo em função da calagem, fosfatagem e manejo do solo no**

cerrado piauiense. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Piauí, PI. 64f. 2014.

NASCIMENTO, J.L.; ALMEIDA R.A. SILVA, R.S.M.; MAGALHÃES, L.A.F. Níveis de calagem e fontes de fósforo na produção do capim tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.32, p.7-11, 2002.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. 1 ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 319p. 1999.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS. p.471-550. 2007.

NUNES, R. S. **Distribuição do fósforo no solo sob dois sistemas de cultivo e diferentes manejos da adubação fosfatada**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 88 p. Dissertação de Mestrado. 2010

PAULETTI, V. et al. Yield response to fertilization strategies in no-tillage soybean, corn and common bean crops. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. 53:563-574, 2010.

PEREIRA, H. S. et al. Silicon sources for Rice crops. **Scientia Agraria**, v. 61, n. 05, p. 522-528, 2004.

PETTER, A. F; ALVES, A. U; SILVA, J. A; CARDOSO, E. A; ALIXANDRE, T. F; ALMEIDA, F. A; PACHECO, L. P. Produtividade e qualidade de sementes de soja em função de doses e épocas de aplicação de potássio. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 1, p. 89-100, jan./fev. 2014.

RAIJ, B.V. Fertilidade do solo e adubação. São Paulo, Ceres, 343p. 1991.

RAMPIM, L.; LANA, M. C.; FRANDOLOSO, J. F.; FONTANIVA, S. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. **R. Bras. Ci. Solo**. v.35, p. 1687-1698, 2011.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; CONTE, E.; KAMINSKI, J.; GATIBONI, L. C. Dessorção de fósforo avaliada por extrações sucessivas em amostras de solos provenientes dos sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 6, p. 1053-1059, 2003.

ROSSETO, C. A. V.; FERNANDEZ, E. M.; NAKAGAWA, J.; ROSOLEM, C. A. Efeito do calcário na produtividade e qualidade fisiológica das sementes de soja (*Glycine Max* (L.) Merrill). **Revista Brasileira de Sementes**, v.16, p.208-15, 1994.

SEDIYAMA, T. (Org.). Tecnologias de produção e usos da soja. 1. ed. Londrina, PR: **Mecenas**, v. 1. 314 p. 2009

- SFREDO G. J. Soja no Brasil: Calagem, Adubação e Nutrição Mineral. **Embrapa Soja**, Londrina, PR. 2008.
- SILVA, F. N. da; FURTINI NETO, A. E.; CARNEIRO, L. F.; MAGALHÃES, C. A. S. & CARNEIRO, D. N. M. Crescimento e produção de grãos da soja sob diferentes doses e fontes de fósforo em solos distintos. **Ci. e Agrotec.**, 33:1220-1227, 2009.
- SILVA, M. A.; NÓBREGA, J. C. A.; CURTI, N.; SIQUEIRA, J. O.; MARQUES, J. J. G.; MOTTA, P. E. F. Frações de fósforo em Latossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 1197-1207, 2003.
- SILVA, M. A.; NÓBREGA, J. C. A.; CURTI, N.; SIQUEIRA, J. O.; MARQUES, J. J. G.; MOTTA, P. E. F. Frações de fósforo em Latossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 1197-1207, 2003.
- SOUSA, D. M. G. de; MIRANDA, L. N. de; OLIVEIRA, S. A. de. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa, SBCS, p. 205-274. 2007.
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. Brasília: **Embrapa Informação Tecnológica**, 416p. 2004.
- SOUTO, J. S.; OLIVEIRA, F. T.; GOMES, M. M. S.; NASCIMENTO, J. P.; SOUTO, P. C. Efeito da aplicação de fósforo no desenvolvimento de plantas de feijão guandu *Cajanus cajan* (L) Millsp). **Revista Verde**, v. 4, n. 1, p. 135 – 140, 2009.
- SOUZA, M. A. S. et al. Previous cultivation of palisade grass and soil correctives: influence on growth and yield of soybean cultivated under various soil compaction levels. **Ciência & Agrotecnologia**, v. 35, n. 06, p. 1132-1140, 2011.
- SOUZA, M. A. S.; FAQUIN, V.; GUELFY, D. R.; OLIVEIRA, G. C.; BASTOS, C. E. A. Acúmulo de macronutrientes na soja influenciado pelo cultivo prévio do capim-marandu, correção e compactação do solo. **Rev. Ciênc. Agron.**, v. 43, n. 4, p. 611-622, out-dez, 2012.
- STAUFFER, M. D.; SULEWSKI, G. Fósforo: essencial para a vida. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (ed.) Fósforo na agricultura brasileira. Piracicaba: **Potafos**, cap. 3, p. 35-106. 2004.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal, 3. ed. Porto Alegre: **Artmed**, p. 719, 2006.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia Vegetal. 4. ed. **Artmed editora.**, 848p. 2009
- TEXEIRA L. R., BRACCINI A. L., SPERANDIO, D., SCAPIM, C. A., SCHUSTER, I., VIGANÓ J. JAREMTCHUK, C. C. 2008. Avaliação de cultivares de soja quanto à tolerância ao estresse hídrico. **Revista Ceres**, 53: 194-202.

TRENKEL, M. E. Controlled-Release and Stabilized Fertilizers in Agriculture. **In: Improving Fertilizer Use Efficiency**. Published by International Industry Association, Paris, December, 50p. 1997.

VALADÃO JÚNIOR, D.; BERGAMIN, A.; VENTUROSOS, L.; SCHLINDWEIN, J.; CARON, B.; SCHMIDT, D. Adubação fosfatada na cultura da soja em Rondônia. **Scientia Agricola**, 9:379-365, 2008.

VANCE, C. P.; UHDE STONE, C.; ALLAN, D. L. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New Phytologist**, v. 157, n. 3, p. 423-447, 2003.

VOLKWEISS, S. J.; TEDESCO, M. J.; GIANELO, C.; BISSANI, C. A. A Calagem dos Solos Ácidos - Prática e Benefícios. Porto Alegre/RS – 1992.

ZAPATA, E.; ROY, R. N. Use of phosphate rocks for sustainable agriculture. **FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin** - 13, 172 pp., 2004.

ZUCARELI, C. et al. Adubação fosfatada, componentes de produção, produtividade e qualidade fisiológica em sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 28, n. 1, p.09-15, 2006.

4. CAPÍTULO II

MORFOFISIOLOGIA DA SOJA SUBMETIDA A DIFERENTES FONTES DE CALCÁRIO NO CERRADO PIAUIENSE

RESUMO

O estudo das fontes de calcário utilizadas para a correção da acidez do solo nas áreas agrícolas no Cerrado piauiense para o desenvolvimento da soja é inexistente. O experimento foi realizado na Fazenda Agropecuária Dois Irmãos (Serra do Quilombo), localizada no município de Bom Jesus-PI. Foi implantado um experimento utilizando calcário, no qual se avaliou o efeito durante duas safras (2013/14 a 2014/15). O objetivo deste trabalho foi avaliar as características morfofisiológicas da cultura da soja sob aplicação de diferentes fontes de calcário no Cerrado piauiense. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, sendo que os tratamentos constaram de quatro fontes de calcário (Minasul, Ibitirama; Cincal e Ceará), mais uma testemunha sem calcário, com quatro repetições em dois anos agrícolas. Foram avaliados o estande das plantas, teor de clorofila, índice de clorofila, fitomassa seca aérea, radiação fotossinteticamente ativa, eficiência da radiação fotossinteticamente ativa, número de ramos, número de legumes por planta, massa de mil grãos e produtividade dos grãos. Todas as fontes de calcário apresentam aumento das características morfofisiológicas da soja. Todas as fontes de calcário foi de fundamental importância para maximizar a produtividade de grãos da cultura da soja, com maior destaque na safra 2014/15, independentemente se realizada com calcário calcítico ou dolomítico e com corretivos de granulometria mais fina ou mais grossa.

Palavras-chave: Glycine max, acidez, latossolo amarelo, nutrientes, produtividade.

MORPHOPHYSIOLOGY OF SOYBEANS SUBMITTED TO DIFFERENT CALCIUM SOURCES IN PIAUIENSE CLOSED

ABSTRACT

The study of the sources of limestone used for the correction of soil acidity in agricultural areas in the Cerrado of Piauí for the development of soybean is non-existent. The experiment was carried out at Dois Irmãos Agropecuária Farm (Serra do Quilombo), located in the municipality of Bom Jesus-PI. An experiment was implemented using limestone, in which the effect was evaluated during two harvests (2013/14 to 2014/15). The objective of this work was to evaluate the morphophysiological characteristics of the soybean crop under different limestone sources in the Cerrado of Piauí. The experimental design was a randomized complete block design, and the treatments consisted of four limestone sources (Minasul, Ibitirama, Cincal and Ceará), plus one non - limestone control, with four replications in two agricultural years. The plant stand, chlorophyll content, chlorophyll index, aerial dry biomass, photosynthetically active radiation, photosynthetically active radiation efficiency, number of branches, number of vegetables per plant, mass of one thousand grains and grain yield were evaluated. All limestone sources present an increase in the morphological characteristics of soybean. All sources of limestone were of fundamental importance to maximize the grain yield of the soybean crop, especially in the 2014/15 harvest, regardless of whether it was carried out with calcitic or dolomitic limestone and with thinner or thicker grain size correctives.

Key-words: Glycine max, acidity, yellow latosol, nutrients, productivity.

