



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

MÔNICA MARIANA JORGE FRATONI

**FÓSFORO À LANÇO OU NO SULCO DE PLANTIO NA  
SUCESSÃO SOJA-TRIGO CULTIVADA EM LATOSSOLO  
VERMELHO EUTROFÉRICO**

---

Londrina  
2019

MÔNICA MARIANA JORGE FRATONI

**FÓSFORO À LANÇO OU NO SULCO DE PLANTIO NA  
SUCESSÃO SOJA-TRIGO CULTIVADA EM LATOSSOLO  
VERMELHO EUTROFÉRICO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Adônis Moreira.

Londrina  
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Fratoni, Mônica Mariana Jorge.

Fósforo à lanço ou no sulco de plantio na sucessão soja-trigo cultivada em Latossolo Vermelho eutroférico / Mônica Mariana Jorge Fratoni. - Londrina, 2019.

84 f. : il.

Orientador: Adônis Moreira.

Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2019.

Inclui bibliografia.

1. Nutrição mineral de plantas - Tese. 2. Adubação - Tese. 3. Modos de aplicação de fósforo - Tese. 4. Sucessão de culturas - Tese. I. Moreira, Adônis. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

MÔNICA MARIANA JORGE FRATONI

**FÓSFORO À LANÇO OU NO SULCO DE PLANTIO NA SUCESSÃO  
SOJA-TRIGO CULTIVADA EM LATOSSOLO VERMELHO  
EUTROFÉRICO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Agronomia.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador: Prof. Dr. Adônis Moreira  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
– EMBRAPA

---

Dra. Larissa Alexandra Cardoso Moreira  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
– EMBRAPA

---

Prof. Dr. Reges Heinrichs  
Universidade Estadual Paulista – UNESP

---

Prof. Dr. Gustavo Adolfo de Freitas Fregonezi  
Centro Universitário Filadélfia – UniFil

---

Profa. Dra. Maria de Fátima Guimarães  
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Londrina, 21 de fevereiro de 2019.

*Aos meus pais Wilson Aparecido Fratoni e Sandra Maria Jorge Fratoni, que sempre foram e são meus alicerces,*

*Pelo amor sem fim!*

*À minha irmã Juliana, meu cunhado Vladimir e meus sobrinhos Rafael e Gabriel, que tanto amo,*

*DEDICO!*

*À DEUS que é o meu Amor Maior, a minha razão de viver e o meu companheiro de  
todas as horas, mesmo quando eu nada mereço,*

*Todo louvor a Ti Senhor!*

*OFEREÇO!*

## AGRADECIMENTO

À DEUS, pois sem ELE nada seria feito e, com certeza, eu não teria chego até aqui. “Obrigada PAI, por ter me sustentado em cada fase da vida estudantil. Concluimos, juntos, o Doutorado, que presente mais incrível! Foram 11 anos de UEL até aqui e o SENHOR sempre comigo. Sei que tudo posso em Ti que me fortalece (Filipenses. 4.13). Obrigada por me dar ânimo e forças para prosseguir, por ter enviado JESUS para morrer e ressuscitar por mim e por todos, por ser o meu Salvador, e por nunca me abandonar. Te AMO meu DEUS!!! Glórias e louvores somente a Ti ♥.”

Aos meus pais Wilson e Sandra, por sempre me apoiarem e por toda a disposição em me ajudarem. Como sou agradecida por tê-los como pais. Já aprendi muito com vocês mas ainda tenho muito à aprender. Vocês são fantásticos e os admiro. Obrigada por todo amor e paciência. Essa vitória é também de vocês.

À minha irmã Juliana, meu cunhado Vladimir e aos meus sobrinhos Rafael e Gabriel. Obrigada por tanto amor e carinho para comigo. Vocês também fazem parte dessa vitória. Obrigada por sempre me apoiarem.

Ao meu namorado Kenneth, por todo amor que tem por mim. Como me ajudou com a montagem do trabalho de pitaya, na qualificação, e com as análises. Obrigada pelo apoio moral, pelos incentivos, por me ouvir falar de pitaya, soja e trigo por anos. Por ler os artigos. Por ter paciência comigo, por ser sincero e verdadeiro. Por tudo, meu amor. Que DEUS nos abençoe e que possamos sempre continuar nessa parceria tão linda. Te amo.

À Universidade Estadual de Londrina...minha amada UEL, que foi e é uma resposta de oração. Obrigada por toda a formação e aprendizado ao longo desses 11 anos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa concedida.

À Embrapa Soja por possibilitar o desenvolvimento do trabalho à campo e por algumas análises realizadas lá.

Ao orientador Adônis e à banca de defesa da tese, obrigada por aceitarem o convite e pelas sugestões.

A todos do Laboratório de Solos que me ajudaram desde a graduação, em especial, ao João e ao Márcio, que são técnicos incríveis. Obrigada pela amizade.

Ao senhor Bié por toda ajuda na casa de vegetação e por toda colaboração e dedicação com os trabalhos à campo.

Às minhas amigas que a UEL trouxe e que me ajudaram nas análises da tese: Karla, Marita, Daiane. Às minhas grandes amigas da vida: Mariana, Angela, Jéssica, Gica e Dayane. Obrigada!

À todos que, de alguma maneira, participaram e incentivaram esse trabalho. Obrigada!

*“Fazes crescer a relva para os animais e as plantas, para o serviço do homem, de sorte que da terra tire o seu pão.” Salmos 104.14*

*“Não temas, porque EU sou contigo; não te assombres, porque EU sou o teu DEUS; EU te fortaleço, e te ajudo, e te sustento com a minha destra fiel.” Isaías 41.10*

*“EBENÉZER: Até aqui nos ajudou o SENHOR.” I Samuel 7.12*

FRATONI, Mônica Mariana Jorge. **Fósforo à lanço ou no sulco de plantio na sucessão soja-trigo cultivada em Latossolo Vermelho eutroférico**. 2019. 84 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2019.

## RESUMO

A produção da soja e do trigo em larga escala é determinante para a economia de diversos países, como o Brasil. Em virtude disso, mais pesquisas para se aumentar e melhorar os aspectos da produção são necessárias. As técnicas de adubação têm papel fundamental para que as culturas tenham nutrição satisfatória. Visando esse fato, o presente estudo teve por objetivo avaliar os efeitos da aplicação de fósforo (P) à lanço ou no sulco de plantio, na sucessão soja-trigo, em duas safras. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados em esquema fatorial 2 x 4 (dois modos de aplicação do fósforo, que foram à lanço ou no sulco de plantio, e quatro doses de  $P_2O_5$  0, 60, 120 e 200 kg ha<sup>-1</sup>, fonte superfosfato triplo), em parcelas de 4,0 m x 8,0 m, em um Latossolo Vermelho eutroférico. Os parâmetros avaliados para a cultura da soja foram número de vagens, peso de 100 sementes, número de grãos por vagem por m<sup>2</sup>, altura das plantas e produtividade. Para a cultura do trigo foram avaliados o volume hectolitro (PH), altura de plantas, peso de 1000 sementes e produtividade. Foram avaliados o teor de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) nas folhas e grãos das duas culturas. Os dados foram submetidos à análise de variância com desdobramentos ortogonais, de regressão e teste de Tukey, quando necessário. Os resultados mostraram que as doses de P aplicadas e os modos de aplicação testados (à lanço ou sulco de plantio) influenciaram nos teores nutricionais foliares, teores nutricionais de grãos e nos componentes de produção da soja e do trigo. Para os atributos químicos do solo, houve influência significativa apenas para a soja, havendo significância para o carbono (C) orgânico, Mg e Al. Os dois modos de aplicação se mostraram eficientes e viáveis para a soja e trigo em solo com níveis adequados de P, sendo que na maior dose aplicada (120 kg ha<sup>-1</sup>) houve um maior incremento dos nutrientes analisados, bem como na produtividade das duas culturas.

**Palavras-chave:** *Glycine max* (L.) Merrill. *Triticum aestivum* L. Adubos fosfatados. Técnicas de adubação. Nutrição mineral.

FRATONI, Mônica Mariana Jorge. **Phosphorus to haul or plant ground in the succession of soybean-wheat cultivated in eutroferic Red Latosol**. 2019. 84 p. Thesis (Doctoral Degree in Agronomy) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2019.

### ABSTRACT

The production of soy and wheat on a large scale is determinant for the economy of several countries, such as Brazil. As a result, research to increase and improve production aspects is necessary. Fertilization techniques play a key role in ensuring that crops have good nutrition. Aiming at this fact, the present study aimed to evaluate the effects of the application of phosphorus (P) to the haul and in the planting groove in the soybean-wheat succession, in two crops. The experimental design was a randomized complete block in a 2 x 4 factorial scheme (two modes of phosphorus application, which were in the haul and in the planting groove, and four doses of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0, 60, 120 and 200 kg ha<sup>-1</sup>, source superphosphate triple), in plots of 4,0 m x 8,0 m, in an eutroferic Red Latosol. The parameters evaluated for the soybean crop were number of pods, weight of 100 seeds, number of grains per pod per m<sup>2</sup>, plant height and productivity. For the wheat crop, the volume of hectoliter (PH), height of plants, weight of 1000 seeds and productivity were evaluated. The nutrient content (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn and Zn) was evaluated in the leaves and grains of the two cultures. Data were submitted to analysis of variance with orthogonal, regression and Tukey test. The results showed that the doses of P applied and the modes of application tested (to the haul and planting groove) influenced foliar nutritional contents, nutritional contents of grains and components of soybean and wheat production. For the soil chemical attributes, there was significant influence only for soybean, with significance for organic (C) carbon, Mg and Al. The two modes of application were efficient and feasible for soybean and wheat in soil with adequate levels of P, and in the highest applied dose (120 kg ha<sup>-1</sup>) there was a greater increase of the analyzed nutrients, as well as in the productivity of the two cultures.

