

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ  
CAMPUS PROFESSORA CINOBELINA ELVAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
MESTRADO EM SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E PRODUTIVIDADE DA SOJA EM  
FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA E POTÁSSICA EM SOLO FRANCO-  
ARENOSO

TIAGO PIETA RAMBO

BOM JESUS – PI

2018

TIAGO PIETA RAMBO

CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E PRODUTIVIDADE DA SOJA EM  
FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA E POTÁSSICA EM SOLO FRANCO-  
ARENOSO

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina Elvas, para obtenção do título de “Mestre” em Agronomia, na área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof. Dr. Julian Junio de Jesus Lacerda

BOM JESUS – PI

2018

### **Ficha Catalográfica**

Rambo, Tiago Pieta

Características agronômicas e produtividade da soja em função da adubação fosfatada e potássica em solo franco-arenoso. / Tiago Pieta Rambo. – Bom Jesus: UFPI, 2018.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina Elvas, Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Bom Jesus-PI, 2018.

Orientação: Prof<sup>o</sup> Dr. Julian Junio de Jesus Lacerda

1. Fertilidade do Solo; 2. *Glycine max*; 3. K<sub>2</sub>O; 4. Piauí; 5. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

TIAGO PIETA RAMBO

CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E PRODUTIVIDADE DA SOJA EM  
FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA E POTÁSSICA EM SOLO FRANCO-  
ARENOSO

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina Elvas, para obtenção do título de “Mestre” em Agronomia, na área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas.

Aprovada em: 27 / 08 / 2018

Profº. Dr. João Carlos Medeiros (CFCAF/UFSB)

Profº. Dr. Henrique Antunes de Souza (EMBRAPA MEIO-NORTE)

Profª. Dr.ª Ruthanna Isabelle De Oliveira (CPCE/UFPI)

Profº. Dr. Julian Junio de Jesus Lacerda (CPCE/UFPI)

(Orientador)

BOM JESUS – PI

2018

No que diz respeito ao  
empenho, ao compromisso,  
ao esforço, à dedicação,  
não existe meio termo. Ou  
você faz uma coisa bem  
feita ou não faz.

“Ayrton Senna”

*A minha filha amada  
Carolina e minha  
esposa Ranusce, por  
fazerem tudo valer a  
pena.*

*Aos meus pais, Teda e  
Ivo, pela força,  
incentivo e carinho.*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, agradeço pela saúde e paz, além da força para que seja possível vencer as batalhas do dia-a-dia.

A minha esposa, Ranusce. Que além de me apoiar, incentivar, me ajudar a crescer pessoal e profissionalmente, deu-me nesse período o maior presente que já recebi na vida, nossa filha, Carolina.

A toda minha família, em especial meus pais Ivo e Ieda, meu irmão Rafael, minha irmã Ana Paola e minha sobrinha Sophia. Por me ajudarem a se transformar em quem realmente sou hoje.

Ao Professor Julian Junio de Jesus Lacerda, imensamente agradeço pela orientação, atenção, amizade, profissionalismo e ensinamento. Agradeço ainda, por toda ajuda no planejamento e na condução desse projeto.

Ao meu Co-orientador, Professor João Carlos Medeiros, pela amizade e discussões que levaram a este trabalho e principalmente por me incentivar a participar do Programa de Pós-Graduação.

À banca examinadora pela disponibilidade, leitura criteriosa, correções e sugestões.

Aos proprietários da Fazenda União (Currais - PI), pela disponibilização da área, equipamentos, insumos e colaboradores para execução do projeto.

À Universidade Federal do Piauí e ao Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas e a CAPES pela oportunidade de realização do Mestrado.

Aos funcionários e técnicos do Laboratório de Solos da UFPI/CPCE, em especial ao Estefenson.

Ao Rezanio Martins, por ter contribuído.

Aos alunos da graduação em Engenharia Agrônômica da UFPI/CPCE, Naryel, Rubens, Sara e Jonathan, por toda a ajuda durante o desenvolvimento deste projeto.

A todos que generosamente contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

Tiago Pieta Rambo, nascido em 17 de novembro de 1989 na cidade de Santa Rita-AP, Paraguai. Em 2004 concluiu um curso técnico em montagem e manutenção de computadores. Concluiu o curso de Tecnólogo em Gestão e Marketing de Pequenas e Medias Empresas, pela Anhanguera UNIDERP, em 2010. É Engenheiro Agrônomo, pela Universidade Federal do Piauí (UFPI), em 2015. Em março de 2016 ingressou no curso de Mestrado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal do Piauí.

## SUMÁRIO

### Página

RESUMO GERAL .....	I
GENERAL ABSTRACT .....	II
LISTA DE TABELAS .....	III
LISTA DE FIGURAS .....	IV
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	V
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 A CULTURA DA SOJA .....	3
2.2 A REGIÃO DO CERRADO.....	4
2.3 FÓSFORO NA CULTURA DA SOJA .....	5
2.4 POTÁSSIO NA CULTURA DA SOJA .....	8
2.5 RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO FOSFATADA E POTÁSSICA.....	11
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	13
CAPÍTULO 2: CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E PRODUTIVIDADE DA SOJA EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA E POTÁSSICA EM SOLO FRANCO-ARENOSO .....	19
RESUMO.....	19
ABSTRACT.....	20
1. INTRODUÇÃO.....	21
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	27
4. CONCLUSÕES .....	34
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	35
ANEXOS .....	39

## RESUMO GERAL

RAMBO, Tiago Pieta. **Características agronômicas e produtividade da soja em função da adubação fosfatada e potássica em solo franco-arenoso.** 2018, 56p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal do Piauí, PI.

O entendimento sobre a resposta de diferentes doses da adubação fosfatada e potássica para a cultura da soja em solo com teores iniciais distintos é de grande importância para o melhor aproveitamento dos fertilizantes minerais, bem como o correto manejo da fertilidade construída ou em processo de construção dos solos do Cerrado piauiense. O objetivo do trabalho foi avaliar as características agronômicas e a produtividade da soja submetidas a diferentes doses de fósforo e potássio, cultivada em solos com teores iniciais disponíveis distintos. O experimento foi montado em três áreas com teores iniciais de fósforo e potássio disponíveis no solo distintos, na Serra da Laranjeira no município de Currais-PI, o solo é classificado como Latossolo Amarelo Distrófico. Utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, com parcelas sub-subdividas e quatro repetições. As parcelas consistiram nas três áreas com diferentes teores de fósforo e potássio, as subparcelas foram cinco doses de  $P_2O_5$  (0, 50, 100, 150 e 200  $kg\ ha^{-1}$ ) e as sub-subparcelas cinco doses de  $K_2O$  (0, 40, 80, 120 e 160  $kg\ ha^{-1}$ ). As variáveis mensuradas foram altura de plantas, diâmetro de caule, índice indireto de clorofila, fitomassa seca e produtividade de grãos. Não houve interação significativa entre as doses de fósforo e potássio, potássio e áreas, nem para fósforo, potássio e áreas com relação às variáveis estudadas. Para a altura de plantas, diâmetro de caule, fitomassa seca e produtividade houve interação significativa entre as áreas e as doses de fósforo. Em áreas do cerrado piauiense onde os teores de fósforo e de potássio no solo estiverem em níveis adequados, a adubação de manutenção é suficiente para manter a fertilidade nessas áreas e atingir boas produtividades.

**Palavras-chaves:** fertilidade do solo, *Glycine max*,  $K_2O$ , Piauí,  $P_2O_5$

---

<sup>1</sup>Orientador: Julian Junio de Jesus Lacerda – UFPI/Bom Jesus  
Co-orientador: João Carlos Medeiros – UFSB/ Ilhéus

## GENERAL ABSTRACT

RAMBO, Tiago Pieta. **Soy agronomic characteristics and productivity on the basis of phosphate and potassium fertilization in sandy loam soil.** 2018, 56p. Dissertation (Master's degree in Soils and Plant Nourishment). Federal University of Piauí, PI<sup>1</sup>.

The understanding over the response of different doses of phosphate and potassium fertilization for soy culture in soil with distinct initial content is of great importance for the better exploitation of mineral fertilizers, as well as the correct management of the constructed or in construction process fertility of Piauí's cerrado's soil. This paper evaluates the agronomic characteristics and productivity of soy subjected to different doses of phosphorus and potassium, grown in soils with different initial available contents. The experiment was assembled in three areas with distinct initial available contents of phosphorus and potassium in the soil, at the Serra da Laranjeira in the city of Currais-PI, where the soil is classified as Oxisol characteristic. The experimental delimitation of random blocks was utilized, in a split-plot arrangement and four repetitions. The plots consisted in the three areas with different contents of phosphorus and potassium, the subplots were five doses of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha<sup>-1</sup>) and the sub-subplots were five doses of K<sub>2</sub>O (0, 40, 80, 120 e 160 kg ha<sup>-1</sup>). The measured variables were plant height, stalk diameter, chlorophyll indirect index, dry phytomass and grain productivity. There was no significant interaction between the phosphorus and potassium doses, potassium and area, nor between phosphorus, potassium and area in relation to the studied variables. For plant height, stalk diameter, dry phytomass and productivity there was significant interaction between the areas and phosphorus doses. In areas of the Piauí's cerrado where soil contents of phosphorus and potassium are in adequate levels, maintenance fertilization is enough to maintain fertility in these areas and reach good productivity.

**Key words:** soil fertility, *Glycine max*, K<sub>2</sub>O, Piauí, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

---

<sup>1</sup>Adviser: Julian Junio de Jesus Lacerda – UFPI/Bom Jesus  
Co-adviser: João Carlos Medeiros – UFSEB/ Ilhéus

## **LISTA DE TABELAS**

### **Capítulo 2**

Tabela 1. Caracterização química e textural do solo (0–0,2 m) das três áreas experimentais antes da instalação do experimento.....24

Tabela 2. Interpretação da caracterização química para avaliação do equilíbrio nutricional e da fertilidade do solo nas áreas de estudo. Adaptado de Sousa e Lobato, 2002.....24

### **Anexo**

Tabela 1. Resumo das análises de variância para produtividade, altura de plantas, diâmetro de caule, fitomassa seca, índice indireto de clorofila A e clorofila B.....39

## LISTA DE FIGURAS

### Capítulo 2

- Figura 1. Precipitação pluvial média mensal observada na Fazenda União, Currais-PI, entre dezembro de 2016 e maio de 2017. Temperatura média registrada em Bom Jesus-PI (INMET, 2017) .....23
- Figura 2. Altura de plantas e diâmetro do caule em função das doses de  $P_2O_5$  (A e C) e de  $K_2O$  (B e D), respectivamente. \*\* - Significativo a 1%. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott .....28
- Figura 3. Índice indireto de clorofila (IC) “a” e “b” em função das doses de  $P_2O_5$  (A e C), de  $K_2O$  (B e D), respectivamente. Significativo a 5%, segundo teste de Scott-Knott (E e F). Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott..... 30
- Figura 4. Produtividade de grãos e fitomassa seca em função das doses de  $P_2O_5$  (A e C) e de  $K_2O$  (B e D), respectivamente. \*\* - Significativo a 1%. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott .....32

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

Ca – Cálcio

Ca/K – Relação de cálcio e potássio

Ca/T – Saturação de cálcio na CTC

CEPRO – Fundação Centro de Pesquisa Econômicas e Sociais do Piauí

CFCAF – Centro de Formação em Ciências Agroflorestais

CFSEMG – Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

CPCE – Campos Professora Cinobelina Elvas

CQFS – Comissão de Química e Fertilidade do Solo

CTC – Capacidade de troca catiônica

Dr. – Doutor

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EUA – Estados Unidos da América

FBN – Fixação biológica de nitrogênio

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais

IC – Índice de Clorofila

ICF – Índice de Clorofila Falker

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

K – Potássio

KCl – Cloreto de potássio

K/T – Saturação de potássio na CTC

MAP – Fosfato monoamônico

Mg – Magnésio

Mg/K – Relação de Magnésio e Potássio

Mg/T – Saturação de Magnésio na CTC

M.O. – Matéria Orgânica

P – Fósforo

PI – Piauí

Prof<sup>o</sup> – Professor

RS – Rio Grande do Sul

SC – Santa Catarina

SPD – Sistema plantio direto

T – Capacidade de troca catiônica

UFPI – Universidade Federal do Piauí

UFSB – Universidade Federal do Sul da Bahia

UNIDERP – Universidade para o Desenvolvimento do Estado e da Região do Pantanal

V – Saturação por bases

## CAPÍTULO 1

### 1. INTRODUÇÃO GERAL

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma cultura de grande potencial econômico e social, e se destaca ao longo dos anos entre as culturas mais exploradas em todos os segmentos da atividade agrícola no Brasil, com aumento crescente na área de cultivo a cada ano. Essa expansão atende a demanda do mercado internacional por grãos, matéria prima que empregada em diversos setores da indústria. A soja tem promovido de forma rápida o aproveitamento de áreas ainda não exploradas para a agricultura e assim, colaborado com a inserção de novas regiões para a cadeia produtiva.

O Cerrado piauiense é considerado uma das últimas fronteiras agrícolas do Brasil, e vivenciou, nas três últimas décadas uma acelerada ocupação do Cerrado, a qual se intensificou na década de 1990 por meio de grandes projetos de grãos, com a soja figurando como a cultura de destaque, que sobressai em todos os estratos de áreas da região (AGUIAR; MONTEIRO, 2005).