4.1 Introdução

O Cerrado piauiense é considerado uma região promissora na produção brasileira de grãos, com destaque para a cultura da soja [*Glycine max* (L.) Merrill], este Bioma é apontado como a última fronteira agrícola do Brasil (PETTER et al. 2012). Segundo a CONAB (2016), na safra 2015/16, a área cultivada com soja no Piauí teve uma área de 564 mil ha, com rendimento médio de grãos de 2.099 kg ha⁻¹.

O Cerrado piauiense apresenta condições edafoclimáticas e topografias, bem como a localização geográfica que favorecem a produção de grãos e seu escoamento aos portos para a exportação, tornando um grande incentivo para os produtores da região. Além disso, representa na região do sudoeste do Piauí, juntamente com o Sul dos estados de Maranhão, Tocantins e Oeste da Bahia, uma importante fronteira agrícola do país que a cada ano vem otimizando a utilização do espaço produtivo de soja, através da utilização de novas tecnologias em todas suas operações, o qual se constituiu em uma “commodity” de grande importância comercial para o desenvolvimento da agricultura brasileira, sendo cultivada em todas as regiões (SILVA et al., 2009). Com base nesse aspecto, devem-se conhecer as possíveis ações das práticas que se realizam sobre os mesmos, para que se reduzam condicionalmente os danos ecológicos, e ao mesmo tempo induzir aumentos da produtividade agrícola de forma sustentável (COSTA et al., 2006).

Em áreas de cultivo sob vegetação de Cerrados, normalmente ocorrem problemas de baixa fertilidade natural, associado à elevada acidez e saturação por alumínio (Al³⁺), condições estas que contribuem para a baixa disponibilidade dos nutrientes (NASCIMENTO et al., 2002). Segundo Oliveira & Costa (2009), a acidificação do solo se inicia, ou se acentua, devido à remoção de bases da superfície dos colóides do solo, dentre outros fatores. Com isso, solos ácidos apresentam baixa disponibilidade de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), como também alta saturação por alumínio (m%) e alta capacidade de fixação de fósforo.

A calagem, além de promover redução nos níveis de alumínio e manganês trocáveis no solo, induz a elevação do pH, da saturação por bases e dos teores de cálcio, sendo a prática mais eficiente para a correção da acidez dos solos (CAIRES et al., 2004). Em contrapartida, os materiais corretivos utilizados apresentam limitações, em

razão de serem pouco solúveis e os produtos da reação do calcário têm mobilidade limitada no perfil do solo, a ação da calagem normalmente fica restrita às zonas de aplicação, favorecendo maior concentração, principalmente nas camadas superficiais do solo (ERNANI et al., 2001; ROSOLEM, et al., 2003). Com isso, os nutrientes fornecidos pelo calcário (Ca e Mg) geralmente permanecem nas camadas mais superficiais do solo, uma vez que se encontram adsorvidos na superfície dos colóides impulsionados pelas cargas negativas geradas pela calagem (AMARAL et al., 2004).

As características de cada fonte de calcário podem ser diferenciadas pelo potencial de reatividade no solo. As fontes de calcário cinal, ceará, ibitirama e minasul, são bastante utilizadas para a correção da acidez do solo na região do Cerrado sudoeste do Piauí. No entanto, ainda são inexistentes estudos avaliando o efeito dos corretivos nos atributos químicos e biológicos dos solos da região.

Com base nos problemas observados em campo sobre a dificuldade e a resposta diferencial, bem como dos seus efeitos sobre os parâmetros morfofisiológicos e produtivos das culturas exploradas na região, a exemplo da soja, o objetivo deste trabalho foi avaliar características morfofisiológicas da cultura da soja em latossolo amarelo distrófico, sob diferentes fontes de calcário no Cerrado piauiense.

4.2 Material e Métodos

4.2.1 Localização do experimento

O experimento foi realizado nos anos agrícolas 2013/14 e 2014/15, na Fazenda Agropecuária Dois Irmãos (Serra do Quilombo), localizado no município de Bom Jesus, Estado do Piauí, Brasil, e as coordenadas pontuais são 09°21'50'' de latitude sul e 44°43'81'' de longitude oeste, com altitude média de 550 m. O solo foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico – LAd, textura franco arenosa (argila: 90, silte: 30 e areia: 880 g kg⁻¹). Antes da calagem, e após a limpeza da vegetação nativa, realizou-se uma análise química, cuja composição apresentou: pH (CaCl₂): 4,35; P (Mehlich): 0,66 mg dm⁻³; K⁺: 10,77 mg dm⁻³; Ca²⁺: 0,4 cmolc dm⁻³; Mg²⁺: 0,1 cmolc dm⁻³; Al: 0,65 cmolc dm⁻³; (H+Al): 4,9 cmolc dm⁻³; SB: 0,5 cmolc dm⁻³; t:1,15 cmolc dm⁻³ T: 5,41 cmolc dm⁻³; V: 9,33% e m: 56,31%. O clima da região é do tipo Aw, segundo a classificação climática global de Köppen, com duas estações bem definidas, sendo uma seca, que vai de maio a setembro, e outra chuvosa, que vai de outubro a abril. Os dados de precipitação acumulada durante a realização do experimento encontram-se na Figura 1.

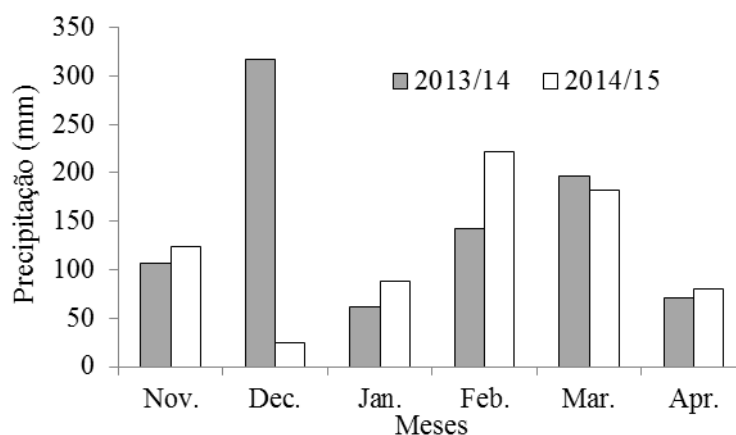


Figura 3. Médias mensais de precipitação pluvial, ocorridas na Fazenda Agropecuária Dois Irmãos (Serra do Quilombo) nos anos agrícolas 2013/14 e 2014/15, durante a realização dos experimentos.

4.2.2 Condução do experimento

O experimento iniciou com a limpeza da vegetação nativa, e logo em seguida, realizou-se a análise do solo, na qual determinou-se a necessidade de calagem, por meio do método de saturação de bases (saturação esperada de V: 60%), o que correspondeu

às doses de 2,74; 3,26; 2,96 e 4,02 t ha⁻¹ das fontes de calcário Minasul, Ibitirama, Cincal e Ceará, respectivamente. A aplicação foi realizada uma única vez, no ano agrícola 2012/13, em seguida, cultivou-se o arroz na área experimental. A implantação do experimento com o cultivo da soja ocorreu no ano agrícola 2013/14, após a reação do calcário no solo, utilizando o efeito residual do calcário. Na área experimental, após a aplicação dos corretivos foi realizado o preparo do solo, com aração mecanizada na profundidade de 0-0,20 m, a fim de realizar a incorporação do calcário nas camadas mais profundas.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, sendo que os tratamentos constaram de quatro fontes de calcário (Minasul, Ibitirama, Cincal e Ceará), mais uma testemunha sem calcário, com quatro repetições, em dois anos agrícolas. Perfazendo-se 20 parcelas (25m x 12m). A análise química e granulométrica de cada calcário encontra-se abaixo na Tabela 1.

Tabela 1 - Características químicas e granulométricas das diferentes fontes de calcário utilizadas em Latossolo Amarelo do Cerrado piauiense.

Fontes de Calcário	ANÁLISE QUÍMICA				ANÁLISE GRANULOMÉTRICA (% retido nas peneiras)		
	CaO (%)	MgO (%)	PN (%)	PRNT (%)	10%	20%	50%
MSUL	47,93	2,52	97,85	84,23	0,0	9,4	23,0
IBIT	29,98	14,78	103,35	92,36	0,0	2,4	23,6
CINC	46,04	1,01	85,1	67,81	1,6	15,2	29,2
CEAR	38,48	8,73	103,85	95,63	0,0	0,2	19,6

Minasul (MSUL); Ibitirama (IBIT); Cincal (CINC); Ceará (CEAR); Óxido de cálcio (CaO); Óxido de magnésio (MgO); Poder de neutralização (PN); Poder relativo de neutralização total (PRNT).

A semeadura da soja foi realizada nos dias 02 e 06 de dezembro, respectivamente em cada ano agrícola. A adubação foi constituída de 350 kg ha⁻¹ do formulado de N-P₂O₅-K₂O (02-30-20), aplicado via sulco. As sementes foram inoculadas com bactérias *Bradyrhizobium japonicum*, na dose de 3 mL p. c. kg⁻¹ de semente - estirpes SEMIA 5079 e 5080, do inoculante Nitragin Cell Tech HC[®] (3x10⁹ UFC/mL). A semeadura foi realizada com uso de semeador-adubadora, utilizando-se a cultivar MONSOY 9350 nas duas safras. Cada parcela foi constituída de 24 linhas de semeadura de 25 m de comprimento, espaçadas de 0,50 m, tendo a área de cada parcela 300 m² (25 m x 12 m). Como área útil foi considerada as duas fileiras centrais. Manteve-se estande de 12 plantas m⁻¹, densidade populacional de 240.000 plantas ha⁻¹.