**Keywords:** *Glycine Max* (L.) Merrill. *Triticum aestivum* L. Phosphate fertilizers. Fertilization techniques. Mineral nutrition.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1.** Relação das doses de fósforo (P) com a produção de soja (kg ha<sup>-1</sup>), aplicados à lanço e no sulco de plantio. Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de regressão .....41
- Figura 2.** Relação das doses de fósforo (P) com os atributos químicos do solo, em dois anos agrícolas de cultivo de soja, aplicados à lanço e no sulco de plantio. Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de regressão .....45
- Figura 3.** Relação das doses de fósforo (P) com os atributos químicos do solo, em dois anos agrícolas de cultivo de trigo, aplicados à lanço e no sulco de plantio. Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de regressão. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).....51
- Figura 4.** Relação das doses de fósforo (P) com a média dos teores foliares da soja, aplicados à lanço e no sulco de plantio. Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de regressão. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).....56
- Figura 5.** Relação das doses de fósforo (P) com a média dos teores de nutrientes foliares do trigo, aplicados à lanço e no sulco de plantio. Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de regressão. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (5%) .....58
- Figura 6.** Relação das doses de fósforo (P) com a média dos teores de nutrientes nos grãos da soja, aplicados à lanço e no sulco de plantio. Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de regressão. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (5%) .....65
- Figura 7.** Relação das doses de fósforo (P) com a média dos teores de nutrientes nos grãos do trigo, aplicados à lanço e no sulco de plantio. Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de regressão. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (5%) .....71

**Figura 8.** Média da relação das doses de fósforo (P), aplicadas à lanço e no sulco de plantio, com os teores de P disponível no solo, extrator Mehlich, de soja e trigo, analisados nos dois anos agrícolas de cultivo. Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de regressão.....73

## LISTA DE TABELAS

|                   |  |    |
|-------------------|--|----|
| <b>Tabela 1.</b>  | Estádios fenológicos vegetativos da planta de soja .....   | 19 |
| <b>Tabela 2.</b>  | Estádios fenológicos reprodutivos da planta de soja .....  | 20 |
| <b>Tabela 3.</b>  | Estádios fenológicos do trigo .....  | 27 |
| <b>Tabela 4.</b>  | Médias mensais da temperatura (°C), precipitação pluviométrica (Prec.) (mm) e umidade relativa do ar (U.R.A) (%) ocorridos no período do experimento, para a soja (safras 2014/2015 e 2015/2016) e para o trigo (safras 2015 e 2016) ..... | 36 |
| <b>Tabela 5.</b>  | Componentes de produção de soja, sob doses de fósforo (P) aplicados à lanço e no sulco de plantio. Média de dois anos consecutivos.....  | 40 |
| <b>Tabela 6.</b>  | Componentes de produção de trigo, sob doses de fósforo (P) aplicados à lanço e no sulco de plantio. Média de dois anos consecutivos.....   | 42 |
| <b>Tabela 7.</b>  | Médias dos atributos químicos do solo, em dois anos agrícolas de cultivo de soja, sob doses de P aplicados à lanço e no sulco de plantio.....  | 41 |
| <b>Tabela 8.</b>  | Médias dos atributos químicos do solo, em dois anos agrícolas de cultivo de trigo, sob doses de P aplicados à lanço e no sulco de plantio.....   | 47 |
| <b>Tabela 9.</b>  | Médias dos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn sob doses de P, à lanço e no sulco de plantio, nos dois anos agrícolas de cultivo de soja.....  | 52 |
| <b>Tabela 10.</b> | Médias dos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn sob doses de P nos dois anos agrícolas de cultivo de trigo .....   | 57 |
| <b>Tabela 11.</b> | Médias dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, nos grãos, sob doses de P nos dois anos agrícolas de cultivo de soja.....   | 60 |
| <b>Tabela 12.</b> | Médias dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, nos grãos, sob doses de P nos dois anos agrícolas de cultivo de trigo .....   | 66 |
| <b>Tabela 13.</b> | Médias da relação das doses de fósforo (P), aplicadas à lanço e no sulco de plantio, com os teores de P disponível no solo, de soja e trigo, analisados nos dois anos agrícolas de cultivo.....  | 72 |

## SUMÁRIO

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | INTRODUÇÃO .....   | 14 |
| 2     | REVISÃO DE LITERATURA.....   | 16 |
| 2.1   | SOJA .....   | 16 |
| 2.1.1 | ASPECTOS DA CULTURA DA SOJA .....  | 16 |
| 2.1.2 | BOTÂNICA DA SOJA.....  | 16 |
| 2.1.3 | SOJICULTURA NO BRASIL .....  | 17 |
| 2.1.4 | CULTIVO DA SOJA .....  | 18 |
| 2.1.5 | NUTRIÇÃO MINERAL DA SOJA .....   | 21 |
| 2.1.6 | IMPORTÂNCIA DO FÓSFORO NA SOJA .....   | 23 |
| 2.2   | TRIGO .....  | 23 |
| 2.2.1 | ASPECTOS DA CULTURA DO TRIGO .....   | 23 |
| 2.2.2 | BOTÂNICA DO TRIGO .....  | 24 |
| 2.2.3 | TRITICULTURA NO BRASIL.....  | 26 |
| 2.2.4 | CULTIVO DO TRIGO .....   | 26 |
| 2.2.5 | NUTRIÇÃO MINERAL DO TRIGO .....  | 28 |
| 2.2.6 | IMPORTÂNCIA DO FÓSFORO NO TRIGO .....  | 28 |
| 2.3   | IMPORTÂNCIA E MODOS DE APLICAÇÃO DO FÓSFORO .....  | 29 |
| 2.4   | PROBLEMÁTICAS DECORRENTES DA APLICAÇÃO DO FÓSFORO À LANÇO E NO SULCO DE PLANTIO.....   | 30 |
| 3     | ARTIGO: SUCESSÃO SOJA-TRIGO CULTIVADA EM LATOSSOLO VERMELHO ESCURO EUTROFÉRICO À APLICAÇÃO DE FÓSFORO À LANÇO E NO SULCO DE PLANTIO..... | 32 |
| 3.1   | RESUMO .....   | 32 |
| 3.2   | ABSTRACT .....   | 33 |
| 3.3   | INTRODUÇÃO .....   | 34 |
| 3.4   | MATERIAL E MÉTODOS .....   | 35 |
| 4     | RESULTADOS E DISCUSSÃO .....   | 39 |
| 5     | CONCLUSÃO.....   | 73 |
|       | REFERÊNCIAS.....   | 74 |

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é considerado o 2º maior produtor de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) no mundo, atrás apenas dos Estados Unidos (EMBRAPA, 2018), enquanto que, para o trigo (*Triticum aestivum* L.), o país não se encontra entre os 10 maiores produtores. Porém, tem aumentado a sua produção no decorrer dos anos, tendo o estado do Paraná como o maior produtor (ABITRIGO, 2015). Conforme a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2018) e a Embrapa (2018), a produção em 2017/2018, para soja e trigo, alcançou 116,996 milhões de toneladas e 4,9 milhões de toneladas, respectivamente.

A sucessão de culturas tem sido viável para diversos cultivos, pois proporciona contínua proteção ao solo, boa quantidade de matéria orgânica e acúmulo de nutrientes, sendo de importância fundamental para manter elevadas produtividades, com o decorrer dos anos.

Conforme Fidelis et al. (2003), a sucessão de culturas tem melhor desempenho se unida ao plantio direto, constituindo-se em um sistema de implantação de culturas em solo não revolvido e protegido por cobertura provenientes de restos de vegetais. A mobilização do solo não é nula, mas restringe-se apenas ao sulco de semeadura, no caso do plantio direto.

O uso da sucessão soja e trigo é comum na região Sul do Brasil. Ambas as culturas podem se beneficiar neste sistema. A maior limitação recorrente é o aumento de doenças foliares na cultura do trigo a partir do terceiro ano da sucessão. A maior exigência de fertilidade do solo pela cultura do trigo, cujo manejo confere acúmulo de nutrientes, principalmente o fósforo (P), pode contribuir para a redução da adubação para a cultura da soja. Por outro lado, o trigo se beneficia do fornecimento de quantidades significativas de nitrogênio pelos resíduos da cultura da soja (OLIVEIRA JÚNIOR, et al., 2015).

Conforme Sfredo (2008), no Brasil, grande parte dos solos possuem deficiência de P, evidenciado nas culturas através do reduzido porte e da pequena altura de inserção das primeiras vagens, no caso da soja. No Estado do Paraná o mesmo autor verificou que, à medida que se forneciam doses de  $P_2O_5$ , aumentava-se a altura da planta, a altura da inserção da primeira vagem e a produtividade da soja. O manejo do fertilizante fosfatado influencia na disponibilização dos nutrientes no solo e às culturas (CERETTA; FRIES, 1997) e o modo de aplicação pode alterar

a velocidade e a capacidade do fertilizante reagir no solo, podendo solubilizar ou disponibilizar o fósforo à planta, o que afeta a eficiência da adubação fosfatada (BREVILIERI, 2012).

Há controvérsias quanto a eficiência de aplicação de P a lanço ou sulco de semeadura. Por isso, o objetivo do presente trabalho foi definir se existe influência do modo e das doses de aplicação de P sobre os atributos químicos do solo, estado nutricional, componentes de produção e produtividade da soja e do trigo em decorrência da adubação fosfatada para a cultura do trigo, cultivada em Latossolo Vermelho eutroférico.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 SOJA

#### 2.1.1 ASPECTOS DA CULTURA DA SOJA

A soja (*Glycine max* (L) Merrill) é a oleaginosa mais produzida e consumida no mundo (LUZ et al., 2015). O Brasil é o segundo maior produtor mundial de soja, atrás apenas dos EUA, e sua expansão teve início a partir da década de 1970 (EMBRAPA, 2017). Na safra 2017/2018, segundo a CONAB (2018), a cultura ocupou uma área de 35,100 milhões de hectares, o que totalizou uma produção de 116,996 milhões de toneladas, com uma produtividade média da soja brasileira de 3,333 kg ha<sup>-1</sup>. Os principais estados brasileiros produtores são Mato Grosso, Paraná, Rio Grande do Sul, Goiás e Mato Grosso do Sul.

Conforme Silva et al. (2011), a soja possui funções desde a produção interna, visando o produto bruto, se desenvolvendo até a indústria voltada para óleos, e conseqüentemente, farelos, que possuem elevado valor proteico, o que beneficia a fabricação de rações para os mais diversos animais.

#### 2.1.2 BOTÂNICA DA SOJA

A soja pertence à classe *Rosidaeae*, ordem *Fabales*, família *Fabaceae*, subfamília *Papilionoideae*, tribo *Phaseoleae*, gênero *Glycine* L., espécie *max.*, segundo Adolf Engler e Arthur Cronquist (NEPOMUCENO et al., 2017). A maioria das variedades possui raízes bem ramificadas e folhas trifolioladas. São consideradas plantas autógamas, com vagens verdes à marrom, evidenciando a maturação, contendo uma a cinco sementes de tegumento amarelo, com hilo preto, marrom ou amarelo-palha. Seu crescimento é indeterminado, determinado ou semideterminado (NEPOMUCENO et al., 2017).

A estatura varia entre 60 e 110 cm, o que beneficia a pode facilitar a colheita mecânica e não ocorre o acamamento. A planta de soja responde ao fotoperíodo e é considerada com floração de dias curtos, pois com dias longos, atrasa seu florescimento e aumenta seu ciclo. O florescimento tardio em dias curtos inovou a produção de soja, pois com isso, não ocorre mais restrição fotoperiódica, mesmo sob a linha do equador, mérito do Brasil, por ter tropicalizado a soja (NEPOMUCENO et al., 2017).