Um dos maiores fatores que limitam a produtividade das culturas em vários locais do mundo, incluindo o Brasil, é a elevada acidez no solo. Cerca de 41% dos solos da região nordeste possui acidez elevada, de maneira geral os solos da região dos Cerrados apresentam carência generalizada de bases trocáveis ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$ ) e níveis tóxicos de  $\text{Al}^{3+}$ , com deficiência acentuada de fósforo (FAGERIA; STONE, 1999). O Cerrado piauiense, além das propriedades mencionadas, possui a maior parte dos solos com textura franco-arenosa e baixa capacidade de troca catiônica (CTC), principalmente em função de baixos teores de matéria orgânica, que para os solos da região podem apresentar até 80% da CTC (PACHECO; PETTER, 2011).

O fósforo acaba ocupando um lugar de destaque dentro do desenvolvimento de altas produtividades na cultura da soja, como a maioria dos solos não possui teores adequados do nutriente, acaba gerando a obrigatoriedade de elevarem-se seus teores de forma gradual ou imediata no solo. O mesmo ocorre para o potássio, que geralmente reponde muito bem quando utilizado na produção de soja em solos tropicais.

A produção de soja na região estabeleceu-se através da intensa migração de produtores de muitas regiões do país, principalmente do Sul e Centro-Oeste (AGUIAR; MONTEIRO, 2005). Sendo assim, as recomendações de adubação foram na sua grande

maioria aplicadas de forma empírica, de conhecimentos adquiridos no seu local de origem e implantado na região com adaptações, porém, nem sempre houve acertos, as dificuldades encontradas no início, devido principalmente a falta de conhecimento no preparo de áreas e doses de fertilizantes a serem utilizados, ocasionaram a falência de um grande número de produtores.

Durante esses mais de 25 anos na região os produtores aperfeiçoaram as doses a serem utilizadas e épocas de plantio, porém, ainda não está claro para os produtores da região as quantidades de fertilizantes para a máxima eficiência econômica, o bom desenvolvimento da cultura e a manutenção da fertilidade construída, principalmente para se atingir máximas produtividades evitando o desperdício e uso em excesso dos fertilizantes minerais.

Sendo assim para que se tenha sustentabilidade e rentabilidade, o uso eficiente de adubos é de fundamental importância para a agricultura moderna, principalmente as grandes parcelas de áreas com o monocultivo da soja, em que deve-se conhecer as doses de maior retorno econômico e físico, além dos efeitos dos macronutrientes primários mais empregados na cultura, fósforo e potássio, nas condições edafoclimáticas do Cerrado piauiense.

Diante deste contexto, verifica-se a necessidade de compreender melhor a resposta da cultura da soja adubada com diferentes doses de fósforo e potássio em áreas com teores iniciais distintos dos elementos no solo.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 A cultura da soja

A soja (*Glycine max*) é uma planta anual da família das Fabáceas, uma das mais importantes oleaginosas cultivadas em todo o mundo que vem se destacando cada vez mais no cenário mundial devido à grande utilidade do grão e seus derivados, grão rico em proteínas (40%) e óleo (20%), e também pela sua boa adaptação em diversas regiões (CAMARA, 2015). Sendo uma planta herbácea, ereta, autógama que apresenta variabilidade para as características morfológicas, as quais são fortemente influenciadas pelo ambiente (SEDIYAMA et al., 2015).

Os maiores produtores e exportadores mundiais desta leguminosa são Brasil, Estados Unidos e Argentina, responsáveis por produzir 81,18% e exportar 87,60% de toda a soja comercializada no mundo. Os EUA lideram o ranking de produção com 119,518 milhões de toneladas, seguido do Brasil com 118,9 milhões de tonelada (CONAB, 2018).

De acordo com Dall’Agnol (2016), a sojicultura foi um marco no processo de desenvolvimento agroindustrial do Brasil. Sua influência é tão marcante, que é possível dividir esse processo em duas fases: o antes, onde havia apenas a agricultura de subsistência e o depois da soja, onde está sendo marcada pela agricultura empresarial. Ainda segundo o mesmo autor, a estabilidade da soja foi um fator determinante para o desenvolvimento econômico e social no país.

Na safra 2017/2018 consolidou-se o décimo primeiro ano consecutivo de aumento da área no Brasil, correspondente a 57% de toda a área cultivada com grãos no país. A sojicultura é uma das principais responsáveis pela expansão agrícola brasileira, ocupando a maior parte das áreas cultivadas do país e sempre crescente, saindo de 33,9 para 35,1 milhões de hectares na safra atual (17/18), ganho absoluto de 1,2 milhão de hectares, 3,7% superior à safra anterior, com uma produção de soja recorde, com acréscimo de 4,2% na safra passada e produtividade média de 3.382 kg/há<sup>-1</sup> (CONAB, 2018).

A região norte-nordeste é responsável por 6% deste aumento, com crescimento de 15 para 17 milhões de toneladas de grãos entre as safras de 2016/17 e 2017/18. No Nordeste, o Piauí obteve um acréscimo de 2,4%, quando comparado a última safra, chegando a 710 mil hectares, com produção de mais de 2,5 milhões de toneladas. Sendo o cerrado piauiense considerado uma das últimas fronteiras agrícolas do Brasil, com quase 12 milhões de hectares (CONAB, 2018).

No entanto, o cultivo da soja em todas as regiões do Brasil só se tornou possível devido a alguns fatores, como a crescente expansão das fronteiras agrícolas, os avançados estudos na fertilidade do solo e mecanização agrícola, os incentivos fiscais, o aumento no consumo do óleo vegetal na alimentação humana, o constante melhoramento genético, que desenvolveu genes adaptáveis a todas as regiões do país (SEDIYAMA, 2013), o uso de inovações no manejo, como sistema de plantio direto (SPD), fixação biológica de nitrogênio (FBN) e o controle fitossanitário, que são responsáveis por práticas mais sustentáveis no cultivo da soja (GAZZONI, 2016).

## **2.2 A região do Cerrado**

Além de constituírem o segundo maior bioma do Brasil, ficando atrás apenas da Amazônia, os Cerrados possuem a mais rica biodiversidade do mundo (KLINK; MACHADO, 2005), com uma área representativa de 2 milhões de km<sup>2</sup>, cerca de 25% do território brasileiro (IBAMA, 2002). Localizado predominantemente no Planalto Central, estende-se, aproximadamente, entre 5° e 20° de latitude sul, e entre 45° e 60° de longitude oeste, abrangendo os Estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Rondônia, Goiás, Tocantins, Maranhão, Piauí, Bahia, Minas Gerais, São Paulo e o Distrito Federal. Essa larga amplitude latitudinal e a heterogeneidade espacial, espelham um mosaico de diversidade vegetal (ALHO; MARTINS, 1995).

Esse bioma situa-se no Grupo NE, Cerrados do Nordeste, que correspondem àqueles de baixa altitude, em torno de 0 a 500 m (CASTRO; MARTINS, 1999). Nas últimas três décadas, tem-se observado expressivo aumento das atividades agrícolas e florestais em áreas deste Cerrado, com intensa substituição da vegetação nativa por áreas cultivadas, especialmente para produção de alimentos, fibra e energia (FERREIRA et al., 2007).

O Piauí, é o estado com a maior representatividade do cerrado na região Nordeste do Brasil, ocupa cerca de 12 milhões de hectares, dos quais 70,4% estão em sua área de domínio e 29,6% em sua área de transição com o bioma caatinga (MATOS; FELFILI, 2010). O Cerrado piauiense estende-se por uma área de 11.856.866 ha, o que corresponde a 5,9% dos cerrados do Brasil, 36,9% do Cerrado no Nordeste e 46% de todo o estado (FUNDAÇÃO CEPRO, 1992). Na safra 2017/2018, as áreas cultivadas com soja, milho e feijão no Piauí foram de 710,5; 425,2 e 235,3 mil hectares, respectivamente (CONAB, 2018).

O sudoeste do Estado do Piauí foi incluído no cenário agroeconômico do país devido à crescente demanda por produção de alimentos e ao potencial agrícola do Estado (SANTOS et al., 2016). As condições edafoclimáticas do Cerrado brasileiro favorecem o uso de gramíneas como cobertura, especialmente milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown) e brachiárias (*Urochloa* sp.), devido à maior tolerância dessas espécies ao estresse hídrico e à sua alta eficiência da produção de biomassa (LARA CABEZAS et al., 2004). Além disso, considerando as frequentes secas que ocorrem na área agrícola do Cerrado brasileiro durante o desenvolvimento das culturas anuais, a presença de biomassa na superfície do solo contribui significativamente para aumentar a eficiência do uso da água (CARVALHO et al., 2011).

O Cerrado piauiense vem crescendo linearmente no que diz respeito à produção da soja, devido a disponibilidade de aumento de áreas agricultáveis com baixo custo para o cultivo dessa planta, tanto pelas terras altas e planas quanto pelas condições climáticas como temperatura e umidade ideais que favorecem a cultura nos meses de novembro a março (SEDIYAMA et al., 2015).

### **2.3 Adubação fosfatada na cultura da soja**

Solos tropicais são conhecidos por apresentarem naturalmente baixa concentração de fósforo (P), além de uma alta capacidade em fixar o nutriente aplicado via fertilizante, fazendo do P um dos elementos mais utilizados na forma mineral nas lavouras, por ser um dos principais nutrientes que limitam a produção brasileira (NOVAIS et al, 2007).

Os teores de P nos solos possuem uma grande variação, dependendo principalmente do material de origem do solo, passando de valores próximos a zero em solos muito arenosos, chegando até 3 mg kg<sup>-1</sup> (RAIJ, 2017). Segundo o mesmo autor, o P encontrasse presente no solo em solução, fosforo lábil e fosforo não lábil, em que o fosforo lábil está em equilíbrio rápido com o P em solução, enquanto que o P não lábil é representado por compostos insolúveis, que necessita de um longo período de tempo e condições para se transformarem em fosfatos lábeis.

Raij (1981) relata que o P encontra-se no solo como ortofosfatos, que nada mais são que formas derivadas do ácido ortofosfórico H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, com baixíssima mobilidade no solo e ser absorvido na sua grande maioria por difusão. Devido à baixa mobilidade e perda de P principalmente por fixação em áreas com baixo teor do elemento no solo, devem se priorizar o fornecimento do nutriente por adubação total no sulco de plantio, aumentando assim a distribuição lateral e o teor do nutriente em profundidade, garantindo maior

aproveitamento pela planta, que por fim respondera no aumento de produtividade e altura final de plantas (BARBOSA et al., 2018).

Logo após a absorção o fósforo permanece na sua forma inorgânica ou é esterificado, passando a ser um simples éster, ou é ligado a outro fosfato para formar um ATP, responsável por transportar energia proveniente da fotossíntese para outros órgãos da planta (MARSCHNER, 1995). Segundo o mesmo autor, o P possui papel importante na constituição de estruturas moleculares como o DNA e RNA, além de fazer parte dos fosfolipídios, principal componente da membrana plasmática celular. Tem participação na sinalização celular e modifica proteínas irreversivelmente (EPSTEIN; BLOOM, 2004).

Por ser um nutriente móvel no floema o P, juntamente com o K, são elementos prontamente redistribuídos para outras partes da planta, principalmente órgãos novos e de crescimento (SFREDO; BORKERT, 2004). Os autores afirmam que a deficiência de P na cultura da soja promove diminuição no crescimento, com isso gera baixa inserção do primeiro legume e folhas velhas com coloração verde-azulada, devido à redistribuição do P para drenos da planta.

Schoninger et al. (2013) estudando a cinética de absorção de P na soja concluíram que nos estágios vegetativos iniciais a cultura não responde a aplicação de P no solo, além de conseguir fazer uso mais eficiente de P em baixas concentrações na solução quando comparados com outras culturas como o milho, sorgo e a braquiária. Entretanto, Grant et al. (2001), ressalta que a deficiência de P na fase vegetativa pode trazer prejuízos irreversíveis, já que o crescimento fica restringido e a planta não mais se recupera, limitando seriamente a produção de grãos.

Até o estágio reprodutivo R1, início do florescimento, a cultura da soja absorve aproximadamente 8% de todo o P necessário para completar seu ciclo, atingindo 50% do P total absorvido no estágio R4, do início ao final do enchimento de grãos, R5 a R6, a planta absorve os 50% restante (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2014). Segundo os mesmos autores, a cultura da soja para cada kg ha<sup>-1</sup> absorvido de P necessita absorver aproximadamente 4 e 10 kg ha<sup>-1</sup> de potássio e nitrogênio, respectivamente.

Segundo Ventimiglia et al. (1999) vários são os efeitos nocivos da deficiência de P na cultura da soja durante o período reprodutivo, inicialmente perceptível na diminuição da florada com aborto anormal das flores, os efeitos avançam para o estágio R4, onde ocorre abortamento e conseqüentemente diminuição da quantidade final de legumes, atingindo diretamente o potencial produtivo. Durante o estágio R2/R3 ou o pegamento de

vagens a sensibilidade da planta de soja com a deficiência de P é maior que no período de enchimento de grãos, R5 (ROSOLEM; TAVARES, 2006).