Os tratos culturais (controle de plantas daninhas, pragas e doenças) anteriores e posteriores a semeadura foram os recomendados para a região e, conforme as necessidades da cultura.

4.2.3 Variáveis analisadas

No início da floração (R_1) foi determinado: estande de plantas - foi avaliado 4 pontos aleatórios em cada unidade experimental. Em cada ponto foi realizada a contagem das plantas utilizando uma linha métrica de 2 m^{-1} ; fitomassa seca de parte aérea - realizou-se a coleta de 5 plantas por unidade experimental. Logo após, foram colocadas em um saco de papel modelo 'Kraft' e, levadas a estufa de circulação de ar forçado 60° C , durante 72 horas até obtenção de massa constante, com posterior pesagem dos resíduos vegetais; índice de área foliar - determinada com medidor de área foliar eletrônico modelo Li-Cor, L1-3100[®]. Em seguida, foi determinada a massa seca em estufa de circulação forçada de ar a 65° C até obtenção do peso constante. Por meio da área das folhas, calculou-se a área total de folhas da amostra e, com posterior leitura e ajuste na equação (IAF igual soma de toda superfície foliar $\cdot \text{Área do Solo}^{-1}$). IAF correspondente (m^2 de folhas $\cdot \text{m}^{-2}$ de solo).

Teor de clorofila - foram determinadas indiretamente, por meio de um medidor portátil de clorofila (ClorofilLOG CSL1030). As avaliações foram realizadas em quatro pontos aleatórios por parcela, medindo-se 3 pontos em diferentes partes na mesma folha e sempre no limbo foliar entre as nervuras no terceiro trifólio de cima para baixo;

Radiação fotossintética ativa – foi determinada com o uso de equipamento Ceptômetro Accu PAR PAR/LAI Ceptometer model LP-80 (Decagon Devices). As leituras foram realizadas entre 11h e 13h sob céu claro, medindo-se a intensidade luminosa acima do dossel e ao nível do solo. As medições foram realizadas nesse horário visando à redução da interferência do ângulo zenital. O aparelho foi colocado perpendicularmente à linha de semeadura formando um ângulo de 45° em relação ao zênite. Os dados da radiação do Ceptometer model LP-80 obtidos em $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ foram transformados para $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$, onde $1 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1} = 0,0864 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$. Os dados de RFA foram registrados em $\mu\text{mol s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ e convertidos em $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, adotando o seguinte procedimento (1):

$$RFA = \sum_{\text{diário}} \frac{(RFA(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}) \times t(\text{s}))}{1000000} \text{ (mol de fótons } \text{m}^{-2} \text{ dia}^{-1}\text{)},$$

(1)

em que RFA é a radiação fotossinteticamente ativa, t é o tempo entre as coletas.

A radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_{int}) pela cultura foi calculada da seguinte maneira (2) (Varlet-Grancher et al., 1989):

$$RFA_{\text{int}} = RFA_{\text{inc}} - RFA_{\text{ts}},$$

(2)

em que RFA_{inc} é a radiação incidente e RFA_{ts} é a radiação transmitida ao solo. A eficiência de interceptação (ϵ_{int}) da RFA pela cultura foi estimada considerando-se a RFA_{int} e a RFA_{inc} pela expressão (3):

$$\epsilon_{\text{int}} = \frac{RFA_{\text{int}}}{RFA_{\text{inc}}}.$$

(3)

Por ocasião da colheita foram obtidos os seguintes caracteres: ramificações – presentes utilizando-se 3 plantas por cada unidade experimental; número de legumes - foram separadas as mesmas plantas avaliadas para a contagem do número de ramos, contando o número de legumes; massa de mil grãos – de acordo com a metodologia descrita em Brasil (2009); produtividade de grãos - padronizada para umidade dos grãos de 13% em kg ha⁻¹.

4.2.4 Análise estatística

As análises de variâncias individual e conjunta foram realizadas adotando o modelo estatístico e o procedimento de análise semelhante ao apresentado por Ramalho et al. (2012). As médias foram comparadas pelo teste de Scott e Knott (1974) a 5% de probabilidade. A análise estatística foi realizada com o auxílio do pacote estatístico SISVAR[®] (FERREIRA, 2011).

4.3 Resultados e Discussão

Todas as variáveis analisadas apresentaram incrementos positivos com o uso da calagem, com exceção do teor relativo de clorofila (Tabela 2). Deste modo, alguns estudos tem demonstrado que o uso do gesso agrícola aliado à calagem, tem aumentado a produtividade de diferentes culturas (RANTIM, et al., 2011; SORATTO & CRUSCIOL, 2008; SORATTO et al., 2010).

Tabela 2. Estande das plantas, teor de clorofila, índice de clorofila, fitomassa seca aérea, radiação fotossinteticamente ativa (RAF) e eficiência da radiação fotossinteticamente ativa em soja, cultivada em Latossolo Amarelo do Cerrado piauiense com diferentes fontes de calcário, nos anos agrícolas 2013/14 e 2014/15. Bom Jesus – PI, Brasil.

Fontes de Calcário	Estande das plantas (m ²)			Teor relativo de clorofila		
	2013/2014	2014/2015	Média	2013/2014	2014/2015	Média
Testemunha	11.37 C	12.25 B	11.81 B	49.88 ^{ns}	54.73 ^{ns}	52.30 ^{ns}
Cincal	22.31 A	21.25 A	21.78 A	49.92	52.89	51.10
Ceará	19.68 B	22.12 A	20.90 A	46.87	53.94	50.41
Ibitirama	19.81 B	22.37 A	21.09 A	48.02	52.89	50.46
Minasul	22.43 A	22.00 A	22.21 A	47.96	53.08	50.52
Média	19.12	20.00	19.56	48.53	53.38	50.96
CV (%)	5.75			3.07		
Fontes de Calcário	Índice de área foliar			Fitomassa seca aérea (g m ⁻²)		
	2013/2014	2014/2015	Média	2013/2014	2014/2015	Média
Testemunha	1.007 B	0.4489 B	0.7280 B	49.00 B	26.04 C	37.52 B
Cincal	2.6711 A	0.9972 A	1.8341 A	57.50 A	50.30 A	53.90 A
Ceará	2.4631 A	0.9983 A	1.7307 A	60.50 A	38.53 B	49.51 A
Ibitirama	2.6586 A	0.9366 A	1.7976 A	63.00 A	38.17 B	50.58 A
Minasul	2.5182 A	0.8091 A	1.6636 A	59.00 A	34.10 B	46.55 A
Média	2.2636	0.8380	1.5508 A	57.80	37.43	47.61
CV (%)	13.46			10.45		
Fontes de Calcário	RAF (Mol m ⁻² dia ⁻¹)			Eficiência da RFA		
	2013/2014	2014/2015	Média	2013/2014	2014/2015	Média
Testemunha	93.19 B	89.69 A	91.44 B	0.62 B	0.51 B	0.57 B
Cincal	137.33 A	100.41 A	118.87 A	0.91 A	0.49 B	0.70 A
Ceará	134.07 A	88.19 A	111.13 A	0.86 A	0.50 B	0.68 A
Ibitirama	145.81 A	71.65 B	108.73 A	0.90 A	0.52 B	0.71 A
Minasul	117.73 B	103.95 A	110.81 A	0.82 A	0.66 A	0.74 A
Média	125.63	93.27	109.20	0.82	0.542	0.67
CV (%)	13.11			7.38		

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna, pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade. CV – coeficiente de variação. ns: não significativo (p<0,05)

No estande de plantas, todas as fontes apresentaram resultados satisfatórios em relação à testemunha nas duas safras (Tabela 2). O aumento dessa variável pode ser atribuída à aplicação de calcário em área experimental que pode ter contribuído no aumento do pH e a redução dos teores de Al^{3+} , H+Al. Essas observações podem ser reforçadas por estudos de Negreiros (2014), que ao aplicar calcário em solo do cerrado piauiense, observou aumento do pH, soma de bases (SB), saturação por bases (V) e dos teores de cálcio e magnésio do solo na camada de 0-20 cm, bem como a redução dos componentes da acidez, Al^{3+} (alumínio), H+Al (acidez potencial) e m (saturação por alumínio). Natale et al. (2007) também verificaram os efeitos positivos que a calagem promove na melhoria dos atributos químicos do solo ligados à acidez, elevando o pH, teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , SB e V e diminuindo o H + Al, até 60 cm de profundidade, tanto na entrelinha como na linha da cultura.

O estande de plantas, também foi severamente influenciado na ausência da calagem (Tabela 2), sendo que o solo da área experimental continha elevada acidez e saturação por alumínio (Tabela 1). O baixo estande de plantas no tratamento da testemunha, está relacionado à presença de alumínio, e a baixa disponibilidade de nutrientes, entre eles, o cálcio, no qual promoveu a redução do crescimento radicular e da parte aérea, e terem sido as plantas que menos toleraram ao estresse hídrico. Portanto, as plantas com menor sistema radicular, são mais afetadas durante o veranico, refletindo no desenvolvimento da planta, pois as raízes são responsáveis pela absorção de água e dos nutrientes (TAIZ & ZEIGER, 2013).