### 2.1.3 SOJICULTURA NO BRASIL

A planta que se cultiva nos dias atuais, difere dos seus ancestrais. Inicialmente eram plantas rasteiras, as quais se desenvolviam na costa leste da Ásia, principalmente ao longo do rio Yang Tsé, na China, país considerado como centro de origem genética primário da soja, sendo a região da Manchúria o secundário, ou centro de diversidade genética (HYMOWITZ, 1970; MONTANARINI, 2009). A partir da sua origem e de sua domesticação, a soja começou a se expandir lentamente para o sul da China, Coréia, Japão e Sudeste da Ásia (HYMOWITZ, 1970). No mundo ocidental, a soja apareceu apenas no final do século XV e início do século XVI, devido a chegada dos navios europeus à Ásia (MONTANARINI, 2009).

A soja chegou ao Brasil pelo apoio dos Estados Unidos, em 1882. Gustavo Dutra, professor da Escola de Agronomia da Bahia, realizou os primeiros estudos de avaliação de cultivares introduzidas daquele país. Em 1891, testes de adaptação de cultivares semelhantes aos conduzidos por Dutra na Bahia, foram realizados no Instituto Agrônomo de Campinas, estado de São Paulo (SP). A soja era estudada mais como uma cultura forrageira, do que como planta produtora de grãos para a indústria de farelos e óleos vegetais (SANTOS, 1988).

Em 1900 e 1901, o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) promoveu a primeira distribuição de sementes de soja para produtores paulistas. Após esse acontecimento e com a chegada dos primeiros imigrantes japoneses em 1908, o cultivo da soja foi intensificado, e foi introduzida no Rio Grande do Sul, onde a cultura encontrou efetivas condições para se desenvolver, dadas as semelhanças climáticas com seu ecossistema de origem (OJIMA; YAMAKAMI, 2006).

A produção no Brasil concentrou-se na região Centro-Sul até o início dos anos 80. A partir daí, a participação da região Centro-Oeste aumentou significativamente. A expansão da área cultivada de soja no Brasil é resultado tanto da incorporação de novas áreas nas regiões Centro-Oeste e Norte, quanto da substituição de outras culturas e na região Centro-Sul (ALAMBERT, 2010).

No Brasil, a produção da cultura teve seu maior foco na região centro-sul, na década de 80 (ALAMBERT, 2010) e o desenvolvimento de cultivares adaptadas às diferentes condições de clima, solo e latitude favoreceu a semeadura da soja na maior parte do território brasileiro, como no Mato Grosso, maior produtor

do país. Os estados do Paraná e Rio Grande do Sul, são o segundo e terceiro maiores produtores, consecutivamente (ALAMBERT, 2010).

#### 2.1.4 CULTIVO DA SOJA

As cultivares de soja respondem de forma particular à época de semeadura. De acordo com Oliveira (2010), isso ocorre devido ao período de duração do ciclo, da sensibilidade ao fotoperíodo, da duração do período juvenil e ou do crescimento.

Conforme recomendações, a semeadura da soja no Brasil ocorre entre os dias 20 de outubro a 10 de dezembro, anualmente e é semeada por grandes semeadoras, que depositam a semente nos sulcos de plantio, em plantio direto, onde não há o revolvimento do solo, ou em plantio convencional, com o preparo do solo com o auxílio de niveladora e gradeadora (AGRIC, 2010).

As plantas precisam de nutrientes para se desenvolverem, através do uso de adubos. Dentre os nutrientes, o mais crítico na produção agrícola é o nitrogênio, pois é necessário em grandes quantidades. Entretanto, os produtores de soja brasileiros não aplicam nenhum fertilizante nitrogenado nos cultivos de soja, sendo isso possível através da inoculação das sementes com bactérias do gênero *Rhizobium*, que captam o nitrogênio (N) do ar. Os demais nutrientes, como o potássio (K) e o P são normalmente fornecidos através de adubos minerais.

Para que a cultura alcance seu desenvolvimento completo, o emprego de algumas técnicas agrícolas de manejo são necessárias, como: manejo e preparo do solo, correção da fertilidade do solo, escolha do espaçamento entre linhas e da densidade de semeadura adequada à cultivar e o controle de plantas daninhas, pragas e doenças, levando em consideração o período crítico de competição das daninhas em ocasião, os níveis de danos econômicos das pragas e o grau de severidade da doença, tendo em vista um cultivo ecologicamente sustentável (HARTMANN FILHO, 2015).

Fehr e Caviness (1977) propuseram uma metodologia para descrição dos estádios fenológicos da soja, sendo a mais difundida e utilizada mundialmente. A metodologia considera dois estádios de desenvolvimento durante todo o ciclo da planta: o vegetativo, compreendido entre a emergência até o início do

florescimento e, o reprodutivo, correspondente ao período entre o início do florescimento e a maturação fisiológica (HARTMANN FILHO, 2015) (Tabelas 1 e 2).

**Tabela 1.** Estádios fenológicos vegetativos da planta de soja.

| Estádio | Denominação             | Descrição   |
|---------|-------------------------|---|
| VE      | Emergência              | Cotilédones estão acima da superfície do solo.  |
| VC      | Cotilédone desenvolvido | Cotilédones apresentam-se bem abertos e as folhas unifolioladas estão suficientemente abertas, de tal modo que os bordos de cada folíolo não estão se tocando.  |
| V1      | Primeiro nó maduro      | Folhas unifolioladas estão estendidas e a primeira folha trifoliolada está suficientemente aberta, de tal modo que os bordos de cada folíolo não estão se tocando.  |
| V2      | Segundo nó maduro       | Primeira folha trifoliolada está estendida, isto é, com três folíolos expandidos e a segunda folha trifoliolada está suficientemente aberta, de tal modo que os bordos de cada folíolo não estão se tocando.  |
| V3      | Terceiro nó maduro      | Segunda folha trifoliolada está estendida, isto é, com três folíolos expandidos e a terceira folha trifoliolada está suficientemente aberta, de tal modo que os bordos de cada folíolo não estão se tocando.  |
| VN      | “Enésimo” nó maduro     | “Enésima” folha trifoliolada está estendida, isto é, com três folíolos expandidos e a folha trifoliolada “n + 1” está suficientemente aberta, de tal modo que os bordos de cada folíolo não estão se tocando. |

Fonte: Fehr e Caviness (1977), adaptado por Câmara (1998).

**Tabela 2.** Estádios fenológicos reprodutivos da planta de soja.

| Estádio | Denominação                                  | Descrição  |
|---------|--|--|
| R1      | Início do florescimento                      | Uma flor aberta em qualquer nó do caule (haste principal).   |
| R2      | Florescimento pleno                          | Uma flor aberta em um dos dois últimos nós do caule, com folha completamente desenvolvida.   |
| R3      | Início da frutificação                       | Vagem com 5 mm de comprimento em um dos nós do caule, com folha completamente desenvolvida.  |
| R4      | Vagem formada                                | Vagem com 2 cm de comprimento localizada em um dos quatro últimos nós do caule, com folha completamente desenvolvida.  |
| R5      | Início do enchimento de grãos                | Semente com 3 mm de comprimento em vagem em um dos 4 últimos nós do caule, com folha completamente desenvolvida.   |
| R6      | Granação plena ou semente desenvolvida       | Vagem contendo grãos verdes preenchendo as cavidades da vagem em um dos quartos últimos nós superiores, sobre a haste principal, com folha completamente desenvolvida. |
| R7      | Início da maturação ou maturação fisiológica | Uma vagem normal no caule com coloração de vagem madura.   |
| R8      | Maturação plena ou maturação à campo         | 95% das vagens com coloração de vagem madura.  |

Fonte: Fehr e Caviness (1977), adaptado por Câmara (1998).

Entre 4 e 7 dias após o plantio da soja, as plantas começam a emergir do solo. Após todo o desenvolvimento da soja finalizado, e com os grãos prontos para serem colhidos, é realizada a colheita por máquinas. O momento ideal para colher a soja é determinado através da umidade dos grãos, que deve estar

entre 13% e 15% para perdas mínimas. Para as variedades brasileiras isso leva em média de 100 a 160 dias após o plantio (AGRIC, 2010).

### 2.1.5 NUTRIÇÃO MINERAL DA SOJA

O manejo e a disponibilidade dos nutrientes no solo devem ser determinados com base nas análises químicas do solo, das folhas e no histórico do uso da terra, considerando o sistema de cultivo e a sucessão de culturas (OLIVEIRA et al., 2008).

O nitrogênio (N) é o nutriente requerido em maior quantidade pela cultura da soja. Para produzir 1000 kg de grãos são necessários 83 kg de N (OLIVEIRA et al., 2008). As fontes de N disponíveis para a cultura são os fertilizantes nitrogenados e a fixação biológica do N (FBN) (HUNGRIA et al., 2001). No Brasil, a FBN supre o que a soja requer para o seu desenvolvimento, não havendo a necessidade de utilizá-lo na adubação. Bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, quando em contato com as raízes da soja, infectam as mesmas, via pêlos radiculares, formando os nódulos. O Molibdênio (Mo) é essencial para a redução do nitrato a amônio na planta, sobretudo em gramíneas (MARSCHNER, 1995). A aplicação dos micronutrientes pode ser via semente ou foliar, nos estádios V3 a V5.

A recomendação de adubação com P e K ocorre de acordo com a exigência da cultura, da textura do solo e disponibilidade dos nutrientes nos solos (VITTI et al., 2000). Observa-se que o N e o K são os nutrientes mais exportados pelos grãos de soja, com 51 kg e 17 kg, respectivamente, para a produção de 1 tonelada (EMBRAPA, 1993). Absorvido na forma de K, o nutriente é importante em todos os aspectos do crescimento e da produção da soja e tem grande influência no balanço nutricional da cultura (MALAVOLTA, 1980). Apresenta ação enzimática e é um dos responsáveis pela abertura e fechamento dos estômatos e faz a regulação osmótica dos tecidos. Sua deficiência causa clorose internerval, seguida de necrose nas bordas e ápice das folhas mais velhas (SFREDO; BORKERT, 2004). As fontes de K são os adubos minerais e os mais utilizados são os sulfatos e cloretos.

Embora dentre os três macronutrientes primários, o P seja o menos extraído, normalmente é o nutriente utilizado em maior quantidade, seja pelo baixo teor no solo, seja pela sua dinâmica nos solos tropicais (fixação) (VITTI, et al., 2000).