A melhor distribuição espacial para atingir maiores potenciais produtivos ocorre na diminuição do espaçamento entre linhas, ao invés de aumentar a população por metro linear em solo com baixo teor de P disponível (VENTIMIGLIA et al., 1999). Ferreira et al. (2018) avaliando o desempenho agrônômico da soja em resposta á densidade de semeadura e fertilização fosfatada e potássica, os autores concluíram que a produtividade não foi influenciada quando houve alteração da densidade de plantio em solos com disponibilidade alta de P.

Plantas de soja bem nutridas com P proporcionam produção de sementes com maior vigor, devido ao aumento da concentração de fósforo, zinco e ferro na semente (MARIN et al., 2015). Os autores concluíram que sementes constituídas com teores mais elevado de P acabam culminando em maiores produtividades. Além do correto fornecimento de P contribuir para a cultura da soja mitigar os efeitos do estresse hídrico em relação a assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (FIRMANO et al., 2009).

Segundo Cardoso et al. (2002) o aumento das doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O aplicadas na cultura da soja contribui para o aumento das pragas *Piezodorus guildinii* e *Diabrotica speciosa*. Para a cultura da soja o P em altas quantidades no solo mostra-se eficiente para diminuir a severidade de *Rhizoctonia solani*, pode ainda proporcionar maior resistência da planta a nematóides (ZAMBOLIM et al. 2012). Os autores enfatizam que a utilização do P deve ser realizada com o objetivo de aumentar a produtividade da cultura e que o controle de doenças é uma contribuição extra. Uma nutrição mineral adequada e equilibrada juntamente com algumas características genéticas podem trazer benefícios para o controle da ferrugem asiática da soja (BALARDIN et al., 2006). Ainda, o P em alguns casos contribui com a diminuição de algumas doenças e em outros ajuda no desenvolvimento do patógeno (ZAMBOLIM et al., 2012).

A baixa disponibilidade de P no solo com saturação por bases em torno de 50%, faz com que as raízes aumentem sua superfície de contato sem aumentar a matéria seca de raízes, ou seja, o crescimento acentua no comprimento enquanto diminui no diâmetro (ROSOLEM; MARCELLO, 1998). Os autores explicam que apesar disso em solos de textura média com teores de P inferior a 45 mg dm<sup>-3</sup> essa diferença na raiz não é suficiente para manter a mesma absorção de P do que áreas com quantidades maiores do nutriente. Outros fatores também são responsáveis pela absorção de P pelas plantas de soja, como a forma de adubação se a lança ou no sulco, quando a adubação é feita a lança a

compactação do solo pode reduzir a disponibilidade no elemento na solução afetando negativamente a absorção pela cultura (VALADÃO et al., 2017).

Fontes de P mais solúveis como o superfosfato triplo são mais aproveitadas pelas plantas quando o poder tampão do solo é menor, devido principalmente a baixa fixação, por outro lado quanto maior a capacidade tampão do solo a solubilidade das fontes menos solúveis, como os fosfatos naturais reativos, é maior (SILVA et al., 2009). Rosolem e Merlin (2014), estudaram a disponibilidade de fósforo no solo e a resposta da soja ao fertilizante aplicado no sulco de semeadura, e observaram que em solos arenosos com fertilidade construída a adubação fosfatada solúvel pode ser substituída por fosfatos reativos naturais em aplicação de superfície, visando principalmente agilidade na operação de semeadura.

Guareschi et al. (2011), avaliaram a adubação antecipada na cultura da soja com fontes de P e K convencional e revestida por polímeros, em solo argiloso com teor de P adequado e de K alto, e concluíram que quando o fertilizante foi aplicado 15 dias antes do plantio maiores produtividades foram adquiridas pelos fertilizantes com polímeros, enquanto que quando fornecido no plantio não houve diferença.

#### **2.4 Adubação potássica na cultura da soja**

O K é um cátion monovalente com a absorção altamente seletiva e intensamente ligada à atividade metabólica, é o íon mais abundante no citoplasma, responsável por neutralizar ânions de ácidos orgânicos e inorgânicos, estabilizando o pH dentro da célula vegetal (MARSCHNER, 1995). Ainda segundo o mesmo autor, o K não é metabolizado na planta e forma apenas complexos fracos nos quais é prontamente trocável. Através do grande acúmulo de K nos vacúolos e de fluxos de absorção e liberação ele é responsável por mediar o movimento da planta, atuando por exemplo, na abertura e fechamento dos estômatos e translocação dos fotoassimilados, ativa uma infinidade de enzimas e merece destaque para as relações hídricas vegetais (MAATHUIS, 2009).

O potássio é o segundo elemento absorvido em maiores quantidades pela cultura da soja, a adequada disponibilidade deste nutriente para a cultura promove aumento de muitas características produtivas importantes, como: aumento na quantidade de nódulos, do número de vagens por planta, do número de grãos por vagem, do peso de mil grãos (MALAVOLTA, 1980, 2006), aumento no teor do óleo de soja, entre outros (TANAKA et al., 1995). Segundo Catuchi et al. (2012), a complementação de K na cultura da soja contribui com a retomada do metabolismo fotossintético após o estresse hídrico e

promove ainda maior eficiência dos índices fisiológicos. Em áreas com o nível de K baixo no solo a adubação potássica contribui para a redução dos efeitos danosos do déficit hídrico (SERAFIM et al., 2012).

A deficiência de K na soja causa clorose intranerval, amarelecimento dos bordos foliares seguido de necrose em casos mais extremos, redução drástica da produtividade, deformação dos grãos, atrasando a maturação fisiológica da soja (BORKERT et al., 1994), como consequência as sementes oriundas dessas plantas apresentam baixos índices de vigor e germinação (SFREDO; BORKERT, 2004). Batistella Filho et al. (2013), avaliando a adubação com P e K na produção de sementes de soja concluíram que o aumento das doses de K em solo com nível médio não afetou o vigor das sementes de soja, apesar de ter melhorado a sua germinação. A deficiência de potássio também acarreta no desenvolvimento da retenção foliar e no aparecimento da haste verde (SILVA, 2013).

Balardin et al. (2006); Pinheiro et al. (2012) e Doreto et al. (2012), avaliaram a severidade da ferrugem asiática da soja em função das doses de potássio, constataram diminuição na incidência, severidade e progressão da doença na cultura da soja. Veiga (2007), estudou a influência do K na qualidade de sementes de soja e identificou que quanto maior a dose deste cátion aplicado na cultura menor é o dano causado por percevejo, principalmente com a aplicação de 200 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

Ainda, a alta relação K/Ca na saturação do solo pode resultar em aumento de algumas doenças, devido a deficiência de Ca (ZAMBOLIM; VENTURA, 2012). Os mesmos autores descrevem, que o K contribui com o decréscimo de doenças fúngicas como a podridão-da-vagem e mancha-púrpura em semente, entretanto, contribui para o aumento da população de nematóides do cisto e das galhas na cultura da soja. De maneira geral o adequado fornecimento de K para as culturas aumenta a resistência das plantas ao ataque de pragas e doenças (HOMHELD, 2005).

Até o estágio reprodutivo R1, início do florescimento, a cultura da soja absorve aproximadamente 22% do K necessário, atingindo 50% do K total absorvido no estágio R2, do final do florescimento pleno até o final do enchimento de grãos, R2 a R6, a planta absorve os 50% restante do K necessários para completar seu ciclo (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2014).

O principal mecanismo de contato íon-raiz responsável pela absorção do K é a difusão (RAIJ, 1981), tendo em vista o comportamento do elemento no solo, mesmo podendo entre outros fatores lixiviar com facilidade em solos arenosos, existe uma certa

flexibilidade em fornecer esse nutriente para as culturas (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2013). De acordo com Petter et al. (2012) a aplicação de potássio em superfície nos solos do Cerrado piauiense proporciona maior aproveitamento de K pela cultura.

Golçalves Junior et al. (2010), estudaram a produtividade da soja adubada com diferentes doses de P e K em solo de textura média com teor de médio disponível de P e K, e observaram significativo aumento da produção com a utilização do dobro da dose recomendada pelas tabelas de interpretação do solo, com 160 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 120 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Bernardi et al. (2009), estudaram doses e formas de aplicação da adubação potássica na rotação de culturas com soja e não encontraram diferenças na produtividade em função das doses de épocas de aplicação de K em Latossolo Vermelho argiloso com alto teor do nutriente.

Rosolem et al. (1984), avaliaram a adubação potássica na soja em solo leve e constataram que para o teor de K no solo não ser alterado ao longo de 3 anos de cultivo foi necessário a aplicação de aproximadamente 34 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O por tonelada de grão exportada, no caso, 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Ainda segundo os mesmos autores, doses elevadas de potássio em solo leve causam perdas expressivas por lixiviação, com menor intensidade quando a fonte utilizada foi o sulfato de potássio.

Lana et al. (2002) estudaram a resposta da soja a doses e modos de aplicação de potássio em solo de cerrado de textura arenosa com teor de K em nível médio, constataram o aumento significativo da produtividade, altura de plantas, altura de inserção de primeiro legume e teor de K no solo para a dose de 90 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Segundo os mesmos autores outras características como número de vagens por planta, número de lóculos vazios e número de sementes por plantas são beneficiados com o parcelamento das doses K durante o período reprodutivo.

Silva et al. (2014), avaliaram o efeito das doses e épocas de aplicação de K na cultura da soja e concluíram que em solo muito argiloso com alto teor disponível de K a adubação potássica pode ser realizada em qualquer momento do manejo da área, visto que o nutriente é adicionado apenas para suprir as necessidades de exportação da cultura. Segundo o mesmo autor nem sempre a adição de um nutriente resulta em aumento de produtividade, porém o mesmo deve ser aplicado para evitar a perda da fertilidade já construída.

Scherer (1998b) estudou a resposta da soja à adubação potássica em solo argiloso com teor de K disponível em nível alto, por 12 anos, identificou que a produtividade da cultura da soja varia em função da disponibilidade de K no solo, independente da

quantidade e modo de aplicação do fertilizante potássico. Por outro lado solo argiloso, com baixa disponibilidade de K, apresenta maior resposta na produtividade da soja com doses mais elevadas no sulco de plantio (JÚLIO et al., 2016). Enquanto que solo argiloso, com alta disponibilidade de K, não apresenta diferença na produtividade com a adubação realizada a lanço de forma antecipada ou no sulco de plantio (GUARESCHI et al., 2008). Porém, para solos mais arenosos com teor de disponibilidade alto de K, ocorre uma maior eficiência no uso de K com a adubação realizada 100% após 30 dias da emergência de plantas (PETTER et al., 2012).

O nível crítico de K para a cultura da soja em solos do Rio Grande do Sul e Santa Catarina foi quantificado em  $60 \text{ mg dm}^{-3}$  (CQFS RS/SC, 2004). Scherer (1998a), encontrou nível crítico de K para a cultura da soja em Latossolo Húmico em SC na ordem de  $63 \text{ mg dm}^{-3}$ . Posteriormente, Brunetto et al. (2005) em Argissolo do RS encontrou como nível crítico  $42 \text{ mg dm}^{-3}$ . Para o estado de Minas Gerais o nível crítico estipulado foi de  $40 \text{ mg dm}^{-3}$  (CFSEMG, 1999).

## **2.5 Recomendação de adubação fosfatada e potássica**

Vários são os fatores que afetam a resposta da adubação fosfatada e potássica pelas culturas, como a disponibilidade de outros nutrientes, as condições climáticas, as diferenças genéticas dentro de cada espécie vegetal, os tratos culturais e logicamente o teor disponível do elemento no solo (TECNOLOGIAS..., 2013).

Para o P extraído do solo pelo método Mehlich-1 obtém-se cinco níveis de disponibilidade, variando em função da classe textural de acordo com a quantidade de argila encontrada, com nível crítico de 6, 12, 20 e  $25 \text{ mg dm}^{-3}$  para os solos de textura muito argilosa, argilosa, média e arenosa, respectivamente (SOUSA et al., 2004). Segundo os mesmos autores para adubação fosfatada de correção a quantidade em  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  a ser aplicados varia de 15 para solos arenosos com nível médio e vai até 280 para solos muito argilosos com nível muito baixo de P disponível. Para determinar o nível crítico do elemento no solo considera-se uma produtividade relativa de 90% (RAIJ, 1981).

Para determinar o nível de disponibilidade de K no solo, leva-se em consideração uma subdivisão em função da capacidade de troca catiônica (CTC), quando a CTC for menor que  $4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  o teor varia de: < 15, 16 a 30, 31 a 40 e > 40  $\text{mg kg}^{-1}$  e para CTC maior que  $4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  o teor varia de: < 25, 26 a 50, 51 a 80 e > 80  $\text{mg kg}^{-1}$  para os níveis baixo, médio, adequado e alto, respectivamente (VILELA et al., 2004). Os autores

recomendam optar por adubação corretiva total ou gradual quando os níveis de K no solo estiverem em baixo ou médio e adotar adubação com metade da dose de manutenção caso os níveis estiverem em altos até que baixem para adequado.

De acordo com Sousa e Lobato (2004), para a cultura da soja recomenda-se aplicar 20 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e de K<sub>2</sub>O para cada tonelada de expectativa de rendimento quando os teores de P e K estiverem em nível adequado. Os mesmos autores recomendam aplicar somente 10 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 14 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O por tonelada de expectativa de rendimento quando o P e K estiverem em nível alto no solo.