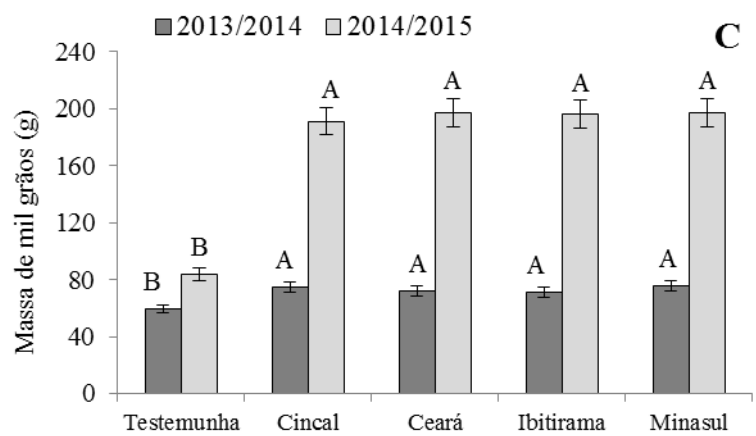
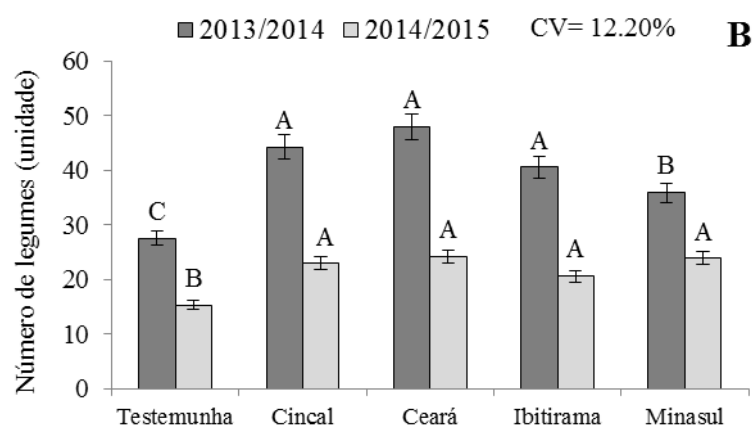
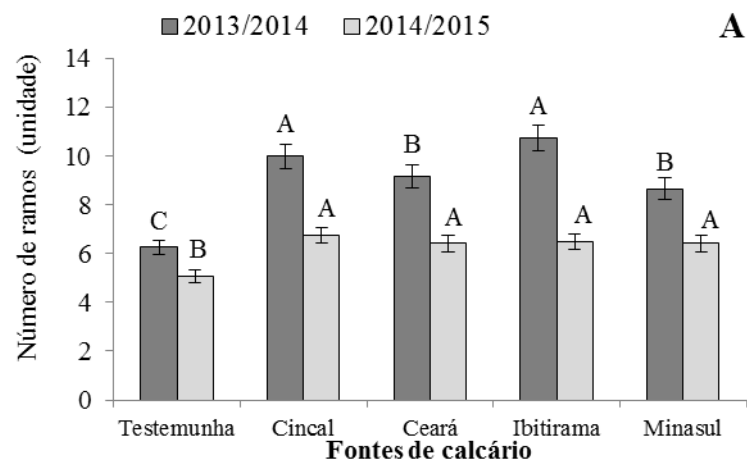
De maneira geral, independentemente do ano agrícola, observou-se que as fontes de calcário não afetaram o teor de clorofila (Tabela 2). Nogueira et al. (2010), indicam que os maiores índices de clorofila proporcionaram maiores taxas fotossintéticas e, conseqüentemente, maior acúmulo de matéria seca na planta. O teor de clorofila foliar está diretamente relacionado à matéria seca e os níveis de N no solo, pois quando se tem uma maior área foliar, também há um maior sombreamento entre as folhas. Isso pode promover uma redução no teor de clorofila na folha comparado a cultivos com maior IAF. Para o índice de área foliar, verificou-se que as fontes Cincal, Ceará, Ibitirama e Minasul proporcionaram incrementos dessa variável em 151,91%, 137,71%, 146,89% e 128,49%, respectivamente, comparado à testemunha (Tabela 2). Estudo realizado por Martins e Pitelli (2000) observaram que a calagem na semeadura da soja incrementou o

teor de clorofila a e b em 25,45% e 20,57%, respectivamente. Além disso, constataram-se que o uso da calagem com a elevação da saturação de bases do solo a 70%, obteve um acréscimo da área foliar de 32,31% e da fitomassa seca da parte aérea de 22,08% aos 49 dias após a o início do experimento.

Para os demais componentes fotossintéticos verificaram efeitos significativos, como por exemplo, o índice de área foliar, radiação fotossinteticamente ativa e na eficiência da radiação fotossinteticamente. Além do mais, o maior índice de área foliar resultou em um aumento na fotossíntese e na produção de fotoassimilados, uma vez que este incremento nos fotoassimilados culminou em uma maior translocação para as regiões fontes (raízes, fitomassa parte aérea, legumes e grãos). O rendimento de culturas como o milho e a soja está intimamente ligada a eficiência fotossintética na transformação da radiação solar interceptada e transformada em fitomassa seca (CASAROLI et al., 2007), que é altamente dependente da área foliar e também do número de nós (ALCÂNTARA NETO et al., 2011).

Para a fitomassa seca aérea, todas as fontes de calcário apresentaram maior acúmulo quando comparados com a testemunha nas duas safras agrícolas, sendo que na safra 2014/15, a fonte cincal obteve maior acúmulo comparado com as fontes ceará, Ibitirama e minasul (Tabela 2). Os melhores resultados encontrados na fonte cincal, estão relacionados ao menor PRNT e ao e ao teor de Ca^{2+} (Tabela 1). Resultados positivos foram encontrados por Rodrighero et al. (2015), demonstraram que o teor de Ca nas folhas de soja foi significativamente maior com o uso de calcário calcítico, e o teor de Mg no tecido foliar da soja foi significativamente mais elevado com a utilização de calcário dolomítico.

Quanto ao número de ramos, número de legumes por planta, massa de mil grãos e produtividade (Figura 2), o uso de calagem, induziu efeitos satisfatórios em todas essas variáveis. Esses resultados são semelhantes aos verificados em trabalhos de Miranda et al. (2005) e Holzschuh et al. (2007), em que também verificaram incrementos significativos dos componentes de produção da soja em função da aplicação de calcário.



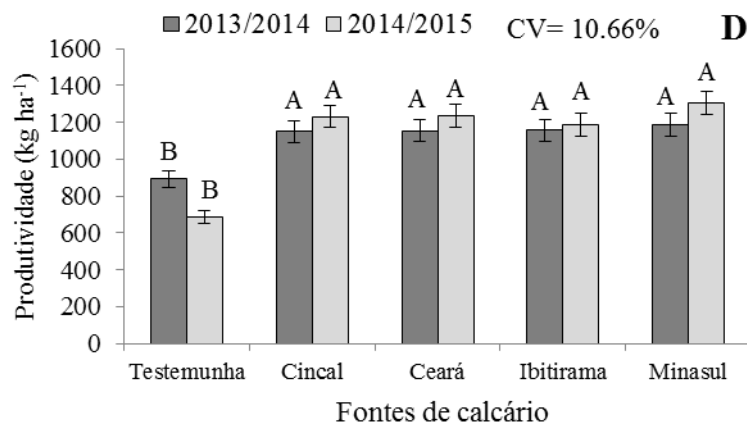


Figura 2. Número de ramos (A), número de legumes por planta (B), massa de mil grãos (C) e produtividade dos grãos (D) obtidos no ensaio fontes de calcário utilizadas em Latossolo Amarelo do Cerrado piauiense cultivado com soja, nos anos agrícolas 2013/14 e 2014/15. Bom Jesus – PI, Brasil. Médias seguidas de mesma letra maiúscula entre barras na mesma safra, pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade. Data refer to mean values ($n = 4$) \pm standard error. CV – coeficiente de variação.

A maior produtividade dos grãos (Figura 2D) nos tratamentos em que foram aplicados as fontes de calcário foi atribuído ao maior número de ramos (Figura 2A), número de legumes por planta (Figura 2B) e massa de mil grãos (Figura 2C) nesses tratamentos. Rodrighero et al. (2015), afirmaram que as produtividades de grãos de milho e soja no Latossolo Vermelho Distrófico e Neossolo Litólico Húmico aumentaram com as doses de calcário, mas não foram influenciadas pelas fontes e faixas de PRNT dos corretivos. Incremento na produtividade dos grãos de amendoim com o uso de calcário dolomítico, também foi verificado por Quaggio et al. (1982). Os autores verificaram também, que as produções maiores foram verificadas quando a saturação de bases estavam cerca de 60% e/ou os valores de pH em água em torno de 6,0.

No presente trabalho, verificaram-se reduções da produtividade dos grãos nos tratamentos que não receberam calcário, este fato se deve a menor disponibilidade de nutrientes no solo, além do menor número de estande, que resultou em decréscimo em todos os componentes de produção (Figura 2). O incremento nos caracteres agronômicos da soja com a aplicação de calcário está relacionado com as melhorias nas condições químicas do solo (elevação do pH, diminuição da acidez potencial, incrementos nos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e aumento da soma de bases e na saturação por bases). Estas observações são reforçadas por estudos de Soratto e Crusciol (2008) que ao avaliarem as alterações dos atributos químicos do solo decorrentes da aplicação de calcário em superfície, em sistema plantio direto recém implantado. Fica claramente

evidenciado o efeito benéfico da calagem para a cultura da soja.