No caso do cálcio (Ca), este é componente de várias fontes fosfatadas (RIBEIRO et al., 1999), no entanto para sua máxima eficiência na absorção, pode ser diminuída em presença de altas concentrações de  $K^+$  e de  $Mg^{2+}$  no meio (DOMINGOS et al., 2015). Além disso, é imóvel no floema, com consequente aparecimento dos sintomas de deficiência nos tecidos novos das plantas. A maior parte do Ca, na planta, está em formas insolúveis em água: pectato, oxalato ou adsorvido às proteínas. Além disso, mantém a integridade funcional da membrana celular (SFREDO; BORKERT, 2004).

O magnésio é absorvido como  $Mg^{2+}$ , sendo constituinte da clorofila; portanto, fundamental nos processos de fotossíntese (DOMINGOS et al., 2015). É o elemento que mais ativa enzimas, dentre elas as relacionadas à síntese de carboidratos e outras envolvidas na síntese de ácidos nucleicos. Na deficiência, as folhas mais velhas apresentam clorose internerval (amarelo claro) e nervuras cor verde-pálida (SFREDO; BORKERT, 2004). A calagem é o principal meio de fornecimento deste nutriente, além de elevar o pH e a saturação por bases no solo. No sistema de plantio direto, as quantidades aplicadas devem ser realizadas de forma parcelada, em doses anuais, ao invés de altas doses a cada três ou quatro anos, como no sistema convencional (ALVAREZ.; RIBEIRO, 1999).

Outro nutriente presente na fonte mais utilizada de P e aplicado de forma indireta é o enxofre (S) (superfosfato simples – 12% de S). A absorção deste nutriente ocorre, predominantemente, na forma de sulfato  $S-SO_4^{2-}$ , podendo, também, ser absorvido como S orgânico e  $SO_2$  (ar) e apresenta-se sob a forma orgânica (cistina, cisteína, metionina, proteínas, glicosídeos e vitaminas). As assimilações de N e S são bem coordenadas, ou seja, a deficiência de um reprime a via assimilatória do outro (EPSTEIN; BLOOM, 2006). É um nutriente com o transporte a longa distância ocorrendo, principalmente, pelo xilema e com baixa mobilidade no floema. Por isto, os primeiros sintomas de deficiência aparecem nas folhas novas, em forma de uma clorose uniforme, semelhante à deficiência de N (SFREDO; BORKERT, 2004). As folhas superiores, principalmente as mais novas, são os principais drenos fisiológicos do enxofre, de acordo com Silva et al. (2003). As fontes de S encontradas são o gesso agrícola, o superfosfato simples, o enxofre elementar (S0) ou formulações de N-P-K.

### **2.1.6 IMPORTÂNCIA DO FÓSFORO NA SOJA**

Elemento essencial para os processos de armazenamento e fornecimento de energia, o nutriente é absorvido na forma de fosfato ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ). Segundo Sfredo e Borkert (2004), juntamente com o N e o K, é o mais prontamente redistribuído, via floema, para outras partes da planta, em particular aos órgãos novos em crescimento. Plantas deficientes nesse nutriente apresentam porte baixo e as folhas mais velhas ficam com uma coloração verde azulada. As principais fontes de fornecimento para o solo são os adubos, como superfosfato simples, superfosfato triplo, fosfatos monoamônicos, dentre outros. Richart et al. (2006), que estudaram fontes de P nos componentes de produção da soja, bem como teores foliares de P e S, constataram aumento no teor de S no tecido foliar, tanto pela adição das doses de P, quanto pelas doses de S para ambas as fontes estudadas. A resposta da cultura à utilização de P via solo é conhecida, obtendo respostas significativas na produtividade da cultura (ROSOLEM; MARCELLO, 1998).

A suplementação de P na fase inicial do desenvolvimento das culturas é importante na otimização da produção final, conforme análise química do solo (GRANT et al., 2005). A soja absorve cerca de 6,1 kg de P para cada tonelada de grãos produzida (PAVINATO et al., 2017).

## **2.2 TRIGO**

### **2.2.1 ASPECTOS DA CULTURA DO TRIGO**

O trigo é um dos três cereais mais cultivados no mundo, juntamente com o milho e o arroz (TAKEITI, 2015). Pertence à família das gramíneas, ao gênero *Triticum* e as espécies mais usuais de cultivo são *Triticum monococcum*, *Triticum durum* e *Triticum aestivum* (LEON; ROSSEL, 2007).

No início, o trigo era consumido só em grãos amassados, e por volta de 4.000 a.C., os egípcios descobriram que era possível fazer a fermentação a partir do cereal, e assim produzir pães. Em torno de 2.000 a.C., os chineses descobriram que, com o trigo, podiam fabricar farinha, macarrão e pastéis (FLANDRIN; MONTANARI, 1998). Em lugares mais frios, a cultura ganhou ampla disseminação,

como na Europa, e no século XV, o trigo foi introduzido nas Américas (FLANDRIN; MONTANARI, 1998).

O Brasil possui uma área cultivada, com as mais diversas plantações, próxima a 59 milhões de hectares. Em 2 milhões de hectares são cultivados trigo, com uma produção de 4,9 milhões de toneladas na safra 2017/2018 (CONAB, 2018). Além da Região Sul, tradicionalmente produtora, o trigo irrigado, no cerrado, tem hoje importância estratégica.

Na região do Brasil Central (Minas Gerais, Goiás, Distrito Federal, Mato Grosso do Sul e Bahia), o trigo pode ser produzido em dois sistemas de cultivo: de sequeiro ou safrinha, a partir da segunda quinzena de janeiro; e no sistema irrigado, sob pivô central, com semeadura a partir da segunda quinzena de abril. Os rendimentos do trigo nessa região estão acima de 120 sc ha<sup>-1</sup> no cultivo irrigado e em 40 sc ha<sup>-1</sup> no sequeiro (CONAB, 2017a).

A qualidade do grão é o diferencial da região central, apresentando trigo das classes pão e melhorador na maioria das lavouras. A região promove as primeiras colheitas do Brasil, o que garante liquidez com melhores preços (COMPANHIA..., 2016b). O crescimento da produção de grãos nos últimos anos ocorreu devido à introdução de novas cultivares com maior potencial de rendimento, como também pela utilização de novas áreas de cultivo, ocupadas anteriormente pela pecuária. Para o estabelecimento dessas lavouras são necessárias sementes em grande quantidade e de alta qualidade. Para isso, tecnologias geradas pela pesquisa, principalmente para o desenvolvimento de cultivares mais adaptadas às diversas condições de cultivo, têm proporcionado a obtenção de ganhos na produtividade e na qualidade industrial desse cereal (COMPANHIA..., 2016b).

A seleção de cultivares com alto potencial produtivo, elevada estabilidade de produção, alta capacidade de adaptação às condições ambientais, aliada às qualidades agronômicas (estatura, ciclo, resistência a pragas e doenças, qualidade nutricionais e industriais, entre outras), são os principais objetivos da maioria dos programas de melhoramento genético (CONAB, 2017b).

### **2.2.2 BOTÂNICA DO TRIGO**

O trigo plantado no Brasil é o *Triticum aestivum* L., cuja semente é um fruto denominado cariopse, constituída de quatro partes principais com funções

diferentes quanto ao aspecto da qualidade de sementes: conjunto pericarpo e tegumento - localizado mais externamente, tem a função principal de proteção das estruturas internas; camada de aleurona - concentra proteínas e minerais importantes na síntese de enzimas (proteínas) que iniciam o processo germinativo e são fonte de aminoácidos para a síntese de novas proteínas (POPINIGIS, 1985; EICHELBERGER, 2011); endosperma - constitui a maior parte da semente e armazena principalmente o amido, fonte de carboidratos que são mobilizados ao embrião para a formação da plântula; e eixo embrionário, ou embrião - contém as estruturas essenciais da futura planta e é constituído pela coleoriza, radícula, hipocótilo, plúmula, folhas primárias, coleóptilo e escutelo (POPINIGIS, 1985; EICHELBERGER, 2011).

O grão de trigo integral e seus derivados consistem no grão intacto, moído, quebrado ou laminado, com preservação do conteúdo dos seus componentes anatômicos – farelo, endosperma e gérmen – nas mesmas proporções do grão inteiro (JAEKEL, 2013). São ricos em carboidratos fermentáveis tais como fibras alimentares, amido resistente, e oligossacarídeos, apresentando um efeito protetor à saúde devido aos benefícios trazidos à microbiota intestinal (JAEKEL, 2013).

Durante o processo de moagem do grão são obtidos o farelo, o endosperma e o gérmen, considerados matérias-primas para a indústria. O farelo de trigo é formado pelo pericarpo, que constitui a camada mais externa e protetora do grão, rica em fibras e minerais, e pela camada de aleurona (SCHEUER et al., 2011; GWIRTZ et al., 2014). A camada de aleurona, apesar de ser botanicamente considerada parte externa do endosperma, para a maioria dos moinhos é um dos constituintes do farelo (GWIRTZ et al., 2014). Esta camada contém vitaminas do complexo B e metade do conteúdo mineral presente no grão de trigo (JAEKEL, 2013).

O endosperma dá origem à farinha de trigo branca propriamente dita. Representa aproximadamente 80% do peso do grão e é constituído, em média, por 88% de carboidratos, formados basicamente pelo amido na forma de amilose e amilopectina (GWIRTZ et al., 2014; SCHEUER et al., 2011).

A planta pode atingir 0,5 a 1,5 m. de altura, tem raízes em forma de cabeleira, caule oco e reto (colmo), 6 a 9 folhas estreitas e compridas, flores em

grupo de 3 a 5 formam espiguetas que se agrupam em número de 15 a 20, formando espigas.

### **2.2.3 TRITICULTURA NO BRASIL**

As sementes de trigo chegaram ao Brasil em 1534, e as primeiras lavouras começaram a ser cultivadas em São Vicente. No entanto, só adquiriram importância econômica no Brasil colonial, em meados do século XVII, quando plantadas no Rio Grande do Sul e em São Paulo (ROSSI; NEVES, 2004).

A produção competitiva e sustentável de trigo no Brasil depende, fundamentalmente, do conhecimento de aspectos relacionados à própria planta de trigo (crescimento e desenvolvimento), das peculiaridades da região onde o trigo será cultivado (clima e solo, por exemplo) e das práticas de manejo para a cultura em cada situação de produção (ROSSI; NEVES, 2004).