Para cada 1.000 kg de grão produzidos a cultura da soja necessita absorver em kg ha<sup>-1</sup>: 83 de N; 15,4 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 38 de K<sub>2</sub>O; 12,2 de Ca; 6,7 de Mg e 15,4 de S, dos quais exporta pelos grãos em kg ha<sup>-1</sup>: 51 de N; 10 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 20 de K<sub>2</sub>O; 3 de Ca; 2 de Mg e 5,4 de S (Tecnologias..., 2013).

Não há registro de recomendação de calagem e adubação para a cultura da soja no Estado do Piauí, apenas alguns trabalhos pontuais com doses distintas de P e K, sem variação nos teores iniciais do solo para os nutrientes (ALCANTARA NETO et al., 2010; PETTER, 2012).

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, T. J. A.; MONTEIRO, M. S. L. Modelo agrícola e desenvolvimento sustentável: a ocupação do Cerrado piauiense. **Ambiente e Sociedade**, v. 8, p. 1-18, 2005.
- ALHO, C. J.; MARTINS, E.S. **De grão em grão o cerrado perde espaço: cerrado, impactos do processo de ocupação**. Brasília: WWF, 1995. 66 p.
- BALARDIN, R. S.; DALLAGNOL, L. J.; DIDONE, H. T.; NAVARINI, L. Influência do fósforo e do potássio na severidade da ferrugem da soja *Phakopsora pachyrhizi*, **Fitopatologia Brasileira**, v. 31, n. 5, p. 462-467, 2006.
- BARBOSA, N. C.; PEREIRA, H. S.; ARRUDA, E. M.; BROD, E.; ALMEIDA, R. F. Spatial distribution of phosphorus in the soil and soybean yield as function of fertilization methods. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 34, n. 1, p. 88-94, 2018.
- BATISTELLA FILHO, F.; FERREIRA, M. E.; VIEIRA, R. D.; CRUZ, M. C. P.; CENTURIUN, M. A. P. C.; SYLVESTRE, T. B.; RUIZ, J. G. C. L. Adubação com fósforo e potássio para produção e qualidade de sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 7, p. 783-790, 2013.
- BERNARDI, A. C. C.; OLIVEIRA JUNIOR, J. P.; LEANDRO, W. M.; MESQUITA, T. G. S.; FREITAS, P. L.; CARVALHO, M. C. S. Doses e formas de aplicação da adubação potássica na rotação soja, milho e algodão em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária tropical**, v. 39, n. 2, p. 158-167, 2009.
- BORKERT, C. M.; YORINORI, J. T.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; ALMEIDA, A. M. R.; FERREIRA, L. P.; SFREDO, G. J. Seja o doutor da sua soja. **POTAFOS: Associação Brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato**. Informações Agronômicas, n. 5, 1994. 17 p.
- BRUNETTO, G. GATIBONI, L. C.; SANTOS, D. R.; SAGGIN, A.; KAMINSKI, J. Níveis críticos e resposta das culturas ao potássio em um Argissolo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 565-571, 2005.
- CAMARA, G. M. S. Introdução ao negócio da soja. USP/ESALQ – Departamento de Produção Vegetal, 2015. 30 p. Disponível em:  
<<http://www.esalq.usp.br/departamentos/lpv/sites/default/files/LPV%200584%202015%20%20Soja%20Apostila%20Agronegocio.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2018.
- CARDOSO, A. M.; CIVIDANES, F. J.; NATALE, W. Influência da adubação fosfatada – potássica na ocorrência de pragas na cultura da soja. **Neotropical Entomology**, v. 31, n. 3, p. 441-444, 2002.
- CARVALHO, A. M.; SOUZA, L. P.; GUIMARAES JUNIOR, R.; ALVES, P. C. A. C.; VIVALDI, L. J. Cover plants with potential use for crop-livestock integrated systems in the Cerrado region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1200-1205, 2011.

- CASTRO, A. A. J. F.; MARTINS, F. R. Cerrados do Brasil e do Nordeste: caracterização, área de ocupação e considerações sobre a sua fitodiversidade. **Pesquisa Foco**, São Luís, v. 7, n. 9, p. 147-178, 1999.
- CATUCHI, T. A.; GUIDORIZZI, F. V. C.; GUIDORIZZI, K. A.; BARBOSA, A. M.; SOUZA, G. M. Respostas fisiológicas de cultivares de soja à adubação potássica sob diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 4, p. 519-527, 2012.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. ed, Lavras, 1999. 359 p.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed, Porto Alegre, SBCS – Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2004. 400p.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. v. 9, safra 2017/2018, nono levantamento, Brasília, 178 p. 2018.
- DALLAGNOL, A.; **A Embrapa Soja no contexto do desenvolvimento da soja no Brasil: histórico e contribuições**. Brasília, DF: Embrapa, 2016, p. 72.
- DORETO, R. B. S.; GAVASSONI, W. L.; SILVA, E. F.; MARCHETTI, M. E.; BACCHI, L. M. A.; STEFANELLO, F. F. Ferrugem asiática e produtividade da soja sob doses de potássio e fungicida, na safra 2007/08. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 3, p. 941-952, 2012.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Sunderland: Sinauer Associates, 2004. 403 p.
- FAGERIA, N.K.; STONE, L.F. **Manejo da acidez dos solos de cerrado e de várzeas do Brasil**. Santo Antonio de Goiás: EMBRAPA-CNPAF, 1999. 42p.
- FERREIRA, A. S.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; WERNER, F.; FRANCHINI, J. C.; ZUCARELI, C. Soybean agronomic performance in response to seeding rate and phosphate and potassium fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 3, p. 151-157, 2018.
- FERREIRA, E. A. B.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C.; RAMOS, M. L. G. Dinâmica do carbono da biomassa microbiana em cinco épocas do ano em diferentes sistemas de manejo do solo no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 31, n. 6, p. 1625-1635, 2007.
- FIRMANO, R. S.; KUWAHARA, F. A.; SOUZA, G. M. Relação entre adubação fosfatada e deficiência hídrica em soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 7, p. 1967-1973, 2009.
- CEPRO. FUNDAÇÃO CENTRO DE PESQUISAS ECONÔMICAS E SOCIAIS DO PIAUÍ. **Cerrados piauienses**. Teresina, PI: CEPRO, 1992. 64 p.
- GAZZONI, D. L. **Soybean and bees**. Brasília, DF. Embrapa, 2016, p. 147.

- GONÇALVES JUNIOR, 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. A.; FLATEN, D. N.; TOMASIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **POTAFOS: Associação Brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato**. Informações Agronômicas, n. 95, 2001. 5 p.
- GUARESCHI, R. F.; GAZOLLA, P. R.; PERIN, A.; SANTINI, J. M. K. Adubação antecipada na cultura da soja com superfosfato triplo e cloreto de potássio revestidos por polímeros. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 4, p. 643-648, 2011.
- GUARESCHI, R. F.; GAZOLLA, P. R.; SOUCHIE, E. L.; ROCHA, A. C. Adubação fosfatada e potássica na semeadura e a lanço antecipada na cultura da soja cultivada em solo de Cerrado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n.4, p. 769-774, 2008.
- HOMHELD, V. Efeitos do potássio nos processos da rizosfera e na resistência das plantas às doenças. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T.L. **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2005. p. 301-319.
- IBAMA. INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **GEOBRASIL 2002: Perspectivas do meio ambiente no Brasil**. Brasília, 2002. 476 p.
- JULIO, O. L. L.; ASCARI, J. P.; MENDES, I. R. N.; SANTOS, E. S.; DUARTE, W. M.; NIED, A. H. Formas de adubação potássica e produtividade da cultura da soja. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 9, n. 32, p. 149-155, 2016.
- KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 707-713, 2005.
- LANA, R. M. Q.; HAMAWAKI, O. T.; LIMA, L. M. L.; ZANÃO JUNIOR, L. A. Resposta da soja a doses e modos de aplicação de potássio em solo de cerrado. **Bioscience Journal**, v. 18, n. 2, p. 17-23, 2002.
- LARA CABEZAS, W. R. L.; ALVES, B. J. R.; CABALLER, S. S. U.; SANTANA, D. G. Influência da cultura antecessora e da adubação nitrogenada na produtividade de milho em sistema plantio direto e solo preparado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 4, p. 1005-1013, 2004.
- MAATHUIS, F. J. M. Physiological functions of mineral macronutrients. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 12, p. 250-258, 2009.
- MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação da soja**. 2. ed, São Paulo: ULTRAFERTL, 1980. 40 p.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 631 p.
- MARIN, R. S. F.; BAHRY, C. A.; NARDINO, M.; ZIMMER, P. D. Efeito da adubação fosfatada na produção de sementes de soja. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 62, n. 3, p. 265-274, 2015.

- MARSCHNER, H. Functions of mineral nutrients: macronutrient. In: MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed, London: Academic Press, 1995. p. 231-255.
- MATOS, M. Q.; FELFILI, J. M. Florística, fitossociologia e diversidade da vegetação arbórea nas matas de galeria do Parque Nacional de Sete Cidades (PNSC), Piauí, Brasil. **Acta Botanica Brasílica**. v. 24, n. 2, p. 483-496, 2010.
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J.; NUNES, F.N.; Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa:SBCS, 2007, p.471-550
- ALCANTARA NETO, F.; GRAVINA, G. A.; SOUZA, N. O. S.; BEZERRA, A. A. C. Adubação fosfatada na cultura da soja na microrregião do Alto e Médio Gurguéia. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 266-271, 2010.
- OLIVEIRA JUNIOR, A. DE; CASTRO, C. DE; OLIVEIRA, F. A. DE; FOLONI, J. S. S.; Marcha de absorção e acúmulo de macronutrientes em soja com tipo de crescimento indeterminado. In: Reunião de Pesquisa de Soja, 24, 2014. Londrina. **Resumos...** Comissão de Nutrição Vegetal, Fertilidade e biologia dos Solos, p. 133-136. 2014.
- OLIVEIRA JUNIOR, A.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F. A.; JORDÃO, L. T. Adubação potássica da soja: cuidados no balanço de nutrientes. **POTAFOS: Associação Brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato**. Informações Agronômicas, n. 143, 2013. 10 p.
- PACHECO, L. P.; PETTER, F. A. Benefits of cover crops in soybean plantation In: TZI BUN, N. G. (Ed.). Brazilian cerrados. Rijeka: **Soybean – Applications and Technology**, p. 67-94, 2011.
- PETTER, F. A.; SILDA, J. A.; PACHECO, L. P.; ALMEIDA, F. A.; NETO, F. A.; ZUFFO, A. M.; LIMA, L. B. Desempenho agrônômico da soja a doses e épocas de aplicação de potássio no cerrado piauiense. **Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 55, n. 3, p. 190-196, 2012.
- PINHEIRO, J. B.; POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A.; MOREIRA, A. S.; ALVES, M. C. Severidade da ferrugem da soja em função do suprimento de potássio e cálcio em solução nutritiva. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 1, p. 43-50, 2011.
- PRADO, M. P. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 407 p.
- RAIJ, B. V. **Avaliação da fertilidade do solo**. 2. ed, Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato: Instituto Internacional da Potassa, 1981. 142 p.
- RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2017. 420 p.
- ROSOLEM, C. A.; NAKAGAWA, J.; MACHADO, J. R. Adubação potássica da soja em latossolo vermelho-escuro fase arenosa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 11, p. 1319-1326, 1984.

- ROSOLEM, C. A.; MARCELLO, C. S. Crescimento radicular e nutrição mineral da soja em função da calagem e adubação fosfatada. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 55, n. 3, 1998.
- ROSOLEM, C. A.; MERLIN, A. Soil phosphorus availability and soybean response to phosphorus starter fertilizer. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1487-1495, 2014.
- ROSOLEM, C. A.; TAVARES, C. A. Sintomas de deficiência tardia de fósforo em soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 30, p. 385-389, 2006.
- SANTOS, D. P.; SANTOS, G. G.; SANTOS, I. L.; SCHOSSLER, T. R.; NIVIA, C. C.; MARCHÃO, R. L. Caracterização da macrofauna edáfica em sistemas de produção de grãos do Sudeste do Piauí. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1466-1475, 2016.
- SCHERER, E. E. Níveis críticos de potássio para a soja em latossolo húmico de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 57-62, 1998a.
- SCHERER, E. E. Resposta da soja à adubação potássica em latossolo húmico distrófico num período de doze anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 49-55, 1998b.
- 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.
- SERAFIM, M. E.; ONO, F. B.; ZEVIANI, W. M.; NOVELINO, J. O.; SILVA, J. V. Umidade do solo e doses de potássio na cultura da soja. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 2, p. 222-227, 2012.
- SEDIYAMA, T. Tecnologia de produção de sementes de soja. Londrina: Mecenias, 2013. 352 p.
- SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. **Soja do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2015. 333 p.
- SFREDO, G. J.; BORKERT, C. M. **Deficiência e toxidades de nutrientes em plantas de soja**. Londrina: Embrapa soja, 2004. 44 p.
- SILVA, A. F.; LAZARINI, E. Doses e épocas de aplicação de potássio na cultura da soja em sucessão a plantas de cobertura. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 1, p. 179-192, 2014.
- SILVA, A. J.; CANTERI, M. G.; SILVA, A. L. Haste verde e retenção foliar na cultura da soja. **Summa Phytopathol**, Botucatu, v. 39, n. 3, p. 151-156, 2013.
- SILVA, F. N.; 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. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 5, p. 1220-1227, 2009.
- SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 416 p.
- SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. Adubação com fósforo. In: SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 416 p.

TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; REGITAN-D'ARCE, M. A. B.; GALLO, P. B. Concentração e produtividade de óleo e proteína de soja em função da adubação potássica e da calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 4, p. 463-469, 1995.

TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO DE SOJA: REGIÃO CENTRAL DO BRASIL 2014. Londrina: **Embrapa Soja**, 2013. 265 p.

VALADÃO, F. C. A.; WEBER, O. L. S.; VALADÃO JUNIOR, D. D.; SANTIN, M. F. M.; SCAPINELLI, A. Teor de macronutrientes e produtividade da soja influenciados pela compactação do solo e adubação fosfatada. **Revista Ciências Agrárias**, v.40, n. 1, p. 183-195, 2017.

VEIGA, A. D. **Influência do potássio e da calagem na produtividade, na composição química e na qualidade de sementes de soja**. 2007, 93 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

VENTIMIGLIA, L. A.; COSTA, J. A.; THOMAS, A. L.; PIRES, J. L. F. Potencial de rendimento da soja em razão da disponibilidade de fósforo no solo e dos espaçamentos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 195-199. 1999.

VILELA, L.; SOUSA, D. M. G.; SILVA, J. E. Adubação potássica. In: SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 416 p.

ZAMBOLIM, L.; VENTURA, J. A.; ZANÃO JUNIOR, L. A. **Efeito da nutrição mineral no controle de doenças de plantas**. Viçosa, MG, 2012. 312 p.

## CAPÍTULO 2

### CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E PRODUTIVIDADE DA SOJA EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA E POTÁSSICA EM SOLO FRANCO-ARENOSO

#### RESUMO

RAMBO, Tiago Pieta. **Características agronômicas e produtividade da soja em função da adubação fosfatada e potássica em solo franco-arenoso**. 2018, Cap. 2, p. 19-39. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal do Piauí, PI.

O trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar as características agronômicas e a produtividade de soja, cultivada em áreas com distintos teores disponíveis de fósforo e potássio submetidas a níveis de adubação fosfatada e potássica em solo franco-arenoso. O experimento foi conduzido na Fazenda União no município de Currais-PI, em Latossolo Amarelo Distrófico. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com parcelas sub-subdividas e quatro repetições. Os tratamentos consistiram em três áreas com diferentes teores de fósforo e potássio, cinco doses de  $P_2O_5$  (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha<sup>-1</sup>) e cinco doses de  $K_2O$  (0, 40, 80, 120 e 160 kg ha<sup>-1</sup>). As avaliações realizadas fora altura de plantas, diâmetro de caule, índice de clorofila foliar, fitomassa seca e produtividade de grãos. Nenhuma variável estudada respondeu para adubação potássica nas três áreas do experimento. Enquanto que para a adubação fosfatada a altura de plantas, diâmetro de caule e a produtividade tiveram resposta quadrática nas áreas de baixa concentração de P. Áreas com fertilidade construída podem receber adubação fosfatada e potássica em qualquer momento do ciclo, visando apenas reposição dos nutrientes exportados pela cultura. O melhor manejo da adubação fosfatada e potássica em áreas novas se obtém por doses mais elevadas nos primeiros anos de cultivos, visando aumentar rapidamente os teores de disponibilidade no solo.

**Palavras-chaves:** Cerrado, fertilidade do solo *Glycine max*.

---

<sup>1</sup>Orientador: Julian Junio de Jesus Lacerda – UFPI/Bom Jesus  
Co-orientador: João Carlos Medeiros – UFSB/ Ilhéus

## ABSTRACT

RAMBO, Tiago Pieta. **Soy agronomic characteristics and productivity on the basis of phosphate and potassium fertilization in sandy loam soil.** 2018, Chapter 2, p.19-39. Dissertation (Master's degree in Soils and Plant Nourishment). Federal University of Piauí, PI<sup>1</sup>.

This paper evaluates the agronomic characteristics and productivity of soy, grown in areas with different available contents of phosphorus and potassium subjected to levels of phosphate and potassium fertilization in sandy loam soil. The experiment was conducted at the Fazenda União in the city of Currais-PI, on Oxisol characteristic. The experimental delimitation utilized was made in random blocks, in a split-plot arrangement and four repetitions. The treatments consisted in three areas of different phosphorus and potassium content, five doses of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha<sup>-1</sup>) and five doses K<sub>2</sub>O (0, 40, 80, 120 e 160 kg ha<sup>-1</sup>). The performed evaluations were plant height, stalk diameter, leaf chlorophyll index, dry phytomass and grain productivity. None of the studied variables responded to potassium fertilization in the three experiment's areas. Whilst for phosphate fertilization plant height, stalk diameter and productivity had quadratic reponse in areas with low P concentration. Areas with constructed fertility can receive phosphate and potassium fertilization at any cycle moment, aiming only at the reposition of the nutrients exported by culture. Improved management of phosphate and potassium fertilization in new areas is obtained by higher doses in cultivation's early years, aiming at the rapid growth of the soil's availability contents.

**Key words:** Cerrado, soil fertility *Glycine max.*

---

<sup>1</sup>Adviser: Julian Junio de Jesus Lacerda – UFPI/Bom Jesus  
Co-adviser: João Carlos Medeiros – UFSB/ Ilhéus

## 1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max*) é uma cultura de grande potencial econômico e social, com grande destaque na agricultura brasileira. Na safra 2017/2018 consolidou-se o décimo primeiro ano consecutivo de aumento da área, correspondente a 57% de toda a área cultivada com grãos no país (CONAB, 2018). E entre os nutrientes essenciais para esta cultura, o potássio (K) e o fósforo (P) ocupam lugares de destaque.

O P está entre os elementos com o maior potencial de limitação da produção de grãos das culturas na região dos cerrados (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2008; VALADÃO JÚNIOR et al., 2008; ALCANTARA NETO et al., 2010). A baixa concentração de P no solo provoca diminuição na altura de planta e redução da produtividade. Como a maioria dos solos não possuem teores adequados do nutriente, acaba gerando a obrigatoriedade de elevar seus teores de forma gradual ou imediata no solo (RAIJ et al., 2001). Segundo Fageria (1998), nos solos mais ácidos, como os de Cerrado, é necessária maior atenção para aumentar a eficiência do fósforo na produção vegetal.

O K geralmente responde muito bem quando utilizado na produção de soja em solos tropicais (FOLONI; ROSOLEM, 2008). Possui várias funções importantes na planta, como: regulação da turgidez dos tecidos, controle da transpiração através da abertura e fechamento dos estômatos, contribuindo fundamentalmente com a eficiência de uso da água pelo vegetal. Sendo assim, plantas nutridas com potássio são mais eficientes no uso da água do que as com deficiência (NELSON et al., 2005).

Segundo Caires e Fonseca (2000), a cada 1000 kg de grãos de soja exportados na produção, retira-se do solo 8,0 kg de P e 65,6 kg de K, o K na sua grande maioria retorna ao solo pelos restos culturais.

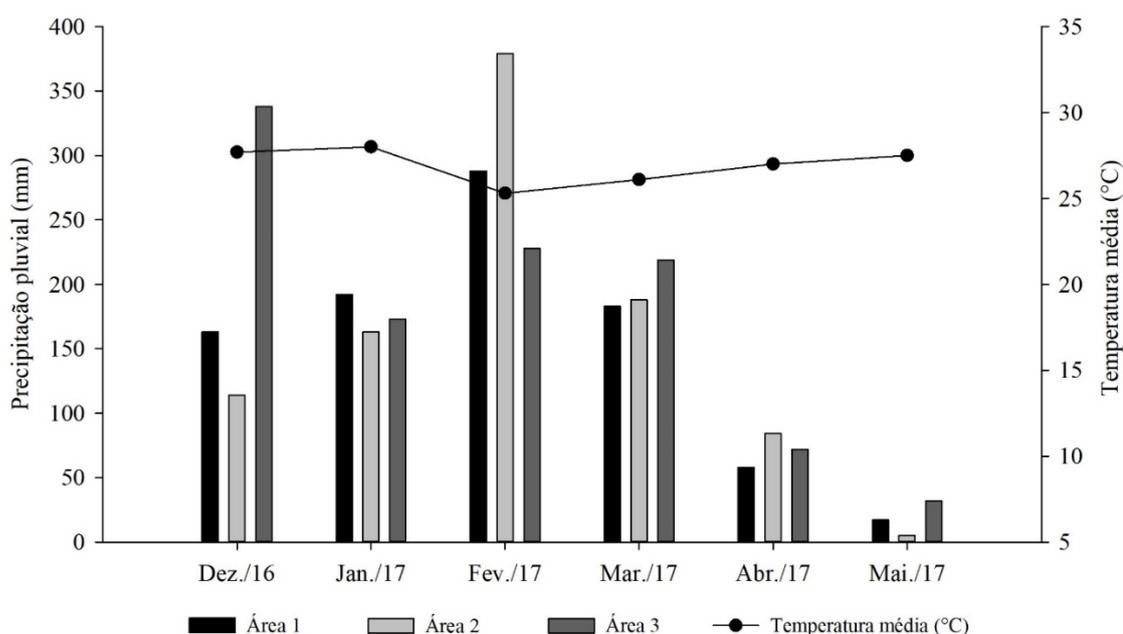
Devido principalmente a essas características e com o cultivo na região ainda em expansão, apesar das áreas pioneiras possuírem mais de 25 anos com a monocultura da soja, entender a necessidade de P e K para atingir produtividades dentro da esperada para a região é de fundamental importância para o manejo correto da adubação e uso eficiente de fertilizantes minerais.

Sabendo-se que a produção de soja no Piauí, estabeleceu-se através da intensa migração de produtores de muitas regiões do país, principalmente do Sul e Centro-Oeste (AGUIAR; MONTEIRO, 2005), as recomendações de adubação foram na sua grande maioria aplicadas de forma empírica, com doses fixas ou seguindo manuais de recomendação destinados para outros estados e condições edafoclimáticas.

Desta forma, o trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar as características agronômicas e a produtividade de soja, cultivada em áreas com distintos teores disponíveis de fósforo e potássio submetidas a doses de adubação fosfatada e potássica em solo franco-arenoso.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na safra 2016/2017 em três áreas distintas na Fazenda União. A área 1, 2 e 3 com as coordenadas 8°36.391'S 44°42.298'O, 8°34.721'S 44°41.251'O e 8°39.022'S 44°39.408'O, respectivamente, com altitude média de 550 m, situada no município de Currais, no sudoeste do Piauí. A região possui duas estações bem definidas, sendo uma chuvosa que engloba os meses de outubro a maio e a outra seca, de junho a setembro. O clima da região é do tipo Aw seguindo os critérios da classificação de Köppen, com precipitação anual média de 945mm (INMET, 2017). Os dados da temperatura e precipitação pluvial média da referente safra para as três áreas estão apresentados na Figura 1.



**Figura 1.** Precipitação pluvial média mensal observada na Fazenda União, Currais-PI, entre dezembro de 2016 e maio de 2017. Temperatura média registrada em Bom Jesus-PI (INMET, 2017).

A área experimental possui solo classificado como Latossolo Amarelo Distrófico. Antes da implantação do experimento coletou-se 15 amostras simples de cada área, formando uma amostra composta, para a caracterização química e textural do solo (Tabela 1) (SILVA, 2009).

**Tabela 1.** Caracterização química e textural do solo (0–0,2 m) das três áreas experimentais antes da instalação do experimento.

	pH H <sub>2</sub> O	P <sup>1</sup>	K <sup>1</sup>	Ca <sup>2</sup>	Mg <sup>2</sup>	Al <sup>2</sup>	H + Al	T <sup>3</sup>	V <sup>4</sup>	M. O. <sup>5</sup>	Argila	Areia
		mg dm <sup>-3</sup>		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				%	g kg <sup>-1</sup>			
<b>Área 1</b>	6,0	3	30	1,5	0,9	0	4,2	6,68	37,1	16,2	180	780
<b>Área 2</b>	6,4	20	61	2,5	1,3	0	4	7,96	49,7	14,2	160	800
<b>Área 3</b>	5,3	61	96	1,6	0,5	0	5,6	7,95	29,5	14,4	160	800

<sup>1</sup>P, <sup>1</sup>K: extração por mehlich 1; <sup>2</sup>Ca, <sup>2</sup>Mg, <sup>2</sup>Al: extração por KCl 1M; <sup>3</sup>T: capacidade de troca catiônica a pH 7,0; <sup>4</sup>V: saturação por bases; <sup>5</sup>M.O.: matéria orgânica.