Pode-se inferir que em função dos efeitos da aplicação das fontes de calcário na cultura da soja, independentemente dos calcários calcítico, magnesiano e dolomítico, a produtividade dos grãos e os efeitos de ambas as fontes foram idênticos. Tais constatações corroboram aos resultados verificado por Gallo et al. (1956). Os autores verificaram que todos os tratamentos que receberam calcário, indistintamente do tipo de calcário empregado, permitiram um maior desenvolvimento das plantas e produtividade dos grãos da soja, em relação ao tratamento sem calcário.

4.4 Conclusões

Todas as fontes de calcário apresentam aumento das características morfofisiológicas da soja.

Todas as fontes de calcário foram de fundamental importância para maximizar a produtividade de grãos da cultura da soja, com maior destaque na safra 2014/15, independentemente se realizada com calcário calcítico ou dolomítico e com corretivos de granulometria mais fina ou mais grossa.

4.5 Referências bibliográficas

ALCÂNTARA NETO, F. de.; GRAVINA, G. de A.; MONTEIRO, M. M. de S.; MORAIS, F. B. de.; PETTER, F. A.; ALBUQUERQUE, J. A. A. de. Análise de trilha do rendimento de grãos de soja na microrregião do Alto Médio Gurguéia. **Comunicata Scientae**, v.2, n.2, p.107-112, 2011.

AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I. & DESCHAMPS, F. C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 28, p.115-123, 2004.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes, Brasília, p.395, 2009.

CAIRES, E. F.; KUSMAN, M. T.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; PADILHA, J. M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 28. p.125-136, 2004.

CASAROLI, D.; FAGAN, E. B.; SIMON J.; MEDEIROS, S. P.; MANFRON, P. A.; NETO, D. D.; LIER, Q. DE J. V.; MÜLLER, L.; MARTIN, T. N. Radiação Solar e aspectos fisiológicos na cultura de soja - uma revisão. **Revista da FZVA**, Uruguaiana, v.14, n.2, p. 102-120. 2007.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento (2016). Acompanhamento de safra brasileira: grãos, oitavo levantamento. Companhia Nacional de Abastecimento, Brasília: CONAB, 178p. Maio 2016.

COSTA, M. J. Manejo de solo e efeito residual da gessagem sobre atributos físicos e químicos de um latossolo vermelho distroférico e desenvolvimento da soja. Dourados, MS, 2006.

ERNANI, P. R.; RIBEIRO, M. S.; BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos e gesso agrícola. **Scientia Agrícola**. v. 58, n.4, p 825-831, 2001.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**. 35(6):1039-1042, 2011.

GALLO, J.R.; CATANI, R.A.; GARGANTINI, H. Efeito de três tipos de calcários na reação do solo e no desenvolvimento da soja. **Bragantia**, v. 15, n. 12, p. 121-130, 1956.

HOLZSCHUH, M.J.; KAMINSKI, J.; BARTZ, H.R.; KLEIN, M.; TIECHER, T.; MORO, V.; TOLEDO, M.J.A. Efeito do calcário calcítico e dolomítico no rendimento de soja e aveia preta aplicado na superfície e incorporado. XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do solo, **Anais...Gramado - RS**, 5p. 2007

MARTINS, D.; PITELLI, R. A. Efeito da adubação fosfatada e da calagem nas relações de Interferência entre plantas de soja e capim-marmelada. **Planta Daninha**, v. 18, n. 2, 2000.

MIRANDA, L.N.de; MIRANDA, J.C.C.de; REIN, T.A.; GOMES, A.C. Utilização de calcário em plantio direto e convencional de soja e milho em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropécuaria Brasileira**, v. 40, n. 6, p.563-572. 2005.

NASCIMENTO, J.L.; ALMEIDA R.A. SILVA, R.S.M.; MAGALHÃES, L.A.F. Níveis de calagem e fontes de fósforo na produção do capim tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.32, p.7-11, 2002.

NATALE, W., PRADO, R.M., ROZANE, D.E., ROMUALDO, L.M. Efeitos da calagem na fertilidade do solo e na nutrição e produtividade da goiabeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 31: 475-1485, 2007.

NEGREIROS, A.B. **Teores de nutrientes, atributos microbianos e dinâmica do fósforo em função da calagem, fosfatagem e manejo do solo no cerrado piauiense**. 64f. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal do Piauí, Bom Jesus, Brasil, 2014.

NOGUEIRA, P. D. M.; JÚNIOR, D. G. S.; RAGAGNIN, V. A. Clorofila foliar e nodulação em soja adubada com nitrogênio em cobertura. **Global Science and Technology**, v. 03, n. 02, p.117 – 124, mai/ago. 2010.

OLIVEIRA, I. P.; COSTA, K. A. P. **Formação da acidez dos solos**. 2009. Disponível em: www.fmb.edu.br/ler_artigo.php?artigo. Acesso em 28 nov. 2010.

PETTER, F.A.; SILVA, J.A.; PACHECO, L.P.; ALMEIDA, F.A.; ALCÂNTARA NETO, F., ZUFFO, A.M.; LIMA, L.B. 2012. Desempenho agrônômico da soja a doses e épocas de aplicação de potássio no cerrado piauiense. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v.55, n.3, p.190–196.

QUAGGIO, J.A.; DECHEN, A. R.; RAIJ, B. van. Efeito da aplicação do calcário e gesso sobre a produção de amendoim e lixiviação de bases no solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 6, p. 189-194, 1982

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. Experimentação em genética e melhoramento de plantas. 2.ed. Lavras: UFLA, 322p., 2012.

RAMPIM, L.; LANA, M. C.; FRANDOLOSO, J. F.; FONTANIVA, S. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 35, p. 1687-1698, 2011.

RODRIGHERO, M. B.; BARTH, G.; CAIRES, F. E. Aplicação Superficial de Calcário com Diferentes Teores de Magnésio e Granulometrias em Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 39:1723-1736, 2015.

RODRIGHERO, M.B.; BARTH, G.; CAIRES, E.F. Aplicação Superficial de Calcário com Diferentes Teores de Magnésio e Granulometrias em Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1723-1736, 2015.

ROSOLEM, C. A.; FOLONI, J. S. S.; OLIVEIRA, R. H. Dinâmica do nitrogênio no solo em razão da calagem e adubação nitrogenada, com palha na superfície. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 38, n. 2, p. 301-309, 2003.

SILVA, J. M.; LIMA, J. S. S.; MADEIROS, L. B.; VIEIRA, A. O. Variabilidade espacial da produtividade da soja sob dois sistemas de cultivo no Cerrado. **Engenharia Ambiental** - Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 2, p. 397-409, mai /ago 2009.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v.32, n.2, p. 675-688, 2008.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; MELLO, F. F. de C. Componentes da produção e produtividade de cultivares de arroz e feijão em função de calcário e gesso aplicados na superfície do solo. **Bragantia**, v. 69, n.4, p. 965-974, 2010.

SOUSA, D. M.; LOBATO, E. Correção da acidez do solo. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Cerrado: Correção do solo e adubação. Brasília: **Embrapa**, cap. 3. p.81-95, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, T. Fisiologia Vegetal. 5ª ed. Porto Alegre: Artmed: 2013. 918p.

5. CAPÍTULO III

MORFOFISIOLOGIA DA SOJA SUBMETIDA A DIFERENTES FONTES DE FÓSFORO NO CERRADO PIAUIENSE

RESUMO

As fontes de fertilizantes fosfatados apresentam diferenças no produto das reações químicas entre o fertilizante e o solo, sendo influenciadas pelas características químicas e texturais do solo. Nesse sentido, objetivou-se com este estudo avaliar características morfofisiológicas da cultura da soja sob diferentes fontes de fósforo no sudoeste piauiense. O experimento foi realizado na Fazenda Agropecuária Dois Irmãos (Serra do Quilombo), localizada no município de Bom Jesus-PI. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, sendo que os tratamentos constaram de quatro fontes de fósforo (o superfosfato simples (SSP), o superfosfato triplo (SPT), fosfato natural reativo (FNR) e o fosfato natural reativo + enxofre (FNR+S)), mais uma testemunha com calcário Cincal, com quatro repetições, perfazendo-se 20 parcelas (25m x 12m). O experimento foi implantado na safra agrícola 2012/13 e as avaliações foram realizadas durante as safras 2013/14 e 2014/15. Foram avaliados o estande das plantas, teor de clorofila, índice de clorofila, fitomassa seca aérea, radiação fotossinteticamente ativa, eficiência da radiação fotossinteticamente ativa, número de ramos, número de legumes por planta, massa de mil grãos e produtividade dos grãos. As fontes de fósforo SSP, SPT, FNR e FNR+S influenciam positivamente nas variáveis do estágio fenológico de florescimento e de produção da soja, com aumento do estande de plantas, índice de área foliar, eficiência da RFA, peso de mil grãos e produtividade. A fonte de fósforo SSP é a mais eficiente, com aumento em todas as características morfofisiológicas da soja.

Palavras-chave: Glycine max, adubação fosfatada, latossolo amarelo, nutrientes, produtividade.