Conforme a EMBRAPA Trigo (2014), deve-se observar, tanto fatores promotores quanto protetores do rendimento de grãos da cultura e suas implicações em aspectos econômicos e ambientais. Primeiramente deve-se planejar a lavoura de trigo privilegiando práticas que promovam elevado rendimento de grãos/menor risco, como escolha da cultivar adequada, época de semeadura indicada pelo Zoneamento Agrícola para cada região, espaçamento, população de plantas e nutrição das plantas na época e na dose indicadas para cada região e cultivar. Também é fundamental levar em consideração o crescimento e desenvolvimento das plantas e não somente a idade cronológica (dias após a semeadura ou emergência) para a aplicação de práticas culturais. A proteção do rendimento é outra etapa importante e deve ser compatível com as práticas promotoras do rendimento. Deve ser utilizada com base no monitoramento de insetos-praga, doenças e plantas daninhas, e com respeito aos níveis de dano econômico para cada caso.

### **2.2.4 CULTIVO DO TRIGO**

Os maiores produtores mundiais de trigo são China, Índia, Bangladesh, Vietnã e Tailândia (USDA, 2017). No Brasil, conforme a CONAB (2017a), os maiores produtores de trigo no Brasil são o Paraná, Rio Grande do Sul, São Paulo, Minas Gerais e Santa Catarina.

A semeadura deve ser realizada no período indicado para cada município, de acordo com o zoneamento agrícola para a cultura do trigo e o rendimento de grãos é resultante do balanço entre três componentes de produção: número de espigas  $m^{-2}$ , número de grãos/espiga e massa média de grãos. Esses componentes apresentam variações interdependentes e são capazes de compensar um ao outro, dentro de determinados limites (HOLEN et al., 2001; PRYSTUPA et al., 2004; ARDUINI et al., 2006). Há outros atributos morfológicos das plantas de trigo que podem contribuir com explicações acerca de interações entre genótipo, ambiente e manejo, como por exemplo: número de perfilhos férteis/planta, número de espiguetas/espiga, número de grãos/espiguetas, etc.

As fases do desenvolvimento do trigo são descritas, conforme a tabela 3.

**Tabela 3.** Fases fenológicas do trigo.

| Fases         | Desenvolvimento   |
|---------------|---|
| Plântula      | Germinação da semente a emergência da plantinha na superfície (5 a 7 dias): a partir emergências dá-se a fase de plantula - aparecimento das 3 primeiras folhas verdadeiras (12 a 16 dias). |
| Perfilhamento | Abrem-se as folhas, surgem os perfilhos (7 a 8 unidades), a fase dura 15 a 17 dias.   |
| Alongamento   | Primeiro nó do colmo, planta cresce, aparece a folha - bandeira (última da planta). Fase dura 15 a 18 dias. No final dá-se o emborrachamento.   |
| Espigamento   | Emergência completa da espiga, floração, frutificação e início de enchimento dos grãos. Dura 12 a 16 dias.  |
| Maturação     | Término de enchimento dos grãos, maturação do grão, folhas e espiga secam. Fase dura 30 a 40 dias.  |

### **2.2.5 NUTRIÇÃO MINERAL DO TRIGO**

Considerando valores médios, uma lavoura que produz três toneladas de grãos por hectare, extrai do solo  $84 \text{ kg ha}^{-1}$  de N,  $11,7 \text{ kg ha}^{-1}$  de P e  $59,7 \text{ kg ha}^{-1}$  de K, sendo que, destes,  $60,3 \text{ kg}$  de N,  $9,6 \text{ kg}$  de P e  $10,5 \text{ kg}$  de K são exportados pelos grãos, e o restante retorna ao solo pela decomposição dos restos culturais (PAULETTI, 1998).

É perceptível que o excesso de N tem sido a principal causa de acamamento do trigo, para todas as condições de interação entre genótipo e ambiente, tornando a recomendação equilibrada imprescindível; algumas cultivares têm alcançado elevadas produtividades com doses relativamente baixas de N, para grande parte das situações de cultivo (ADUBOS UNIFERTIL, 2017).

O trigo responde bem a adubação com K, cuja falta é mais comum em solos arenosos cultivados intensamente. Quando se tem baixos teores de K e altos de N, os caules ficam fracos, tendo maior ocorrência de acamamento das plantas. Na deficiência, as folhas mais velhas apresentam amarelecimento nas pontas e margens, seguidos de clorose, que progride até atingir a nervura, ocasionando encurvamento da folha para baixo. Geralmente ocorre um crescimento vegetal reduzido e encurtamento dos entrenós. O K é um elemento com boa mobilidade no solo (ADUBOS UNIFERTIL, 2017).

### **2.2.6 IMPORTÂNCIA DO FÓSFORO NO TRIGO**

O P está presente em componentes estruturais das células, como nos ácidos nucleicos e fosfolípidios das membranas celulares e também em componentes metabólicos móveis armazenadores de energia, como adenosina trifosfato (ATP). A absorção de P pelas plantas ocorre essencialmente via sistema radicular, estando na dependência da capacidade de fornecimento pelo solo, que muitas vezes é um limitador para um bom suprimento, agindo no sentido de competir com as plantas pelo P disponível na solução. Plantas deficientes de P são mais sensíveis ao estresse e doenças. As folhas jovens das plantas com esta deficiência, tendem a escurecer ou manter uma cor arroxeada e as mais velhas ficam avermelhadas (GRANDO et al., 1999).

A falta de P no início do desenvolvimento restringe o crescimento, condição limitante para o desenvolvimento da planta e para a produção de grãos. A falta de P no período mais tardio do ciclo tem menor impacto na produção de grãos de trigo em relação à deficiência inicial (GRANT et al., 2001). Estes mesmos autores constataram que o estresse de P diminui mais o número total de sementes produzidas que o tamanho da semente, sendo que essa redução no número de sementes ocorre através da redução na quantidade de espigas férteis e de grãos por espiga.

A quantidade a ser aplicada vai depender do teor no solo e da classe textural (quantidade de argila), quantificados através da análise do solo. Assim, o seu teor é classificado em faixas de muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto (RIBEIRO et al., 1999). A partir disso, pode-se recomendar a quantidade do fertilizante a ser aplicada para suprir a demanda da planta e a necessidade de correção dos níveis na área, em situações com nível muito baixo ou baixo, o que pode se dar em um único cultivo ou parcelado em dois cultivos (RIBEIRO et al., 1999).

### **2.3 IMPORTÂNCIA E MODOS DE APLICAÇÃO DO FÓSFORO**

A principal característica da dinâmica do P no solo é a sua imobilidade. Praticamente todo o P na forma solúvel, advinda da fertilização ou de resíduos orgânicos, é convertido no solo para formas insolúveis, poucas horas após a aplicação (HANSEL, 2013). Segundo Meurer et al. (2006), na adsorção de P, o ânion fosfato reage com grupos reativos de superfície OH<sup>-</sup> (aluminossilicatos não-cristalinos, óxidos e hidróxidos de ferro (Fe), alumínio (Al) e manganês (Mn) e as bordas dos argilominerais silicatados), impedindo sua absorção. Já na precipitação, o P atua como fosfato de Ca levemente solúvel e ocorre em solos calcários com pH em torno de 8,0. Em solos ácidos, o P é precipitado como fosfatos de Fe ou Al de baixa solubilidade. A maior disponibilidade de P acontece com pH variando entre 6,0 a 7,0.

Encontram-se, principalmente, os seguintes compostos contendo P: ésteres de carboidratos, nucleotídeos que é síntese de proteínas, RNA e DNA, fosfolípídeos, ácido fítico e seus sais de Ca e Mg (reserva de P na semente), fosfatos de adenosina (ATP, ADP) (VIAN; SILVA, 2016).

O papel mais importante do P na planta é fornecer energia para reações do metabolismo do vegetal. Havendo deficiência, o P não metabolizado no vacúolo, pode sair da célula, sendo direcionado para os órgãos mais novos da planta. Esse nutriente apresenta alta mobilidade no interior da planta e, por isso, os sintomas de deficiência aparecem em partes mais velhas (VIAN; SILVA, 2016).

A escolha do manejo do fertilizante fosfatado a ser aplicado no solo exerce grande influência na disponibilização de nutrientes às plantas, sendo este um fator impactante na eficiência da fertilização, capaz de interferir diretamente nas reações que ocorrem entre o fertilizante e o solo (CERETTA; FRIES, 1997). Desta forma, o modo de aplicação poderia alterar a velocidade e a capacidade do fertilizante em reagir no solo, como consequente disponibilização do P na solução do solo, determinando o grau de eficiência da adubação fosfatada (BREVILIERI, 2012).

Prado et al. (2001) avaliando os efeitos de modos de aplicação e de doses de fertilizante fosfatado em adubação de manutenção no milho, em um solo com 66% de argila e teor médio de P, verificaram que os tratamentos com aplicações no sulco foram mais eficientes que a lanço (HANSEL, 2013). De forma semelhante, Moterle et al. (2009), estudando o efeito da fertilização fosfatada na emergência das plântulas a campo e na produtividade da cultura da soja, com diferentes formulações de fertilizantes e posições da fertilização no solo, constataram que as maiores produtividades foram alcançadas aplicando-se no sulco, sob teores médio de P no solo (HANSEL, 2013).

Guareschi et al. (2008), comparando o comportamento da cultura da soja fertilizada com P em semeadura e a lanço antecipadamente (15 dias), sob um solo com teor médio de disponibilidade de P, não verificaram diferença nas variáveis estudadas, entre elas a produtividade.

## **2.4 PROBLEMÁTICAS DECORRENTES DA APLICAÇÃO DO FÓSFORO À LANÇO E NO SULCO DE PLANTIO**

A forma de aplicação do fertilizante fosfatado influencia diretamente na absorção pelas raízes da cultura, uma vez que alguns autores recomendam a aplicação de fosfato solúvel de forma localizada no sulco de semeadura (PRADO et al., 2001) para que haja um maior contato do fertilizante com as raízes.

Contudo, devido às altas doses aplicadas em função da baixa eficiência da adubação fosfatada (30%), a aplicação à lanço por toda a área, pode promover maior desenvolvimento para as plantas, influenciando em um maior desenvolvimento radicular (CASTRO et al., 2016).

É importante salientar também que a textura do solo com base na argila, deve ser levada em consideração, pois em solos com baixo teor de argila (15 a 35 %), a aplicação à lanço pode ser realizada como manutenção, já em solos com teores mais elevados de argila (acima de 50 %), a aplicação de P no sulco apresenta mais de 60% de eficiência, enquanto que a lanço a eficiência fica próximo de 20 %.

Portanto, são necessários mais estudos sobre formas do uso racional do P, para que melhore a produtividade, evitando desperdícios. Para isso, é fundamental o conhecimento de qual dose é mais viável, bem como sua melhor forma de aplicação, para que haja maior disponibilidade nutricional e propicie uma boa absorção pela planta (CASTRO et al., 2016).