As áreas foram escolhidas com base no histórico de calagem e adubação fornecidas pelo proprietário, bem como a fertilidade de cada área (Tabela 2). A área 1 recebeu uma calagem de 8 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na safra 2015/2016 onde foi cultivada com soja uma única vez, anterior a esse período a área era constituída por vegetação nativa, não recebeu fosfatagem ou potassagem. A área 2 possui sete anos de cultivo com a monocultura da soja, anterior a esse período a área era constituída por vegetação nativa, na abertura da área realizou-se uma fosfatagem com 0,7 Mg ha<sup>-1</sup> de fosfato natural de gafsa farelado (28% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e calagem, com calcário dolomítico, com 4 Mg ha<sup>-1</sup>, a nova aplicação de calcário dolomítico ocorreu na safra 2015/2016 com 5 Mg ha<sup>-1</sup>. A área 3 é cultivada também na monocultura da soja a 8 safras, anterior a esse período a área era constituída por vegetação nativa, com uma exceção, na safra 2014/2015, com o cultivo de milho, na abertura da área realizou-se uma fosfatagem com 0,6 Mg ha<sup>-1</sup> de superfosfato simples (18% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 16% de cálcio e 8% de enxofre) e calagem, com calcário dolomítico, com 3 Mg ha<sup>-1</sup>, a nova aplicação de calcário dolomítico ocorreu na safra 2016/2017 com 6 Mg ha<sup>-1</sup>. Todas as áreas receberam adubação de manutenção anual média de 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O.

**Tabela 2.** Interpretação da caracterização química para avaliação do equilíbrio nutricional e da fertilidade do solo nas áreas de estudo (SOUSA e LOBATO, 2002).

Áreas	P H	P	K	Ca	Mg	T <sup>1</sup>	V% <sup>2</sup>	Ca/T <sup>3</sup>	Mg/T <sup>4</sup>	K/T <sup>5</sup>	Ca/Mg <sup>6</sup>	Ca+Mg/K <sup>7</sup>	Ca/K <sup>8</sup>	Mg/K <sup>9</sup>
Área 1	a	Mb	M	a	a	a	a	22%	13%	M	b	A	a	a
Área 2	A	a	a	a	a	a	a	31%	16%	a	b	a	a	a
Área 3	M	A	A	a	a	a	M	20%	6%	A	a	b	b	M

Notas atribuídas de acordo com a classificação de Sousa e Lobato (2002); Mb: muito baixo; b: baixo; M: médio; a: adequado; A: alto. <sup>1</sup>T: capacidade de troca catiônica a pH 7; <sup>2</sup>V%: saturação por bases; <sup>3</sup>Ca/T, <sup>4</sup>Mg/T, <sup>5</sup>K/T: saturação de cálcio, magnésio e potássio, respectivamente, na T<sup>1</sup>; <sup>6</sup>Ca/Mg: relação cálcio e magnésio; <sup>7</sup>Relação cálcio + magnésio sobre K; relação cálcio + magnésio para potássio; <sup>8</sup>Ca/K: relação cálcio e potássio, <sup>9</sup>Mg/K: relação magnésio e potássio.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com parcelas sub-subdividas, 4 repetições, totalizando 75 tratamentos. As parcelas correspondem as áreas 1, 2 e 3 (Tabela 1), cada uma com 6.000m<sup>2</sup>, compostas por 4 blocos, com 5 subparcelas, que compreendem as doses de fósforo, com dimensões de 6 m x 50 m (300m<sup>2</sup>), cultivadas por 12 linhas de semeadura com 0,5 m entre linhas; as sub-subparcelas são formadas a partir da divisão das subparcelas em cinco partes iguais de 6 x 10m (60m<sup>2</sup>), que compreendem as doses de potássio. A área útil de cada parcela corresponde a 10 linhas centrais com 8m de comprimento. Os tratamentos consistiram em porcentagens das doses de fósforo e potássio recomendadas por Sousa e Lobato (2004) em cada uma das três áreas, considerando o nível de P e K como adequado e uma produtividade de soja esperada de 4.000 kg ha<sup>-1</sup>; sendo cinco doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e cinco doses de K<sub>2</sub>O (0, 40, 80, 120 e 160 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O). O fósforo foi fornecido via sulco na semeadura de forma mecanizada com o fertilizante MAP (fosfato monoamônico, com 12 % de N e 54% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), enquanto que o potássio foi aplicado manualmente em superfície 30 dias após a semeadura com o fertilizante KCL (cloreto de potássio, com 58% de K<sub>2</sub>O).

A semeadura da soja foi realizada mecanicamente nos dias 13/12/2016, 18/12/2016 e 5/1/2017 nas áreas 1, 2 e 3, respectivamente. Com a cultivar de soja M8349RR2 IPRO, altamente adaptada a região, com 280 mil sementes por hectare, previamente imunizadas com inseticida Clorantraniliprole, na dose de 60 g i.a.; fungicida Fludioxonil + Metalaxyl, na dose de 2,5 + 1 g i.a. O manejo fitossanitário no período vegetativo e reprodutivo foi realizado da mesma forma nas três áreas, de acordo com as recomendações para a cultura.

No início do florescimento, foram escolhidas aleatoriamente, três plantas por parcela para avaliação dos aspectos morfológicos como: medição da altura de plantas - com o auxílio de régua graduada, do solo ao meristema apical; diâmetro de caule - com paquímetro digital, a 2 cm do solo; clorofilas A e B - por leitura em aparelho clorofilômetro ClorofiLOG-CLF1030 (Falker®, Brasil) no folíolo central do terceiro trifólio completamente desenvolvido do ápice para a base. Para a determinação da massa seca, coletou-se três plantas por parcela, que foram levadas a estufa de circulação forçada a 65°C, por 72 horas, logo após pesadas com o uso de balança digital. Para determinar a produtividade, coletou-se manualmente 6 m<sup>2</sup> (quatro linhas de 3 metros de comprimento) na parte central de cada uma das sub-subparcelas, o material foi trilhado mecanicamente

pesado em balança digital, transformado em  $\text{kg ha}^{-1}$  e a produtividade corrigida para 13% de umidade.

Os dados de produtividade, fitomassa seca, altura de plantas, diâmetro de caule e clorofila A e B foram submetidos à análise de variância, a 5% de probabilidade. Em caso de efeito significativo, foram geradas equações de regressão para representar as respostas das culturas às doses de potássio e fósforo aplicadas. Os resultados qualitativos obtidos, comparação entre as áreas, foram submetidos a análise de variância por meio do teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade, ambos os testes realizados com o uso do sistema Sisvar (FERREIRA, 2011).

### 3. Resultados e Discussão

A análise estatística dos dados mostrou que não houve interação significativa entre as doses de fósforo e potássio, potássio e áreas, nem para fósforo, potássio e áreas com relação as variáveis estudadas. A falta de interação ente doses de P e K na cultura da soja foi observada por diversos estudos em condições distintas de solo e fertilidade (BATISTELLA FILHO et al., 2013; FERREIRA et al., 2018; GOLÇASLVES JUNIOR et al., 2010; MASCARENHAS et al., 1968), pode-se atrelar a isso a capacidade que a cultura da soja tem de absorver alguns nutriente, como o potássio, na forma não trocável do solo, mascarando a interação. Para as características: diâmetro de caule, altura de planta e produtividade houve interação significativa entre as áreas e as doses de fósforo.

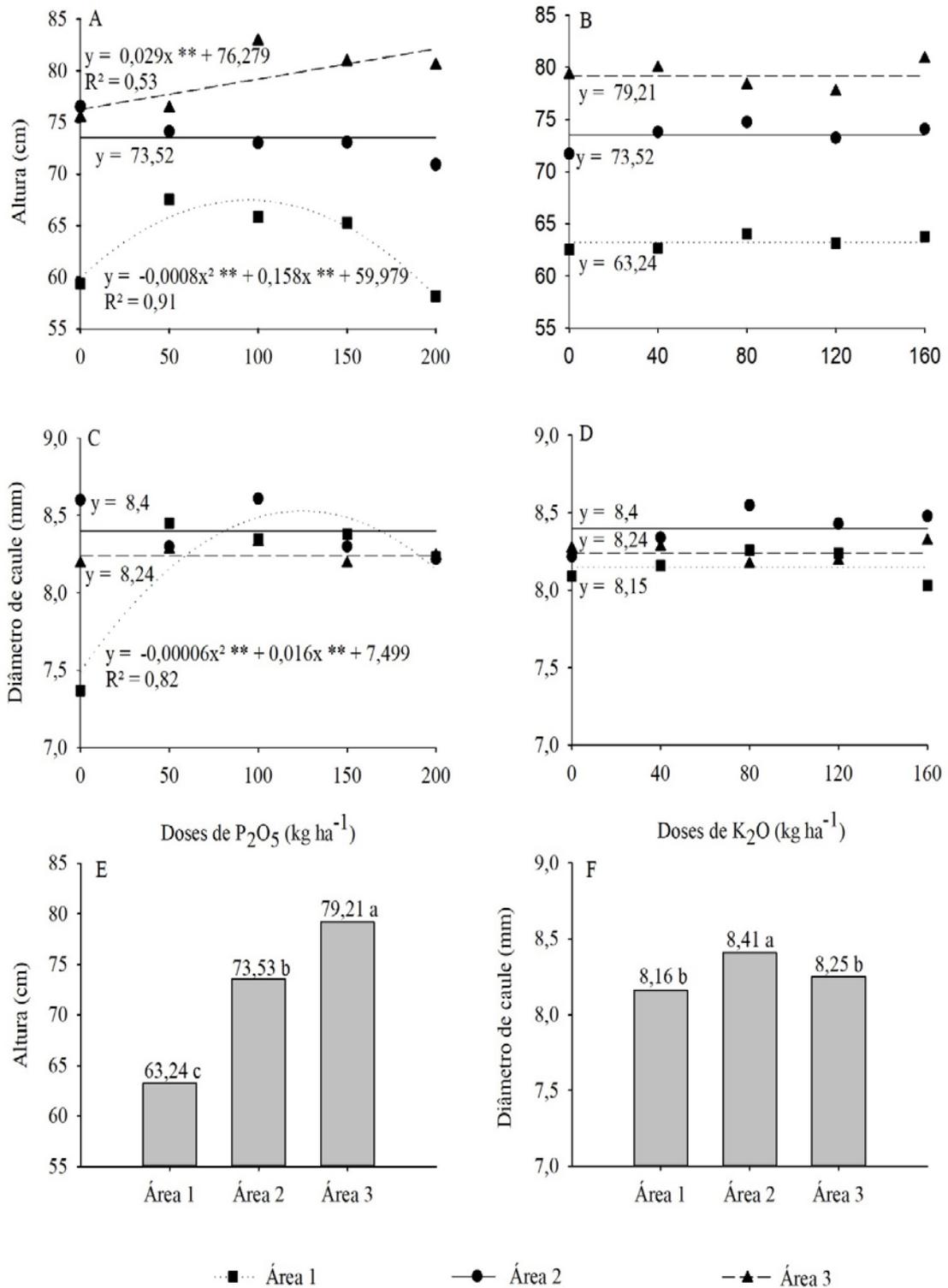
Para a área 3 a adubação fosfatada não interferiu no diâmetro de caule, mas teve resposta positiva para a altura de planta (Figura 2). Para a área 1 o diâmetro de caule e altura de planta apresentam curva de resposta quadrática, com diâmetro máximo de 8,52mm para a dose de 123,74 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 67,47cm de altura para 94,5 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Não há incremento de diâmetro de caule e altura de plantas com adubação fosfatada na área 2. Não houve resposta da adubação potássica para altura de planta e diâmetro de caule nas áreas 1, 2 e 3.

Apesar da deficiência de P não ser tão perceptível como de outros elementos, o efeito mais evidente é a acentuada redução do desenvolvimento da planta como um todo, principalmente pelo envolvimento direto na transferência de energia dentro da planta (ARAÚJO; MACHADO, 2006). Possivelmente por esse motivo a área 1, com menor teor de P, apresentou a menor altura de planta, diferindo das outras duas áreas.

Uma das características importantes que uma cultivar de soja deve possuir para ter boa aceitação entre os sojicultores é a altura, visto que ela está diretamente ligada a controle de plantas daninhas através da competição e sombreamento (ROCHA et al., 2012). Segundo os mesmos autores a altura de planta pode sofrer variações de acordo com a época de semeadura, estande final, espaçamento entre fileiras, condições climáticas e a fertilidade do solo. Além disso, a altura tem influência direta na colheita mecanizada, diminuindo significativamente as perdas na colheita (COMPAGNON et al., 2012).

Quanto maior os níveis de P e K no solo maior a altura de planta, o mesmo não ocorre para o diâmetro, que obteve a maior média na área 2, com menor densidade populacional. Procópio et al. (2013), estudando o plantio cruzado na cultura da soja constatou que o aumento na densidade de planta tem efeito direto na redução do diâmetro

do caule. Apesar da distribuição espacial das plantas na cultura da soja afetar algumas características agrônômicas, como o diâmetro, Ferreira et al. (2018) não identificou diferença na produtividade da soja quando houve alteração na densidade de plantio.



**Figura 2.** Altura de plantas e diâmetro do caule em função das doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (A e C) e de K<sub>2</sub>O (B e D), respectivamente. \*\* - Significativo a 1%. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott.