MORPHOPHYSIOLOGY OF SOYBEANS SUBMITTED TO DIFFERENT PHOSPHORUS SOURCES IN PIAUIENSE CLOSED

ABSTRACT

The sources of phosphate fertilizers present differences in the product of the chemical reactions between the fertilizer and the soil, being influenced by the chemical and textural characteristics of the soil. In this sense, the objective of this study was to evaluate morphophysiological characteristics of the soybean crop under different phosphorus sources in southwestern Piauí. The experiment was carried out at Dois Irmãos Agropecuária Farm (Serra do Quilombo), located in the municipality of Bom Jesus-PI. The experimental design was a randomized complete block design. The treatments consisted of four phosphorus sources (single superphosphate (SSP), triple superphosphate (SPT), natural reactive phosphate (FNR) and natural reactive phosphate + sulfur (FNR + S)), Plus one control with Cincal limestone, with four replicates, making up 20 plots (25m x 12m). The experiment was implemented in the 2012/13 crop season and the evaluations were carried out during the 2013/14 and 2014/15 seasons. The plant stand, chlorophyll content, chlorophyll index, aerial dry biomass, photosynthetically active radiation, photosynthetically active radiation efficiency, number of branches, number of vegetables per plant, mass of one thousand grains and grain yield were evaluated. The sources of phosphorus SSP, SPT, FNR and FNR + S positively influence the variables of the phenological stage of flowering and of soybean production, with increase of the plant stand, leaf area index, RFA efficiency, thousand grain weight and productivity. The source of phosphorus SSP is the most efficient, with an increase in all the morphological characteristics of soybean.

Key-word: Glycine max, phosphate fertilization, yellow latosol, nutritious, productivity.

5.1 Introdução

A cultura da soja (*Glycine max L.*) se destaca atualmente como uma das atividades agrícolas mais promissora da economia brasileira. tomando-se como base o processo de expansão, sendo responsável por mais de 56% da área cultivada no país, no qual, os ganhos de área e produtividade da cultura refletem num aumento de 6,1% na produção total do país (CONAB 2016).

O crescimento da cultura no país se deve aos avanços científicos e a disponibilização de tecnologias ao setor produtivo. Para Vencato et al. (2010), os fatores promotores desse avanço, está associado a mecanização e a criação de cultivares mais produtivos adaptados às diversas regiões e, ao desenvolvimento de tecnologias relacionados ao manejo de solos e da adubação e calagem. A forma de manejo do solo pode determinar o grau de eficiência da adubação fosfatada para a cultura da soja, bem como, os modos de aplicação do fertilizante fosfatado que são a lanço, na superfície, com ou sem incorporação, no sulco de plantio, em covas ou em faixas (SOUSA et al., 2004).

A grande expansão da soja no Brasil ocorre em regiões onde predominam solos altamente intemperizados, como os Latossolos. Estes solos em geral, apresentam como características químicas acidez elevada, pobreza em nutrientes, especialmente fósforo (P) disponível para as plantas. Apesar da elevada expansão nas áreas de cultivo, é necessário procedimentos que viabilizem a utilização dos solos ácidos e com baixa disponibilidade de cátions predominantes na região, mediante o uso adequado de corretivos da acidez do solo e do fornecimento de nutrientes, especialmente os de baixo conteúdo, como o P, uma vez que pouco se conhece sobre o comportamento das fontes de fertilizantes fosfatados nos atributos dos solos da região.

O P é o nutriente com baixa eficiência em absorção pelas plantas. Para adequada nutrição da cultura da soja em solos do Cerrado brasileiro, se faz necessária à utilização de elevadas doses de fertilizantes, devido à elevada capacidade de fixação de fósforo nesses solos ácidos, caracterizados pela baixa disponibilidade de nutrientes às plantas. Com isso, por sua grande adsorção à fase mineral do solo, o fósforo merece especial atenção, uma vez que apresenta baixa reversibilidade, principalmente nos óxidos de Fe e Al (SCHONINGER et al., 2013). Portanto, conhecer os efeitos das diferentes fontes pode representar em maior eficiência da adubação fosfatada no Cerrado piauiense.

Os fertilizantes fosfatados podem ser diferenciados pelo potencial de solubilidade, podendo seu comportamento variar em cada tipo de solo. As fontes superfosfato simples (SSP), superfosfato triplo (SST), fosfato natural reativo (FNR) e o fosfato natural reativo + enxofre (FNR+S), são bastante utilizadas na região do Cerrado sudoeste do Piauí.

Entretanto, com base nos problemas observados em campo sobre a dificuldade e a resposta diferencial do efeito dos atributos morfofisiológicos e produtivos das principais culturas exploradas na região, objetivou-se com este estudo avaliar características morfofisiológicas da cultura da soja sob diferentes fontes de fósforo no Cerrado sudoeste do Piauí.

5.2 Material e Métodos

5.2.1 Localização do experimento

O experimento foi realizado nos anos agrícolas 2013/14 e 2014/15, na Fazenda Agropecuária Dois Irmãos (Serra do Quilombo), localizada no município de Bom Jesus, Estado do Piauí, Brasil, e as coordenadas pontuais são 09°21'50'' de latitude sul e 44°43'81'' de longitude oeste, com altitude média de 550 m. O solo foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico – LAd, textura franco arenosa (argila: 90, silte: 30 e areia: 880 g kg⁻¹). Antes da calagem, e após a limpeza da vegetação nativa, realizou-se uma análise química, cuja composição apresentou: pH (CaCl₂): 4,35; P (Mehlich): 0,66 mg dm⁻³; K⁺: 10,77 mg dm⁻³; Ca²⁺: 0,4 cmolc dm⁻³; Mg²⁺: 0,1 cmolc dm⁻³; Al: 0,65 cmolc dm⁻³; (H+Al): 4,9 cmolc dm⁻³; SB: 0,5 cmolc dm⁻³; t:1,15 cmolc dm⁻³ T: 5,41 cmolc dm⁻³; V: 9,33% e m: 56,31%. O clima da região é do tipo Aw, segundo a classificação climática global de Köppen, com duas estações bem definidas, sendo uma seca, que vai de maio a setembro, e outra chuvosa, que vai de outubro a abril. Os dados de precipitação acumulada durante a realização do experimento encontram-se na Figura 1.

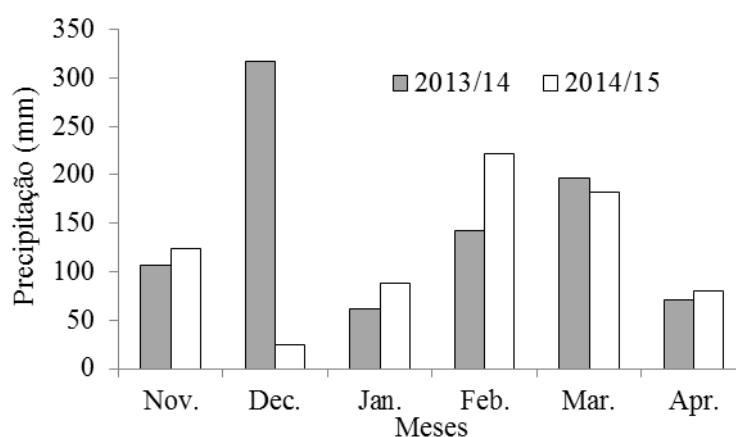


Figura 4. Médias mensais de precipitação pluviométrica, ocorridas na Fazenda Agropecuária Dois Irmãos, nos anos agrícolas 2013/14 e 2014/15, durante a realização dos experimentos.

5.2.2 Condução do experimento

A implantação do experimento teve início na safra (2012/13) realizando a calagem, utilizando o calcário Cincal em toda a área experimental. Em seguida, foi feito o preparo do solo, realizado com aração mecanizada na profundidade de 0-20 cm.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, sendo que os tratamentos constaram de quatro fontes de fósforo, mais uma testemunha com calcário Cincal, com quatro repetições, perfazendo-se 20 parcelas (25m x 12m). As fontes de fósforo testadas foram o superfosfato simples (SSP), o superfosfato triplo (SPT), fosfato natural reativo (FNR) e o fosfato natural reativo + enxofre (FNR+S), com as seguintes formulações e dosagens: 00:18:00/550kg; 00:43:00/230kg; 00:29:00/710kg; e 00:26:00/710kg, respectivamente.

Após a aplicação dos tratamentos, realizada no dia 26 de novembro de 2012, foi cultivado a cultura do arroz. No ano seguinte, iniciou-se os tratamentos com o cultivo da soja durante duas safras (2013/14 e 2014/15), avaliando o efeito das fontes de fósforo.

A semeadura da soja foi realizada nos dias 02 e 06 de dezembro, respectivamente em cada ano agrícola. A adubação foi constituída de 350 kg ha⁻¹ do formulado de N-P₂O₅-K₂O (02-30-20), aplicado via sulco. As sementes foram inoculadas com bactérias *Bradyrhizobium japonicum*, na dose de 3 mL p. c. kg⁻¹ de semente - estirpes SEMIA 5079 e 5080, do inoculante Nitragin Cell Tech HC[®] (3x10⁹ UFC/mL). A semeadura foi realizada com uso de semeador-adubadora, utilizando-se a cultivar MONSOY 9350. Cada parcela foi constituída de 24 linhas de semeadura de 25 m de comprimento, espaçadas de 0,50 m, tendo a área de cada parcela 300 m² (25 m x 12 m). Como área útil foi considerada as duas fileiras centrais. Manteve-se estande de 12 plantas m⁻¹, densidade populacional de 240.000 plantas ha⁻¹.

Os tratos culturais (controle de plantas daninhas, pragas e doenças) anteriores e posteriores a semeadura foram os recomendados para a região e, conforme as necessidades da cultura.