### 3 ARTIGO: SUCESSÃO SOJA-TRIGO CULTIVADA EM LATOSSOLO VERMELHO ESCURO EUTROFÉRRICO À APLICAÇÃO DE FÓSFORO À LANÇO E NO SULCO DE PLANTIO

#### 3.1 RESUMO

A produção da soja e do trigo em larga escala é determinante para a economia de diversos países, como o Brasil. Em virtude disso, mais pesquisas para se aumentar e melhorar os aspectos da produção são necessárias. As técnicas de adubação têm papel fundamental para que as culturas tenham nutrição satisfatória. Visando esse fato, o presente estudo teve por objetivo avaliar os efeitos da aplicação de fósforo (P) à lanço ou no sulco de plantio, na sucessão soja-trigo, em duas safras. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados em esquema fatorial 2 x 4 (dois modos de aplicação do fósforo, que foram à lanço ou no sulco de plantio, e quatro doses de  $P_2O_5$  0, 60, 120 e 200 kg ha<sup>-1</sup>, fonte superfosfato triplo), em parcelas de 4,0 m x 8,0 m, em um Latossolo Vermelho eutroférico. Os parâmetros avaliados para a cultura da soja foram número de vagens, peso de 100 sementes, número de grãos por vagem por m<sup>2</sup>, altura das plantas e produtividade. Para a cultura do trigo foram avaliados o volume hectolitro (PH), altura de plantas, peso de 1000 sementes e produtividade. Foram avaliados o teor de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) nas folhas e grãos das duas culturas. Os dados foram submetidos à análise de variância com desdobramentos ortogonais, de regressão e teste de Tukey, quando necessário. Os resultados mostraram que as doses de P aplicadas e os modos de aplicação testados (à lanço ou sulco de plantio) influenciaram nos teores nutricionais foliares, teores nutricionais de grãos e nos componentes de produção da soja e do trigo. Para os atributos químicos do solo, houve influência significativa apenas para a soja, havendo significância para o carbono (C) orgânico, Mg e Al. Os dois modos de aplicação se mostraram eficientes e viáveis para a soja e trigo em solo com níveis adequados de P, sendo que na maior dose aplicada (120 kg ha<sup>-1</sup>) houve um maior incremento dos nutrientes analisados, bem como na produtividade das duas culturas.

**Palavras-chave:** *Glycine max* (L.) Merrill. *Triticum aestivum* L. Adubos fosfatados. Técnicas de adubação. Nutrição mineral.

### 3.2 ABSTRACT

The production of soy and wheat on a large scale is determinant for the economy of several countries, such as Brazil. As a result, research to increase and improve production aspects is necessary. Fertilization techniques play a key role in ensuring that crops have good nutrition. Aiming at this fact, the present study aimed to evaluate the effects of the application of phosphorus (P) to the haul and in the planting groove in the soybean-wheat succession, in two crops. The experimental design was a randomized complete block in a 2 x 4 factorial scheme (two modes of phosphorus application, which were in the haul and in the planting groove, and four doses of  $P_2O_5$  0, 60, 120 and 200  $kg\ ha^{-1}$ , source superphosphate triple), in plots of 4,0 m x 8,0 m, in an eutrophic Red Latosol. The parameters evaluated for the soybean crop were number of pods, weight of 100 seeds, number of grains per pod per  $m^2$ , plant height and productivity. For the wheat crop, the volume of hectoliter (PH), height of plants, weight of 1000 seeds and productivity were evaluated. The nutrient content (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn and Zn) was evaluated in the leaves and grains of the two cultures. Data were submitted to analysis of variance with orthogonal, regression and Tukey test. The results showed that the doses of P applied and the modes of application tested (to the haul and planting groove) influenced foliar nutritional contents, nutritional contents of grains and components of soybean and wheat production. For the soil chemical attributes, there was significant influence only for soybean, with significance for organic (C) carbon, Mg and Al. The two modes of application were efficient and feasible for soybean and wheat in soil with adequate levels of P, and in the highest applied dose (120  $kg\ ha^{-1}$ ) there was a greater increase of the analyzed nutrients, as well as in the productivity of the two cultures.

**Keywords:** *Glycine Max* (L.) Merrill. *Triticum aestivum* L. Phosphate fertilizers. Fertilization techniques. Mineral nutrition.

### 3.3 INTRODUÇÃO

O Brasil é considerado o 2º maior produtor de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) no mundo, atrás apenas dos Estados Unidos (EMBRAPA, 2018), enquanto que, para o trigo (*Triticum aestivum* L.), o país não se encontra entre os 10 maiores produtores. Porém, tem aumentado a sua produção no decorrer dos anos, tendo o estado do Paraná como o maior produtor (ABITRIGO, 2015). Conforme a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2018) e a Embrapa (2018), a produção em 2017/2018, para soja e trigo, alcançou 116,996 milhões de toneladas e 4,9 milhões de toneladas, respectivamente.

A sucessão de culturas tem sido viável para diversos cultivos, pois proporciona contínua proteção ao solo, boa quantidade de matéria orgânica e acúmulo de nutrientes, sendo de importância fundamental para manter elevadas produtividades, com o decorrer dos anos.

Conforme Fidelis et al. (2003), a sucessão de culturas tem melhor desempenho se unida ao plantio direto, constituindo-se em um sistema de implantação de culturas em solo não revolvido e protegido por cobertura provenientes de restos de vegetais. A mobilização do solo não é nula, mas restringe-se apenas ao sulco de semeadura, no caso do plantio direto.

O uso da sucessão soja e trigo é comum na região Sul do Brasil. Ambas as culturas podem se beneficiar neste sistema. A maior limitação recorrente é o aumento de doenças foliares na cultura do trigo a partir do terceiro ano da sucessão. A maior exigência de fertilidade do solo pela cultura do trigo, cujo manejo confere acúmulo de nutrientes, principalmente o fósforo (P), pode contribuir para a redução da adubação para a cultura da soja. Por outro lado, o trigo se beneficia do fornecimento de quantidades significativas de nitrogênio pelos resíduos da cultura da soja (OLIVEIRA JÚNIOR, et al., 2015).

Conforme Sfredo (2008), no Brasil, grande parte dos solos possuem deficiência de P, evidenciado nas culturas através do reduzido porte e da pequena altura de inserção das primeiras vagens, no caso da soja. No Estado do Paraná o mesmo autor verificou que, à medida que se forneciam doses de  $P_2O_5$ , aumentava-se a altura da planta, a altura da inserção da primeira vagem e a produtividade da soja. O manejo do fertilizante fosfatado influencia na disponibilização dos nutrientes no solo e às culturas (CERETTA; FRIES, 1997) e o modo de aplicação pode alterar

a velocidade e a capacidade do fertilizante reagir no solo, podendo solubilizar ou disponibilizar o fósforo à planta, o que afeta a eficiência da adubação fosfatada (BREVILIERI, 2012).

Há controvérsias quanto a eficiência de aplicação de P a lanço ou sulco de semeadura. Por isso, o objetivo do presente trabalho foi definir se existe influência do modo e das doses de aplicação de P sobre os atributos químicos do solo, estado nutricional, componentes de produção e produtividade da soja e do trigo em decorrência da adubação fosfatada para a cultura do trigo, cultivada em Latossolo Vermelho eutrófico.

### 3.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado durante dois anos agrícolas, em área de plantio direto, safras 2014/2015 e 2015/2016 para a soja (1ª safra: plantio dia 14 de outubro de 2014; 2ª safra: plantio dia 15 de outubro de 2015) e safras de 2015 e 2016 para o trigo (1ª safra: plantio dia 3 de maio de 2015; 2ª safra: plantio dia 20 de abril de 2016), no campo experimental da Embrapa Soja, localizado no município de Londrina (23°23'30"S e 51°11'05"W), Estado do Paraná, sobre um Latossolo Vermelho Escuro eutrófico (Oxisol) (SANTOS et al., 2018). Os atributos químicos, na profundidade de 20 cm, foram: pH (CaCl<sub>2</sub>) = 4,9, matéria orgânica (MO) = 31,3 g kg<sup>-1</sup>; P (Mehlich 1) = 37,4 mg kg<sup>-1</sup>; K (Mehlich 1) = 0,7 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; Ca = 5,1 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; Mg = 1,9 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> = 79,1 mg kg<sup>-1</sup>; Al = 0,1 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; H+Al = 3,8 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; capacidade de troca de cátions (CTC) = 11,5 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; saturação por bases (V) = 67%; B = 0,6 mg kg<sup>-1</sup>; Cu (DTPA-TEA) = 18,3 mg kg<sup>-1</sup>; Fe = 101,6 mg kg<sup>-1</sup>; Mn = 173,8 mg kg<sup>-1</sup>; Zn = 7,9 mg kg<sup>-1</sup> e argila = 710 g kg<sup>-1</sup>.

O clima na região é o subtropical úmido Cfa (classificação de Köppen), sem estação seca com as temperaturas dos meses mais quentes superior a 22°C e umidade relativa do ar maior que 60%. A precipitação média anual é de 1600 mm com 60% das chuvas, geralmente, concentradas entre os meses de outubro a fevereiro (primavera e verão).

As médias mensais de temperatura, precipitação pluviométrica e umidade relativa do ar, mensuradas no decorrer das safras 2014/2015 e 2015/2016 para a soja e safras 2015 e 2016 para o trigo, estão contidas na tabela 4, conforme dados climáticos do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR, 2019).

**Tabela 4.** Médias mensais da temperatura (°C), precipitação pluviométrica (Prec.) (mm) e umidade relativa do ar (U.R.A) (%) ocorridos no período do experimento, para a soja (safras 2014/2015 e 2015/2016) e para o trigo (safras 2015 e 2016).

| Soja           |                  |            |        |
|----------------|------------------|------------|--------|
| Safr 2014/2015 |                  | Médias     |        |
| Meses          | Temperatura (°C) | Prec. (mm) | U.R.A% |
| out/14*        | 23,43            | 6,60       | 58,75  |
| nov/14         | 24,90            | 148,40     | 66,60  |
| dez/14         | 24,32            | 234,70     | 75,10  |
| jan/15         | 24,89            | 201,20     | 73,74  |
| fev/15*        | 23,55            | 70,80      | 80,50  |
| Safr 2015/2016 |                  | Médias     |        |
| Meses          | Temperatura (°C) | Prec. (mm) | U.R.A% |
| out/15*        | 24,64            | 43,70      | 69,18  |
| nov/15         | 23,15            | 368,60     | 83,05  |
| dez/15         | 23,82            | 389,80     | 108,73 |
| jan/16         | 24,66            | 417,80     | 74,90  |
| fev/16*        | 25,49            | 186,00     | 78,11  |
| Trigo          |                  |            |        |
| Safr 2015      |                  | Médias     |        |
| Meses          | Temperatura (°C) | Prec. (mm) | U.R.A% |
| mai/15*        | 19,12            | 97,00      | 80,46  |
| jun/15         | 18,68            | 10,30      | 75,22  |
| jul/15         | 17,55            | 345,90     | 80,87  |
| ago/15         | 20,24            | 33,20      | 58,16  |
| set/15*        | 22,73            | 0,00       | 58,00  |
| Safr 2016      |                  | Médias     |        |
| Meses          | Temperatura (°C) | Prec. (mm) | U.R.A% |
| abr/16*        | 20,32            | 77,50      | 63,00  |
| mai/16         | 17,89            | 273,70     | 79,15  |
| jun/16         | 15,59            | 108,50     | 74,40  |
| jul/16         | 17,59            | 33,80      | 66,67  |
| ago/16*        | 19,16            | 36,00      | 65,11  |

\* Soja: Safr 2014: Semeadura: 14 de outubro de 2014; Colheita: 18 de fevereiro de 2015; Safr 2015: Semeadura: 15 de outubro de 2015; Colheita: 18 de fevereiro de 2016.