Além das características intrínsecas do cultivar, a variação do diâmetro de caule tem influência direta na resistência da planta ao acamamento, além de, aparentemente contribuir para a maior disponibilidade de água no fim do enchimento de grãos (SOUZA et al., 2013). Valadão Junior et. al (2008), encontrou diferença na altura de planta de soja cultivada em solos com teores de P muito baixo e de K baixo. Os teores disponíveis de P e K no solo podem não ser suficientes para expressar as máximas características do material, porém conseguem desenvolver a altura mínima para se manejar mecanicamente a cultivar.

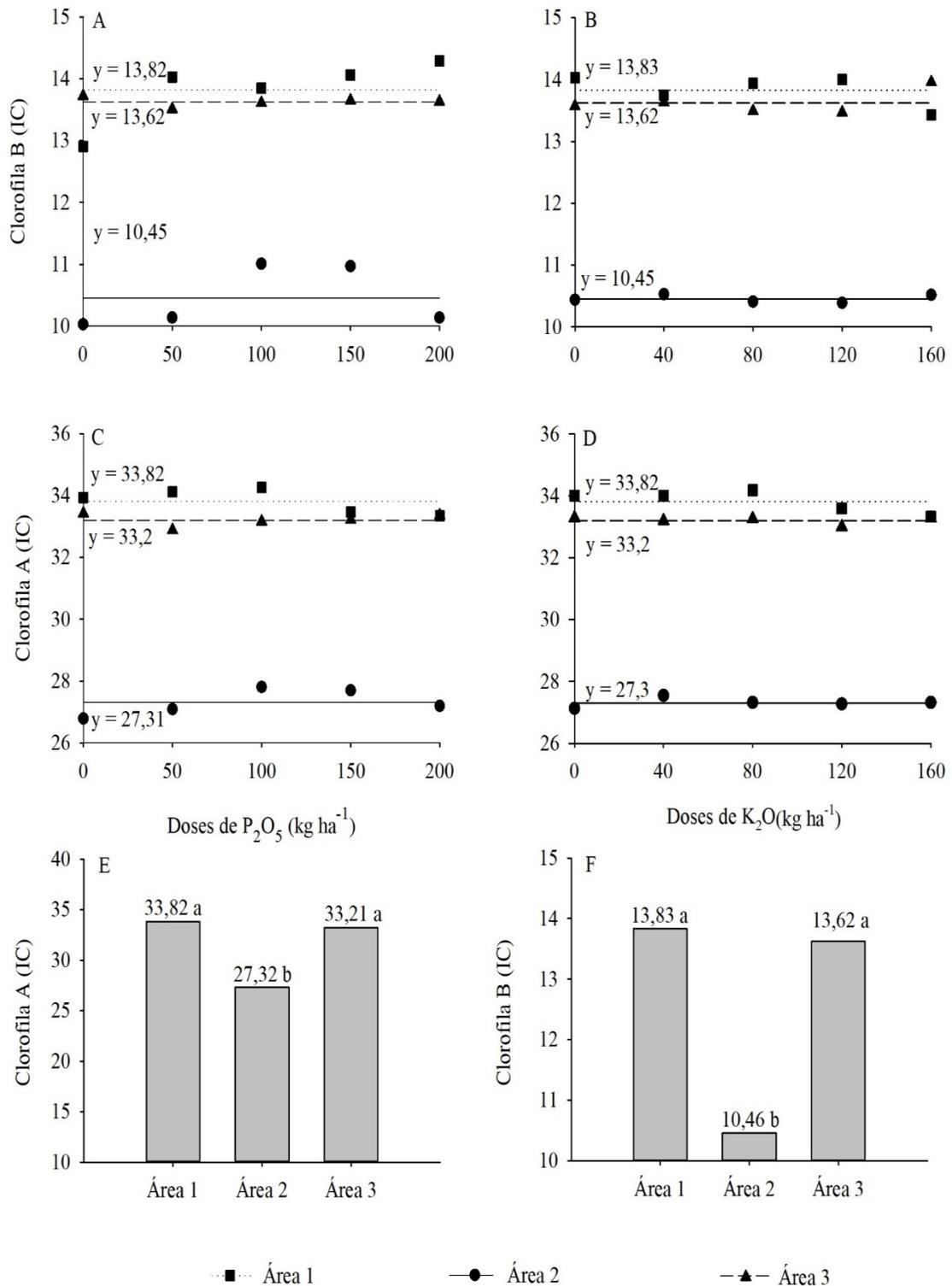
Para o índice indireto de clorofila (IC) A e B não houve resposta para nenhuma das três áreas em função da adubação fosfatada e potássica. Porém, para todas as situações a área com teores adequados de P e K obteve os menores IC A e B, enquanto a área com níveis mais baixos de P e K obteve os maiores IC (Figura 3). Apesar da medida indireta de clorofila possuir alta correlação com a disponibilidade de nitrogênio (SOUZA et al, 2011), vários aspectos podem influenciar o índice de clorofila tais como: o ano agrícola, local, variedades, clima, entre outros fatores, dificultando a estimativa de valores críticos, que facilitaria comparações e interpretações (BULLOCK; ANDERSON, 1998).

Para a área 2 ambas as clorofilas diferiram estatisticamente das demais com a menor média (Figura 2). A área 2 foi a última a ser plantada, com maior fotoperíodo a necessidade de produção de clorofila pode ter diminuído. Isso ocorre devido a variação da irradiação solar ao decorrer do desenvolvimento da cultura, afetando o ICF, com o aumento da disponibilidade de luz (GODOY et. al, 2008).

A clorofila é parte fundamental no desenvolvimento das plantas, sendo responsável por absorver a radiação solar necessária para realizar a fotossíntese (NASCIMENTO et al., 2009). Segundo Bastos et al. (2012), como a clorofila atua diretamente na eficiência fotossintética, qualquer alteração que venha a ocorrer trará como consequência efeitos diretos na produtividade de grãos. A determinação indireta de clorofila, tomada a partir de aparelhos portáteis, facilita o diagnóstico e a rápida avaliação do sistema fotossintético da planta, tornando mais fácil a tomada de decisão para o manejo (AMARANTE et al., 2010).

Rocha (2013), estudando a clorofila no desenvolvimento de plantas de soja e milho e sua correlação com atributos químicos e físicos do solo e produtividade, encontrou valores similares de IC total no início do período reprodutivo, em duas safras, como os do presente estudo. Petter et al. (2012) estudando o desempenho agrônômico da soja a

doses e épocas de aplicação de potássio no cerrado piauiense não identificou alterações nos níveis de clorofila e fitomassa seca.



**Figura 3.** Índice indireto de clorofila (IC) “a” e “b” em função das doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (A e C), de K<sub>2</sub>O (B e D), respectivamente. Significativo a 5%, segundo teste de Scott-Knott (E e F). Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott.

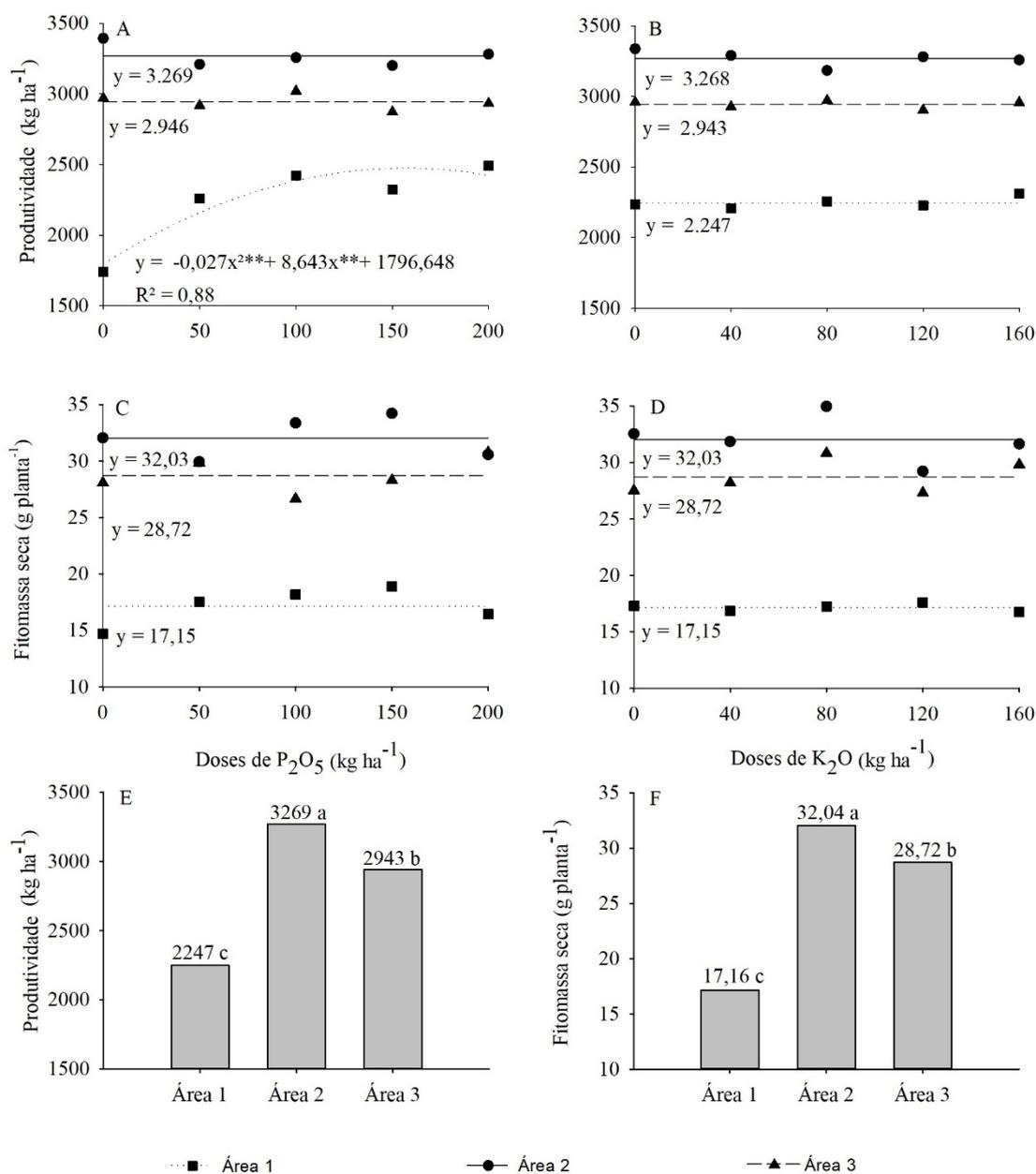
Não houve influência para fitomassa seca em função das doses de fósforo e potássio para as áreas em estudo, entretanto, a área com níveis mais baixos de P e K diferiu estatisticamente das demais com aproximadamente 54 e 60% do peso, quando comparados com as áreas de média e alta disponibilidade de P e K, respectivamente (Figura 4). Segundo Prado (2008), a deficiência de P nas plantas afeta a distribuição de ATP, causando falta de energia, comprometendo os processos de biossíntese da planta, que por sua vez ocorre o decréscimo acentuado na síntese de RNA, amido e lipídios levando a deficiência protéica acentuada, por esses motivos ocorre à diminuição da fitomassa seca no caule e nas partes reprodutivas.

A adubação potássica não trouxe aumento de produtividade para a cultura da soja nas áreas estudadas, isso provavelmente ocorreu devido as áreas de maior disponibilidade de potássio possuírem outro elemento ou situação limitante de produtividade, enquanto que, a área de menor disponibilidade por possuir apenas dois anos de cultivo pode ainda estar sendo influenciada pelo K-trocável que passou da vegetação nativa para o solo após a abertura da área (RAIJ, 2017).

A cultura da soja consegue fazer uso das reservas não-trocáveis de K, possuindo uma relação decrescente com o aumento da adubação potássica, variando ainda de acordo com a cultivar (FERNANDES et al., 1993). Devido ao avanço genético novas cultivares de soja são lançadas no mercado com uma maior eficiência de utilização de alguns nutrientes, entre eles o K. Algumas variedades de soja conseguem manter a produtividade elevada mesmo com baixa disponibilidade de K, possuindo uma maior eficiência de utilização deste nutriente (JORDÃO, 2014).

Segundo Meurer (2006), apesar do K ser um elemento indispensável para o desenvolvimento e maturação dos grãos, diferentes pesquisas em solos brasileiros mostram pouca resposta a fertilização com esse macronutriente. Como o menor teor de K disponível nos solos do presente estudo estiveram próximos a níveis adequados, explicaria a falta de respostas em todas as características mensuradas no presente estudo, incluindo produtividade. Silva e Lazarini (2014), também não encontraram resposta a aplicação de potássio em solos do cerrado.

Para a adubação fosfatada a área de baixa disponibilidade (área 1) apresentou incremento de produtividade com o aumento da dose, com ponto de máxima em 2475 kg ha<sup>-1</sup> de grãos de soja com a dose de 157 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Figura 4). As demais áreas do estudo não apresentaram incremento de produtividade com o aumento das doses de P.



**Figura 4.** Produtividade de grãos e fitomassa seca em função das doses de  $P_2O_5$  (A e C) e de  $K_2O$  (B e D), respectivamente. \*\* - Significativo a 1%. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott.

Lacerda et al. (2015) estudaram a rotação entre soja e milho em solo com fertilidade construída e não constaram aumento da produção grãos de soja em função do acréscimo das doses de P e K aplicadas no decorrer de três safras. O autor atribuiu o resultado a fertilidade construída do solo, o mesmo que ocorreu no presente estudo.