5.2.3 Variáveis analisadas

No início da floração (R_1) foi determinado: estande de plantas - foi avaliado 4 pontos aleatórios em cada unidade experimental. Em cada ponto foi realizada a contagem das plantas utilizando uma linha métrica de 2 m⁻¹; fitomassa seca de parte aérea - realizou-se a coleta de 5 plantas por unidade experimental. Logo após, foram colocadas em um saco de papel modelo 'Kraft' e, levadas a estufa de circulação de ar forçado 60° C, durante 72 horas até obtenção de massa constante, com posterior pesagem dos resíduos vegetais; índice de área foliar - determinada com medidor de área foliar eletrônico modelo Li-Cor, L1-3100®. Em seguida, foi determinada a massa seca em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até obtenção do peso constante. Por meio da área das folhas, calculou-se a área total de folhas da amostra e, com posterior leitura e ajuste na equação (IAF igual soma de toda superfície foliar *Área do Solo⁻¹). IAF correspondente (m² de folhas·m⁻² de solo).

Teor de clorofila - foram determinadas indiretamente, por meio de um medidor portátil de clorofila (ClorofilLOG CSL1030). As avaliações foram realizadas em quatro pontos aleatórios por parcela, medindo-se 3 pontos em diferentes partes na mesma folha e sempre no limbo foliar entre as nervuras no terceiro trifólio de cima para baixo.

Radiação fotossintética ativa – foi determinada com o uso de equipamento Ceptômetro Accu PAR PAR/LAI Ceptometer model LP-80 (Decagon Devices). As leituras foram realizadas entre 11h e 13h sob céu claro, medindo-se a intensidade luminosa acima do dossel e ao nível do solo. As medições foram realizadas nesse horário visando à redução da interferência do ângulo zenital. O aparelho foi colocado perpendicularmente à linha de semeadura formando um ângulo de 45° em relação ao zênite. Os dados da radiação do Ceptometer model LP-80 obtidos em $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ foram transformados para $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$, onde $1 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1} = 0,0864 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$. Os dados de RFA foram registrados em $\mu\text{mol s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ e convertidos em $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, adotando o seguinte procedimento (1):

$$\text{RFA} = \sum_{\text{diário}} \frac{(\text{RFA}(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}) \times t(\text{s}))}{1000000} (\text{mol de fótons m}^{-2} \text{ dia}^{-1}), \quad (1)$$

em que RFA é a radiação fotossinteticamente ativa, t é o tempo entre as coletas.

A radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFAint) pela cultura foi calculada da seguinte maneira (2) (Varlet-Grancher et al., 1989):

$$RFA_{int} = RFA_{inc} - RFA_{ts}, \quad (2)$$

em que RFA_{inc} é a radiação incidente e RFA_{ts} é a radiação transmitida ao solo. A eficiência de interceptação (ϵ_{int}) da RFA pela cultura foi estimada considerando-se a RFA_{int} e a RFA_{inc} pela expressão (3):

$$\epsilon_{int} = \frac{RFA_{int}}{RFA_{inc}}. \quad (3)$$

Por ocasião da colheita foram obtidos os seguintes caracteres: ramificações - presentes utilizando-se 3 plantas por cada unidade experimental; número de legumes - foram separadas as mesmas plantas avaliadas para a contagem do número de ramos, contando o número de legumes; massa de mil grãos - de acordo com a metodologia descrita em Brasil (2009); produtividade de grãos - padronizada para umidade dos grãos de 13% em $kg\ ha^{-1}$.

5.2.4 Análise estatística

As análises de variâncias individual e conjunta foram realizadas adotando o modelo estatístico e o procedimento de análise semelhante ao apresentado por Ramalho et al. (2012). As médias foram comparadas pelo teste de Scott e Knott (1974) a 5% de probabilidade. A análise estatística foi realizada com o auxílio do pacote estatístico SISVAR[®] (FERREIRA, 2011).

5.3 Resultados e discussão

Para as variáveis no estágio fenológico de florescimento pleno da soja, a análise de variância conjunta dos dados detectou diferenças significativas entre as fontes de fósforo apenas para o teor relativo de clorofila, fitomassa seca, radiação fotossintética ativa e eficiência da radiação fotossintética ativa (Tabela 1). Entretanto, o índice de área foliar e o estande de plantas foram afetados pelo efeito individual das fontes de fósforo, independentemente da safra agrícola (Tabela 2).

Tabela 1- Médias para as variáveis no estágio fenológico de florescimento pleno da soja em função das fontes de fósforo nas safras 2013/14 e 2014/15.

Safras agrícolas	Fontes de fósforo				
	Testemunha	SSP	SPT	FNR	FNR+S
Estande de plantas (m ⁻²)					
Safra 2013/14	12,87 ^{ns}	22,68	23,62	23,12	23,31
Safra 2014/15	12,25 ^{ns}	23,12	21,37	23,56	23,75
C. V.		7,49			
Índice de área foliar					
Safra 2013/14	1,5071 ^{ns}	2,6551	2,8873	3,2043	3,5174
Safra 2014/15	0,4489 ^{ns}	1,3513	0,9945	1,1610	1,3063
C. V.		28			
Engalhamento (unidade planta ⁻¹)					
Safra 2013/14	11,75 ^{ns}	8,58	11,00	8,75	7,5
Safra 2014/15	5,08 ^{ns}	7,5	5,66	5,83	6,5
C. V.		28,39			
Teor relativo de clorofila					
Safra 2013/14	49,88 ^{ns}	48,58	48,5	49,76	50,24
Safra 2014/15	54,73 ^{ab}	54,88 ^{ab}	55,08 ^a	52,50 ^{ab}	51,59 ^b
C. V.		3,23			
Fitomassa seca (g m ⁻²)					
Safra 2013/14	64 ^a	49,5 ^b	50 ^b	52,5 ^{ab}	53 ^{ab}
Safra 2014/15	28,29 ^b	43,88 ^a	38,38 ^{ab}	38,91 ^{ab}	45 ^a
C. V.		13,41			
Radiação fotossintética ativa (Mol m ⁻² dia ⁻¹)					
Safra 2013/14	105,69 ^b	149,76 ^a	169,71 ^a	132,68 ^{ab}	137,07 ^{ab}
Safra 2014/15	97,19 ^{ns}	105,5	92,82	109,82	101,13
C. V.		28,17			
Eficiência da radiação fotossintética ativa					
Safra 2013/14	0,69 ^b	0,96 ^a	0,95 ^a	0,91 ^a	0,92 ^a
Safra 2014/15	0,51 ^{ns}	0,52	0,53	0,53	0,56
C. V.		9,16			

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. SSP - superfosfato simples; SPT - superfosfato triplo; FNR - Fosfato natural reativo; FNR + S - Fosfato natural reativo + enxofre.

Todas as fontes de fósforo, SSP, SPT, FNR e FNR+S, foram eficientes no aumento do estande de plantas, com respectivos incrementos de 82,32 %, 79,14 %, 85,82 % e 87,34 %, bem como também no aumento do índice de área foliar (IAF), com percentuais de 104,81%, 98,44%, 123,16% e 146,59%, respectivamente, quando comparado à testemunha (Tabela 2). O incremento dessas variáveis pode ser atribuído à interação calagem e fosfatagem, que pode ter contribuído para o aumento do pH do solo e, conseqüentemente, aumento da disponibilidade de fósforo às plantas. Essas observações podem ser reforçadas por Negreiros (2014), que ao estudar a interação calcário e fontes de fósforo em solo do cerrado piauiense, observou elevação do pH do solo e aumento do teor de fósforo com calcário + SPT na profundidade de 0-40 cm, e também com calcário + SSP e calcário + FNR na camada de 10-20 cm. De acordo com Corrêa (2004), o sistema radicular da soja aumenta até 15 e 30 cm, em função de 50 e 150 kg ha⁻¹ de fósforo.

Tabela 2. Índice de área foliar (IAF), estande de plantas (EP) e engalhamento (EG) de plantas de soja em função das fontes de fósforo.

Atuação individual das fontes de fósforo	Variáveis	
	IAF	EP
Testemunha	0,9780 b	12,56 b
SSP	2,0032 a	22,90 a
SPT	1,9409 a	22,50 a
FNR	2,1827 a	23,34 a
FNR+S	2,4118 a	23,53 a

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna de cada fator não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. SSP - superfosfato simples; SPT - superfosfato triplo; FNR - Fosfato natural reativo; FNR + S - Fosfato natural reativo + enxofre.

As fontes de fósforo não influenciaram no aumento do teor relativo de clorofila em nenhuma das safras agrícolas (Tabela 1). O menor teor de clorofila com as fontes de fósforo pode ser atribuído ao maior IAF apresentado pela cultura (Tabela 2). Assim, quando se tem uma maior área foliar, também há um maior sombreamento entre as folhas. Isso pode promover uma redução no teor de clorofila na folha comparado a cultivos com maior IAF. Os resultados deste estudo corroboram com os resultados encontrados por Martins e Pitelli (2000), que ao estudarem sobre efeito da adubação fosfatada em plantas de soja, verificaram que as doses de fósforo 0, 50, 100 e 200 ppm também não proporcionaram aumento do teor de clorofila na folha.