\* Trigo: Safr 2015: Semeadura: 03 de maio de 2015; Colheita: 04 de setembro de 2015; Safr 2016: Semeadura: 20 de abril de 2016; Colheita: 20 de agosto de 2016.

Fonte: IAPAR, 2019.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso em esquema fatorial 2x4 [dois modos de aplicação de P (a lanço e sulco de plantio a 10 cm de profundidade) e quatro doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0, 60, 120 e 200 kg ha<sup>-1</sup>), fonte superfosfato triplo (SFT)], em parcelas de 4,0 m × 8,0 m, com espaçamento entre linhas de 50 cm para soja e 17 cm para o trigo. A cultivar de soja, utilizada nos dois anos de cultivo, foi a transgênica BMX Alvo RR Intacta®, porte médio, hábito de

crescimento indeterminado e grupo de maturação 5,9.

Após cada cultivo da soja, foi plantado, em sucessão, a cultivar de trigo (*Triticum aestivum* L.) Pardela®, para quantificar os efeitos residuais do manejo da cultura anterior (soja), não havendo adubação feita especificamente para o trigo, a não ser adubação de manutenção. A população utilizada no plantio foi de 500 mil plantas por hectare, no qual foram feitos os tratos fitossanitários, adubação de manutenção ( $K_2O$  com  $400 \text{ kg ha}^{-1}$  na soja e  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de N no trigo) e controle de plantas daninhas (ITTT, 2011).

Exceto para o N e P, os micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Ni e Zn) foram aplicados na forma de sais misturados com o gesso agrícola ( $CaSO_4 + 2H_2O$ ), equivalente a  $2 \text{ t ha}^{-1}$ . No segundo cultivo, a adubação foi feita com base na análise de solo obtida após o cultivo do trigo. Para o controle das ervas daninhas, nos estádios  $V_3$  e  $V_6$  (FEHR et al., 1971), as plantas receberam aplicação de glifosato (Roundup Ready®) na dose de  $1,5 \text{ L/ha/aplicação}$  ( $540 \text{ g a.e.ha}^{-1}$ ) com pulverizador costal, a pressão constante, mantida por  $CO_2$  comprimido de  $276 \text{ kPa}$  com volume de pulverização equivalente a  $100 \text{ L ha}^{-1}$ . As sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium elkanii* – SEMIA 587 e SEMIA 5019 ( $4,0 \times 10^9$  células viáveis  $g^{-1}$ ) e tratadas com solução contendo Mo, Co e Ni (TPS, 2013).

Após o ciclo findado, as folhas de ambas as culturas, em cada safra, foram coletadas e secas em ventilação forçada em estufa a  $65^\circ \pm 5^\circ C$  até peso constante e moídas em moinho com peneira de  $0,2 \text{ mm}$ . O N total foi extraído por digestão sulfúrica e determinado pelo método micro-Kjeldahl (NELSON; SOMMERS, 1972). Os teores totais de P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn foram extraídos por digestão em solução nítrico-perclórica. O P total foi determinado por espectrofotometria com azul de molibdênio e o S por turbidimetria (NOVOZAMSKY et al., 1983). O K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn total foram analisados por espectrofotometria de absorção atômica, de acordo com os métodos descritos por Malavolta et al. (1997). As análises de solo (pH, C, P, K, Ca, Mg, Na, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) foram realizadas de acordo com as metodologias descritas em Embrapa (1997).

Nos estádios de crescimento  $R_6$  da soja (FEHR et al., 1971), foram coletadas em aleatório, quatro fileiras centrais para determinação do número de vagens, peso de 100 sementes, número de grãos por vagem por  $m^2$  e altura das plantas. A produtividade foi determinada na área de  $3,0 \text{ m} \times 7,0 \text{ m}$  deixando  $50 \text{ cm}$

de cada lado como bordadura. Semelhante às folhas, nos grãos foi determinado os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn (MALAVOLTA et al., 1997).

Na cultura do trigo foi quantificada a produtividade, volume hectolitro (PH), altura de plantas e peso de 1000 sementes. No estágio 10.1 foram coletadas folhas em 20 plantas ao acaso dentro de cada tratamento para determinação estado nutricional das plantas (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn - MALAVOLTA et al., 1997). No final do ciclo da cultura foram retiradas as amostras de solo na profundidade de 0-20 cm de cada tratamento para quantificação da fertilidade do solo (pH, C, P, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup>, B, Cu, Fe, Mn e Zn - EMBRAPA, 1997) e recomendação de adubação para a cultura da soja.

A caracterização química das amostras de solo foi realizada pelos seguintes métodos, conforme Embrapa (1997): pH em água – determinado em potenciômetro com eletrodo de vidro, empregando-se a relação solo: solução (v:v) 1:2,5; Matéria orgânica – pelo método titulação, utilizando sulfato ferro amoniacal 0,01 mol L<sup>-1</sup>, dag kg<sup>-1</sup>; P e K disponível – extrator duplo ácido (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 mol L<sup>-1</sup>) ou Mehlich 1, sendo o P determinado por fotocolorimetria e o K por fotometria de chama, mg dm<sup>-3</sup>; Ca, Mg e Al trocável – extraído com KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup> (1:5), sendo o Ca e Mg determinado por espectrofotometria de absorção atômica e o Al por titulometria com uma solução de NaOH 0,25 mol L<sup>-1</sup> padronizada, usado o azul de bromotimol como indicador, cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H+Al trocável – Determinado por titulação em solução de acetato de cálcio 0,01 mol L<sup>-1</sup>, cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Soma de bases (SB) – soma dos cátions trocáveis (K+Ca+Mg); Capacidade de troca de cátions efetiva (CTCefetiva) – Soma de bases+Al, cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Capacidade de troca de cátions em pH 7,0 (CTC) – Soma de bases+H+Al, cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Saturação de alumínio (m%) – [Al/(SB+Al)]\*100, %; Saturação por bases (V%) – (SB/CTC)\*100; P Mehlich.

Os dados foram submetidos à análise de variância e regressão, e também ao teste de Tukey, quando necessário, ambos a 5% de probabilidade, pelo programa Sisvar® versão 5.3 (FERREIRA, 2010).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos componentes de produção da soja avaliados, somente a produtividade foi influenciada significativamente pelas doses de P e pela interação doses de P *versus* modos de aplicação (M.A.) (à lanço e sulco de plantio), no qual foi verificado o aumento progressivo, em  $\text{kg ha}^{-1}$ , conforme a elevação das doses aplicadas (Tabela 5) (Figura 1), em que a dose  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de P foi a que mais se mostrou benéfica, evidenciando que mesmo em solos com teores adequados de P, quanto maior a dosagem deste nutriente, maior a produção de soja. Isto ocorre porque, mesmo com teores considerados elevados, somente com valores muito maiores de P, do que os encontrados no solo, é que a fixação é reduzida significativamente. Conforme Cavalli et al., (2015), testando doses de P em superfície na cultura da soja em solo com fertilidade em construção, verificaram que a produtividade aumentou com a aplicação das doses, sendo a maior dose  $90 \text{ kg ha}^{-1}$ . Schwade et al. (2015) tiveram uma produtividade de  $2.904,17 \text{ kg ha}^{-1}$  para a cultura da soja, na dose  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de P, comparando-se com os resultados advindos das doses 0 e  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  de P, do presente estudo.

O P é responsável por influenciar a produtividade da cultura, pois atua no porte da planta e na altura da inserção das primeiras vagens, segundo Tanaka e Mascarenhas (1992), bem como o aumento do número de inflorescência (VENTIMIGLIA et al., 1999) e constitui a molécula de ATP, RNA, DNA e membrana plasmática. Um bom teor desse elemento favorece incrementos que são significativos na produção (ARAÚJO et al., 2005). Em solos com baixa fertilidade, há uma resposta praticamente linear ao P aplicado, tanto na linha de plantio como a lanço seguido de incorporação, até às maiores quantidades utilizadas (FMT, 2001). Já quanto às doses de P *versus* M.A., houve um ligeiro aumento de produção na dose  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  de P, para a aplicação à lanço., não ocasionando diferença significativa entre as doses e M.A.

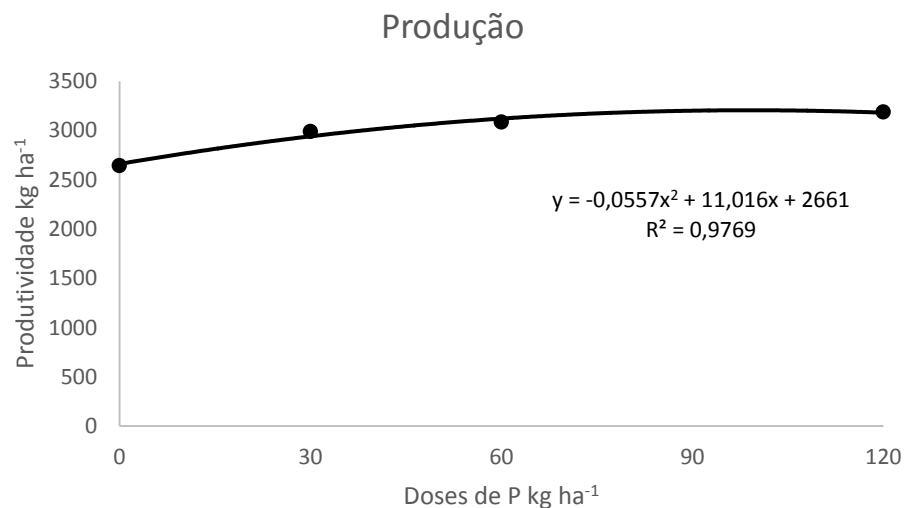
Para o peso de 100 sementes, altura de plantas, nº de vagens e nº de grãos, não foram encontradas diferenças estatísticas em decorrência das doses e modos de aplicação. Resultados semelhantes foram encontrados por Nunes et al. (2011), Bergamin et al. (2008) e Guareschi et al. (2008), nos quais não verificaram efeito do modo de aplicação do P em seus estudos.