A área 2, com disponibilidade adequada de P e K, obteve a maior produtividade média quando comparadas as outras duas áreas, principalmente a área com teores mais elevados dos nutrientes em estudo. Provavelmente o balanço da disponibilidade de

nutrientes tenha contribuído para um equilíbrio nutricional da planta. A presença de magnésio em maior concentração na solução do solo, apresenta efeito sinérgico na absorção de fósforo (PRADO, 2008), o solo da área 2 apresenta maior saturação de magnésio na CTC potencial, esses fatores podem ter contribuído para a maior produtividade em função da maior absorção de P (Tabela 2).

Alcântara Neto et al. (2010) estudaram a adubação fosfatada na cultura da soja na microrregião do alto médio Gurgueia encontraram resposta quadrática a adubação em Latossolo do Cerrado piauiense com baixa disponibilidade de P, evidenciando ainda, que altas doses de aplicação de P comumente respondem em aumento da produtividade em solos com baixa disponibilidade de fósforo. Sempre que um nutriente adicionado ao solo na forma disponível para a cultura apresentar baixa disponibilidade na solução a probabilidade de resposta na produtividade é alta.

É difícil pensar em práticas de manejo e decisões agronômicas em soja, principalmente na adubação, sem levar em consideração o impacto sobre a produtividade de grãos. Entretanto, a produtividade de grãos é uma variável complexa, que expressa a interação da genética com o ambiente e está diretamente relacionada a práticas de manejo, que podem potencializar, ou não, a produtividade (ZANON et al., 2018).

#### 4. CONCLUSÕES

Em áreas de textura franco-arenosa, onde os teores de fósforo e de potássio no solo estão acima do adequado, a adubação de manutenção é suficiente para manter a fertilidade já construída nessas áreas e atingir elevadas produtividades.

Investimento em adubação com P e K, em solo franco-arenoso com teores classificados como médios e altos devem ser realizados apenas para manter a fertilidade do solo, uma vez que a cultura não responde com aumento de produtividade

O equilíbrio das bases da solução do solo mostra ser mais importante para a nutrição adequada da cultura da soja do que a quantidade de forma isolada.

O melhor manejo da adubação fosfatada e potássica em áreas novas se obtém por doses mais elevadas nos primeiros anos de cultivos, visando aumentar rapidamente os teores de disponibilidade no solo.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, T. J. A.; MONTEIRO, M. S. L. Modelo agrícola e desenvolvimento sustentável: a ocupação do cerrado piauiense. **Ambiente & Sociedade**. v. 8, n. 2, p. 161-178, 2005.
- AMARANTE, C. V. T.; STEFFENS, C. A.; SANGOI, L.; ZANARDI, O. Z.; MIQUELOTO, A.; SCHWEITZER, C. Quantificação de clorofila em folhas de milho através de métodos ópticos não destrutivos. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 9, n. 1, p. 39-50, 2010.
- ARAUJO, A. P.; MACHADO, C. T. T. Fósforo. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006.
- BASTOS, E. A.; RAMOS, H. M. M.; JUNIOR, A. S. A.; NASCIMENTO, F. N.; CARDOSO, M. J. Parâmetros fisiológicos e produtividade de grãos verdes do feijão-caupi sob déficit hídrico. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 1, n. 1, p. 31-37, 2012.
- BATISTELLA FILHO, F.; FERREIRA, M. E.; VIEIRA, R. D.; CRUZ, M. C. P.; CENTURIUN, M. A. P. C.; SYLVESTRE, T. B.; RUIZ, J. G. C. L. Adubação com fósforo e potássio para produção e qualidade de sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 7, p. 783-790, 2013.gosçalve
- BULLOCK, D. G.; ANDERSON, D. S. Evaluation of the minolta SPAD-502 chlorophyll meter for nitrogen management in corn. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 21, n. 4 p. 741-755, 1998.
- CAIERES, E. F.; FONSECA, A. F. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função da calagem na superfície. **Bragantia**, Campinas, v. 59, n. 2, p. 213-220, 2000.
- CAMPOS, L. P.; LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; IWATA, B. F.; NOBREGA, J. C. A. Atributos químicos de um latossolo amarelo sob diferentes sistemas de manejo. Brasília, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 12, p. 1681-1689, 2011.
- COMPAGNON, A. M.; SILVA, R. P.; CASSIA, M. T.; GRAAT, D.; VOLTARELLI, M. A. Comparação entre métodos de perdas na colheita mecanizada de soja. **Scientia Agropecuaria**, v. 3, p. 215-223, 2012.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. v. 9, safra 2017/2018, nono levantamento, Brasília, 178 p. 2018.
- FAGERIA, N. K. otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, p. 6-16, 1998.
- FERNANDES, D. M.; ROSSETO, C. A. V.; ISHIMURA, I.; ROSOLEM, C. A. Nutrição da soja e formas de potássio no solo em função de cultivares e adubação potássica. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 17, 1993.
- FEREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 1039-1042, 2011.

- FERREIRA, A. S.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; WERNER, F.; FRANCHINI, J. C.; ZUCARELI, C. Soybean agronomic performance in response to seeding rate and phosphate and potassium fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 3, p. 151-157, 2018.
- FOLONI, J. S.; ROSOLEM, C. A.; Produtividade e acúmulo de potássio na soja em função da antecipação da adubação potássica no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1549-1561, 2008.
- GODOY, L. J. G.; SANTOS, T. S.; BOAS, R. L. V.; JUNIOR, J. B. L. Índice relativo de clorofila e o estado nutricional em nitrogênio durante o ciclo do cafeeiro fertirrigado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, p. 217-226, 2008.
- GONÇALVES JUNIOR, 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.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados históricos da Estação Bom Jesus do Piauí – PI (OMM: 82975)**. 2018. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 10 ago. 2017>
- JORDÃO, L. T. **Absorção, redistribuição e uso de potássio (rubídio) por cultivares de soja com tipo de crescimento indeterminado**. 2014. 85 p. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- LACERDA, J. J. J.; RESENDE, A. V.; NETO, A. E. F.; HICKMANN, C.; CONCEIÇÃO, O. P. Adubação, produtividade e rentabilidade da rotação entre soja e milho em solo com fertilidade construída. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 9, p. 769-778, 2015.
- MASCARENHAS, H. A. A.; MIYASAKA, S.; IGUE, T.; FREIRE, E. S. VII – Efeito de doses crescentes de calcário, fósforo e potássio em solo Latossolo Roxo com vegetação de cerrado recém-desbravado. **Bragantia**. Campinas, v. 27, n. 25, 1968.
- MEURER, E. J. Potássio. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006.
- NASCIMENTO, R.; DEUNER, S.; FERREIRA, L. S.; BADINELLI, P. G.; KERBER, R. S. Crescimento e teores de clorofila e carotenoides em três cultivares de soja em função da adubação com magnésio. **Revista Ceres**, v. 56, p. 364-369, 2009.
- NELSON, K.A., MOTAVALLI, P.P.; NATHAN, M. M. Response of No-Till Soybean [ (L.) Merr.] to timing of preplant and foliar potassium applications in a claypan soil. **Agronomy Journal**, v.97, n.3, p.832-838, 2005.
- ALCANTARA NETO, F. A.; GRAVINA, G. A.; SOUZA, N. O. S.; BEZERRA, A. A. C. Adubação fosfatada na cultura da soja na microrregião do Alto e Médio Gurguéia. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 266-271, 2010.

- OLIVEIRA JUNIOR, A.; PROCHNOW, L. I.; KLEPKER, D. Eficiência agronômica de fosfato natural reativo na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 5, p. 623-631, 2008.
- PACHECO, L. P.; PETTER, F. A. Benefits of cover crops in soybean plantation in Brazilian cerrados. **Soybean-Applications and Technology**, p. 67-94, 2011.
- PETTER, F. A.; SILDA, J. A.; PACHECO, L. P.; ALMEIDA, F. A.; NETO, F. A.; ZUFFO, A. M.; LIMA, L. B. Desempenho agronômico da soja a doses e épocas de aplicação de potássio no cerrado piauiense. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 55, n. 3, p. 190-196, 2012.
- PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora UNESP, 2008.
- PROCÓPIO, S. O.; JUNIOR, A. A. B.; DEBIASE, H.; FRANCHINI, J. C.; PANISON, F. Plantio cruzado na cultura da soja utilizando uma cultivar de hábito de crescimento indeterminado. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 56, n.4, p. 319-325, 2013.
- RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2017. 420 p.
- RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285 p.
- ROCHA, D. M. **Índice de clorofila no desenvolvimento de soja e milho e sua correlação com atributos químicos e físicos do solo e produtividade**. 2013. 95 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel.
- ROCHA, R. S.; SILVA, J. A. L.; NEVES, J. A.; SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C. Desempenho agronômico de variedades e linhagens de soja em condições de baixa latitude em Teresina-PI. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 1, p. 154-162, 2012.
- SILVA, A. F.; LAZARINI, E. Doses e épocas de aplicação de potássio na cultura da soja em sucessão a plantas de cobertura. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 1, p.179-192, 2014.
- SILVA, F. C. da. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 627 p.
- SILVA FILHO, J. P.; LIMA, E. F.; FERREIRA, D. G. Avaliação do Consumo de energéticos florestais no Município de Gilbués, Piauí, Brasil. In: CONFERÊNCIA NACIONAL E SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DA DESERTIFICAÇÃO, Fortaleza. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 11 p. 1 CD-ROM, 1994.
- SOUZA, C. A.; FIGUEIREDO, B. P.; COLEHO, C. M. M.; CASA, R. T.; SANGOI, L. Arquitetura de plantas e produtividade da soja decorrente do uso de redutores de crescimento. **Bioscience Journal**. Uberlândia, v. 29, n. 3, p. 634-643, 2013.
- SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 416 p.

SOUZA, T. R.; SALOMÃO, L. C.; ANDRADE, T. F.; BOAS, R. L. V.; QUAGGIO, J. A. Medida indireta da clorofila e sua relação com o manejo da adubação nitrogenada em plantas cítricas fertirrigadas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n.3, p. 993-1003, 2011.

VALADÃO JUNIOR, D. D.; BERGAMIN, A. C.; VENTUROSO, L. R.; SCHLINDWEIN, J. A.; CARON, B. O.; SCHMIDT, D. Adubação fosfatada na cultura da soja em Rondônia. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, n. 3, p. 369-375, 2008.

ZANON, A. J.; SILVA, M. R.; TAGLIAPIETRA, E. L.; CERA, J. C.; BEXAIRA, K. P.; RICHTER, G. L.; JUNIOR, A. J. D.; ROCHA, T. S.; WEBER, P. S.; STRECK, N. A. **Ecofisiologia da soja visando altas produtividades**. Santa Maria: [s.n.], 2018.

## ANEXOS

**Tabela 1.** Resumo das análises de variância para produtividade, altura de plantas, diâmetro de caule, fitomassa seca, índice indireto de clorofila A e clorofila B.

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio					
		Produtividade	Altura	Diâmetro	Fitomassa	Clorofila A	Clorofila B
Bloco	3	67832 <sup>ns</sup>	172 <sup>*</sup>	0,58 <sup>ns</sup>	223 <sup>ns</sup>	4,10 <sup>ns</sup>	0,96 <sup>ns</sup>
Área	2	27208410 <sup>**</sup>	6547 <sup>**</sup>	1,60 <sup>*</sup>	6104 <sup>**</sup>	1291 <sup>**</sup>	357 <sup>**</sup>
Erro 1	6	37239	34	0,24	124	9,58	6,24
Fósforo (P)	4	424680 <sup>**</sup>	182 <sup>*</sup>	1,16 <sup>ns</sup>	37 <sup>ns</sup>	1,79 <sup>ns</sup>	4,26 <sup>ns</sup>
Área * Fosforo	8	762619 <sup>**</sup>	225 <sup>**</sup>	1,77 <sup>*</sup>	66 <sup>ns</sup>	2,98 <sup>ns</sup>	3,20 <sup>ns</sup>
Erro 2	24	92662	57	0,59	29	4,27	2,01
Potássio (K)	4	26417 <sup>ns</sup>	30 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	70 <sup>ns</sup>	1,28 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>
Área * Potássio	8	42585 <sup>ns</sup>	17 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	31 <sup>ns</sup>	0,97 <sup>ns</sup>	1,04 <sup>ns</sup>
Fósforo * Potássio	16	77701 <sup>ns</sup>	11 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>	13 <sup>ns</sup>	2,74 <sup>ns</sup>	0,66 <sup>ns</sup>
Área * P * K	32	41794 <sup>ns</sup>	14 <sup>ns</sup>	0,47 <sup>ns</sup>	31 <sup>ns</sup>	1,68 <sup>ns</sup>	0,66 <sup>ns</sup>
Erro 3	192	65235	19	0,51	24	1,60	1,08
Total	299						
CV1 (%)		6,84	8,20	6,04	43,02	9,84	19,77
CV2 (%)		10,79	10,56	9,36	21,00	6,58	11,23
CV3 (%)		9,06	6,19	8,69	19,05	4,03	8,23
Media Geral		2820,23	71,99	8,27	25,97	31,45	12,64
Unidade de medida		Kg ha <sup>-1</sup>	cm	mm	g planta <sup>-1</sup>	ICF	ICF