Para a fitomassa seca (FS) da soja, não houve efeito positivo das fontes de fósforo na safra 2013/14 (Tabela 1). Contudo, na safra 2014/15, as fontes SSP e FNR+S incrementaram a FS em 55,11% e 59,07%, respectivamente, comparado à testemunha. Resultados positivos para o peso de fitomassa seca da parte aérea de soja foi observado por Martins e Pitelli (2000), com incremento de 233,44% pelo efeito da aplicação de 200 ppm de fósforo em solo com a elevação da saturação de bases a 70%. Dessa forma, o fósforo quando disponível para as plantas em quantidades adequadas promove maior crescimento e maior área foliar, proporcionando, maior captação da radiação solar e incremento na produção de fotoassimilados (BONFIM-SILVA et al. 2011).

A radiação fotossintética ativa (RFA) da soja foi afetada pelas fontes de fósforo apenas na safra 2013/14, com incremento positivo com as fontes SSP e SPT em relação à testemunha (Tabela 1). Enquanto que, a eficiência da RFA apresentou ganhos consideráveis com todas as fontes testadas (Tabela 1). A absorção da radiação incidente pelas culturas depende do seu índice de área foliar, posição solar, geometria e tamanho da folha, ângulo zenital, idade, arranjo das plantas, época do ano e nebulosidade (VARLET-GRANCHER et al., 1989). Nesse sentido, percebe-se nesse estudo que as fontes proporcionaram maior estande de plantas e conseqüentemente maior IAF. Como a fração de área foliar é maior, há um aumento também na eficiência de uso da radiação da cultura. Isto decorre do incremento na contribuição relativa das folhas sombreadas para o acúmulo de fitomassa da cultura, à medida que aumenta a fração difusa, e também da maior uniformidade da radiação no interior do dossel (RADIN et al., 2003). O rendimento da soja está relacionada a eficiência fotossintética na transformação da radiação solar interceptada e transformada em fitomassa seca (CASAROLI et al., 2007).

Para as variáveis no estágio fenológico de produção da soja, a análise de variância conjunta dos dados detectou diferenças significativas entre as fontes de fósforo para número de vagens, Peso de mil grãos e produtividade (Tabela 3). Para o número de vagens da soja, as fontes de fósforo não contribuíram com aumento dessa variável para nenhuma das safras agrícolas, quando comparado com a testemunha (Tabela 3). Entretanto, os resultados encontrados nesse estudo para as fontes FNR e SPT corroboram com os encontrados por Richart et al., (2006), que o uso das fontes Superfosfato triplo na dose 100 Kg ha⁻¹ de P₂O₅ e fosfato natural reativo na dose 200 Kg ha⁻¹ de P₂O₅, proporcionaram médias na ordem de 48,82 e 53,23, respectivamente.

Tabela 3- Médias para as variáveis do estágio fenológico de produção da soja em função das fontes de fósforo nas safras 2013/14 e 2014/15.

Safras agrícolas	Fontes de fósforo				
	Testemunha	SSP	SPT	FNR	FNR+S
Número de vagens (m ⁻²)					
Safra 2013/14	82,16 a	41,91 b	48,08 b	55,33 b	37,08 b
Safra 2014/15	20,58 ^{ns}	38,91	26,66	26,58	28
C. V.	29,35				
Peso de mil grãos (kg)					
Safra 2013/14	0,0975 ^{ns}	0,0755	0,075	0,0765	0,082
Safra 2014/15	0,1175 b	0,1700 a	0,1775 a	0,1775 a	0,1875 a
C. V.	13,83				
Produtividade (kg ha ⁻¹)					
Safra 2013/14	1240 ^{ns}	1017,5	1047,5	1225	1202,5
Safra 2014/15	856,25 c	1675 a	1431,25 ab	1356,25 b	1481,25 ab
C. V.	18,57				

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. SSP - superfosfato simples; SPT - superfosfato triplo; FNR - Fosfato natural reativo; FNR + S - Fosfato natural reativo + enxofre.

Para o peso de mil grãos da soja, todas as fontes de fósforo interferiram positivamente nos resultados dessa variável na safra 2014/15, com aumentos de 44,68%, 51,06%, 51,06% e 59,57%, respectivamente, para SSP, SPT, FNR e FNR + S, comparado à testemunha (Tabela 3). Da mesma forma, a produtividade da soja aumentou com todas as fontes de fósforo testadas na safra 2014/15, com destaque para a fonte SSP, com incremento de 95,62% em relação à testemunha (Tabela 3). Resultados positivos com aplicação de fósforo na soja já foram confirmados por alguns pesquisadores. Richart et al., (2006) encontraram máxima produtividade da soja (2255 Kg ha⁻¹) com o uso de 200 Kg ha⁻¹ de P₂O₅ na fonte fosfato natural reativo. Neto et al. (2010) encontraram máximo rendimento de grãos de soja (2614,7 kg ha⁻¹) com a aplicação de 94,8 Kg ha⁻¹ de P₂O₅ na fonte superfosfato triplo. Em estudo realizado por Brevilieri (2012) sobre a adubação fosfatada na cultura da soja em um Latossolo vermelho, verificou-se que o uso de 180 Kg ha⁻¹ de P₂O₅ na fonte superfosfato triplo promoveu máxima produtividade (1860,5 Kg ha⁻¹).

Portanto, a interação calagem + fosfatagem é uma prática viável para a maximização da produtividade da soja. Dessa forma, as fontes SSP, SPT, FNR e FNR+S proporcionaram melhor desenvolvimento e maior produtividade da soja, com destaque para SSP podendo assim ser recomendada para a região do estudo.

5.4 Conclusões

As fontes de fósforo SSP, SPT, FNR e FNR+S influenciam positivamente nas variáveis do estágio fenológico de florescimento e de produção da soja, com aumento do estande de plantas, índice de área foliar, eficiência da RFA, peso de mil grãos e produtividade.

A fonte de fósforo SSP é a mais eficiente, com aumento em todas as características morfofisiológicas da soja.

5.5 Referências bibliográficas

BONFIM-SILVA, E.M., SILVA, T.J., CABRAL, C.E.A.; GONÇALVES, J.M., PEREIRA, M.T.J. Produção e morfologia da leguminosa java submetida a adubação fosfatada. **Enciclopédia Biosfera** 7: 1-10, 2011.

BREVILIERI, R. C. Adubação fosfatada na cultura da soja em latossolo vermelho cultivado há 16 anos sob diferentes sistemas de manejo. Aquidauana – MS fevereiro/2012.

CASAROLI, D.; FAGAN, E. B.; SIMON J.; MEDEIROS, S. P.; MANFRON, P. A.; NETO, D. D.; LIER, Q. DE J. V.; MÜLLER, L.; MARTIN, T. N. Radiação Solar e aspectos fisiológicos na cultura de soja - uma revisão. *Revista da FZVA, Uruguaiana*, v.14, n.2, p. 102-120. 2007.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira, grãos, v. 4- Safra 2015/16 - Quarto levantamento, Brasília, p. 1-154, janeiro 2016.

CORRÊA, J. C., MAUAD, M., ROSOLEM, C. A. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. **Pesquisa. agropecuária brasileira.**, Brasília, v.39, n.12, p.1231-1237, dez. 2004.

CHUNG, G.; SINGH, R. J. Broadening the Genetic Base of Soybean: A Multidisciplinary Approach. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v. 27, n.5, p. 295-341, 2008.

GUARESCHI, R. F. **Emprego de fertilizantes revestidos por polímeros nas culturas da soja e milho.** Rio Verde, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, 2010. 44p. (Dissertação de Mestrado em Ciências Agrárias).

MARTINS, D.; PITELLI, R. A. Efeito da adubação fosfatada e da calagem nas relações de Interferência entre plantas de soja e capim-marmelada. **Planta Daninha**, v. 18, n. 2, 2000.

NEGREIROS, A.B. Teores de nutrientes, atributos microbianos e dinâmica do fósforo em função da calagem, fosfatagem e manejo do solo no cerrado piauiense. 64f. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal do Piauí, Bom Jesus, Brasil, 2014.

NETO, F. A.; GRAVINA, G. A.; SOUZA, N. O. S.; BEZERRA, A. A. C. Adubação fosfatada na cultura da soja na microrregião do Alto Médio Gurguéia1. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 2, p. 266-271, abr-jun, 2010.

RADIN, B.; BERGAMASCHI, H.; JUNIOR, C. R.; BARNI, N. A. MATZENAUER, R.; DIDONÉ, I. A. Eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa pela cultura do tomateiro em diferentes ambientes. **Pesquisa. Agropecuária. brasileira.**, Brasília, v. 38, n. 9, p. 1017-1023, set. 2003.

RICHART, A.; LANA, M. C.; SCHULZ, L. R.; BERTONI, J. C.; BRACCINI, A. L. Disponibilidade de fósforo e enxofre para a cultura da soja na presença de fosfato natural reativo, superfosfato triplo e enxofre elementar. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 30:695-705, 2006.

SCHONINGER, E. L.; GATIBONI, L. C.; ERNANI, P. R. Fertilização com fosfato natural e cinética de absorção de fósforo de soja e plantas de cobertura do cerrado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.34, n.1, p.95-106, 2013.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E.; REIN, T. A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. Planaltina, DF. **Embrapa Cerrados**, p. 416, 2004.

VARLET-GRANCHER, C.; GOSSE, G.; CHARTIER, M.; SINOQUET, H.; BONHOMME, R.; ALLIRAND, J. M. Mise au point: rayonnement solaire absorbé ou intercepté par un couvert végétal. **Agronomie**, Paris, v. 9, p. 419-439, 1989.

VENCATO, A. Z. **Anuário Brasileiro da Soja 2010**. Santa Cruz do Sul: Ed. Gazeta Santa Cruz, p. 144, 2010.