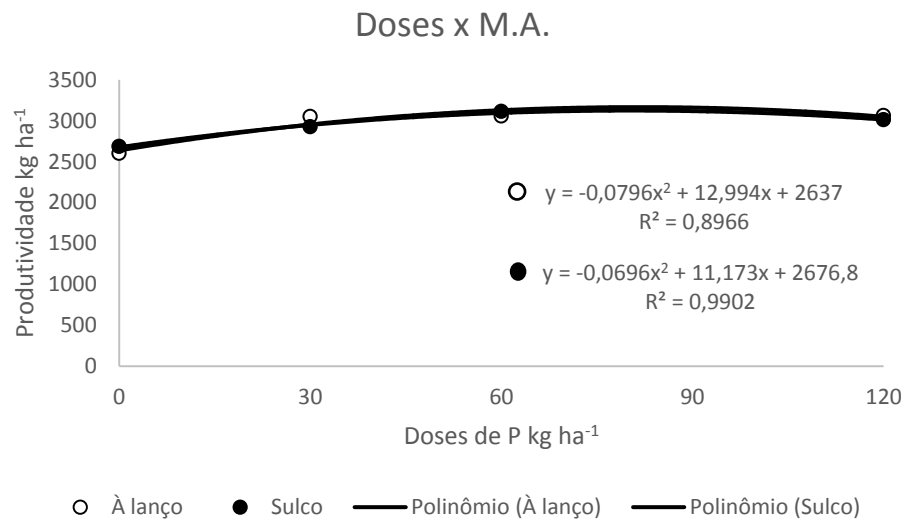
**Tabela 5.** Componentes de produção de soja, sob doses de fósforo (P) aplicados à lanço e no sulco de plantio. Média de dois anos consecutivos.

| Soja                |                     |                      |                   |              |             |
|---------------------|---------------------|----------------------|-------------------|--------------|-------------|
| Doses de P          | Produtividade e     | Peso de 100 Sementes | Altura de Plantas | Nº de Vagens | Nº de Grãos |
| kg ha <sup>-1</sup> | kg ha <sup>-1</sup> | g                    | m                 | n            | n           |
| 0                   | 2643,2              | 12,18                | 0,56              | 43           | 103         |
| 30                  | 2988,8              | 12,43                | 0,6               | 52           | 129         |
| 60                  | 3085,95             | 11,78                | 0,66              | 54           | 138         |
| 120                 | 3187,19             | 12,48                | 0,65              | 48           | 121         |
| Média               | 2976,29             | 12,22                | 0,62              | 49           | 122,75      |
| Teste F             |                     |                      |                   |              |             |
| Doses               | *                   | ns                   | ns                | ns           | ns          |
| M.A.                | ns                  | ns                   | ns                | ns           | ns          |
| Doses x M.A.        | *                   | ns                   | ns                | ns           | ns          |
| C.V (%)             | 4,66                | 4,76                 | 14,35             | 20,02        | 19,84       |

\* e ns: Significativo e não significativo, respectivamente, a 5% de probabilidade pelo teste de regressão.

M.A.: Modos de Aplicação (à lanço e sulco de plantio).





**Figura 1.** Relação das doses de fósforo (P) com a produção de soja (kg ha<sup>-1</sup>), aplicados à lanço e no sulco de plantio. Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de regressão.

Não houve influência dos tratamentos para os componentes de produção do trigo (Tabela 6). Todavia, cabe destacar que houve um aumento na produtividade com as doses de P aplicadas, embora não tenha ocorrido diferença estatística.

Richart et al. (2009), em estudos com o desempenho de trigo em resposta a aplicação de termofosfato, verificaram que na dose aplicada 75,8 kg ha<sup>-1</sup> de P, houve a maior produtividade de trigo, alcançando 2124 kg ha<sup>-1</sup>, que foi menor se comparado com o presente trabalho, mesmo na dose 0 kg ha<sup>-1</sup>. Pavinatto e Ceretta (2004), estudando modos de aplicação do fertilizante fosfatado na cultura do milho (*Zea mays*) em um solo com teor muito alto de P, salientaram que não houve diferença entre o manejo do fertilizante na resposta em produtividade. Para Santos et al. (2008), resultados como este somente são observados pelo fato de o solo já apresentar teores altos de P, onde, em condições de menor disponibilidade, o mesmo não seria observado.

No cultivo de soja, foi verificado efeito das doses de P nos atributos químicos do solo, para os teores de carbono (C) orgânico e alumínio (Al) trocável (Tabela 7). Na interação doses de P *versus* M.A, o magnésio (Mg) e Al trocável também foram influenciados significativamente, sendo que, como verificado na figura 2, o Mg teve um maior teor quando o P foi aplicado à lanço na dose 30 kg ha<sup>-1</sup> de P.

Possivelmente, conforme se aumentavam as doses de P, o Ca presente no fertilizante SFT, afetou o teor de Mg, reduzindo-o. Já o Al trocável teve um maior teor no P aplicado no sulco de plantio na dose 30 kg ha<sup>-1</sup> de P e também no M.A. à lanço, sob a dose 120 kg ha<sup>-1</sup> de P. Os modos de aplicação (M.A.) à lanço e no sulco de plantio, isoladamente não induziram nenhuma diferença significativa nos atributos químicos do solo.

**Tabela 6.** Componentes de produção de trigo, sob doses de fósforo (P) aplicados à lanço e no sulco de plantio. Média de dois anos consecutivos.

| Trigo               |                     |                       |        |       |      |           |             |                  |               |
|---------------------|---------------------|-----------------------|--------|-------|------|-----------|-------------|------------------|---------------|
| Doses de P          | Produtividade       | Peso de 1000 Sementes | AP     | PH    | ESP  | Nº de PI. | Nº de Perf. | Nº Total Espigas | Nº de Espigas |
| kg ha <sup>-1</sup> | kg ha <sup>-1</sup> | g                     | m /100 | g     | n    | n         | n           | n                | n             |
| 0                   | 2599,35             | 29,87                 | 81,18  | 78,26 | 45   | 14        | 21          | 35               | 13            |
| 30                  | 2736,67             | 29,95                 | 78,8   | 79,23 | 48   | 15        | 21          | 36               | 13            |
| 60                  | 2793,65             | 30,03                 | 80,63  | 78,45 | 46   | 13        | 17          | 30               | 12            |
| 120                 | 2819,95             | 29,63                 | 79,9   | 78,1  | 48   | 14        | 18          | 32               | 14            |
| Média               | 2737,41             | 29,84                 | 80,13  | 78,51 | 47   | 14        | 19          | 33               | 13            |
| Teste F             |                     |                       |        |       |      |           |             |                  |               |
| Doses               | ns                  | ns                    | ns     | ns    | ns   | ns        | ns          | ns               | ns            |
| M.A.                | ns                  | ns                    | ns     | ns    | ns   | ns        | ns          | ns               | ns            |
| Doses x M.A.        | ns                  | ns                    | ns     | ns    | ns   | ns        | ns          | ns               | ns            |
| C.V (%)             | 9,4                 | 2,41                  | 4,29   | 0,89  | 7,23 | 15,65     | 19,76       | 14,91            | 13,52         |

AP: Altura de Plantas; ESP: Espiguetas; Nº de PI.: Nº de plantas; Nº de Perf.: Nº de perfilhos.

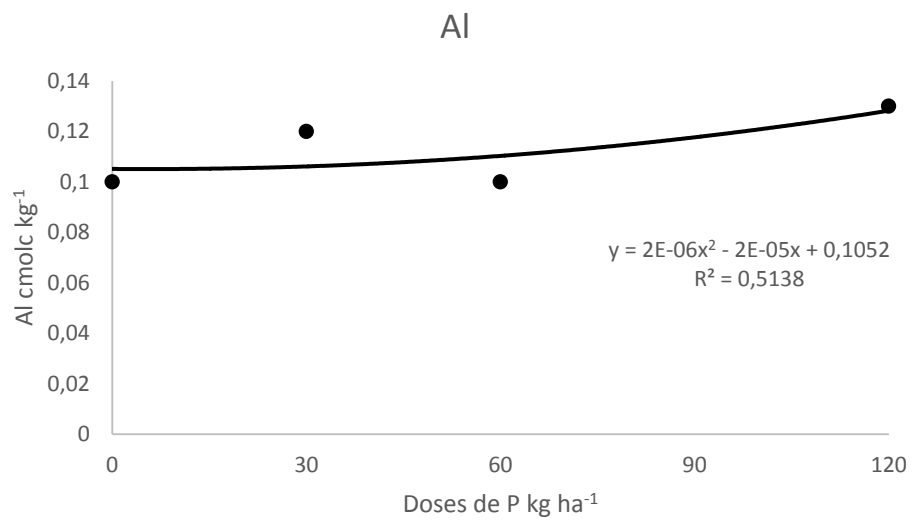
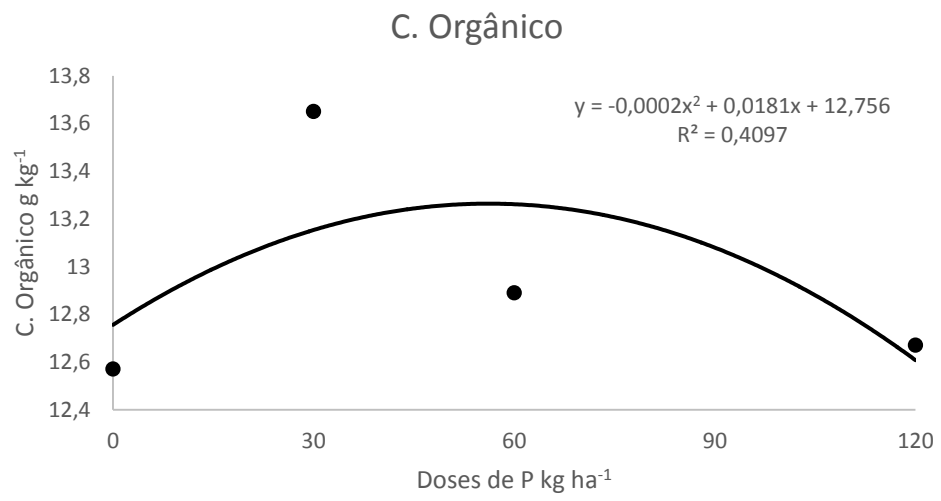
\* e ns: Significativo e não significativo, respectivamente, a 5% de probabilidade pelo teste de regressão. M.A.: Modos de Aplicação (à lanço e sulco de plantio).

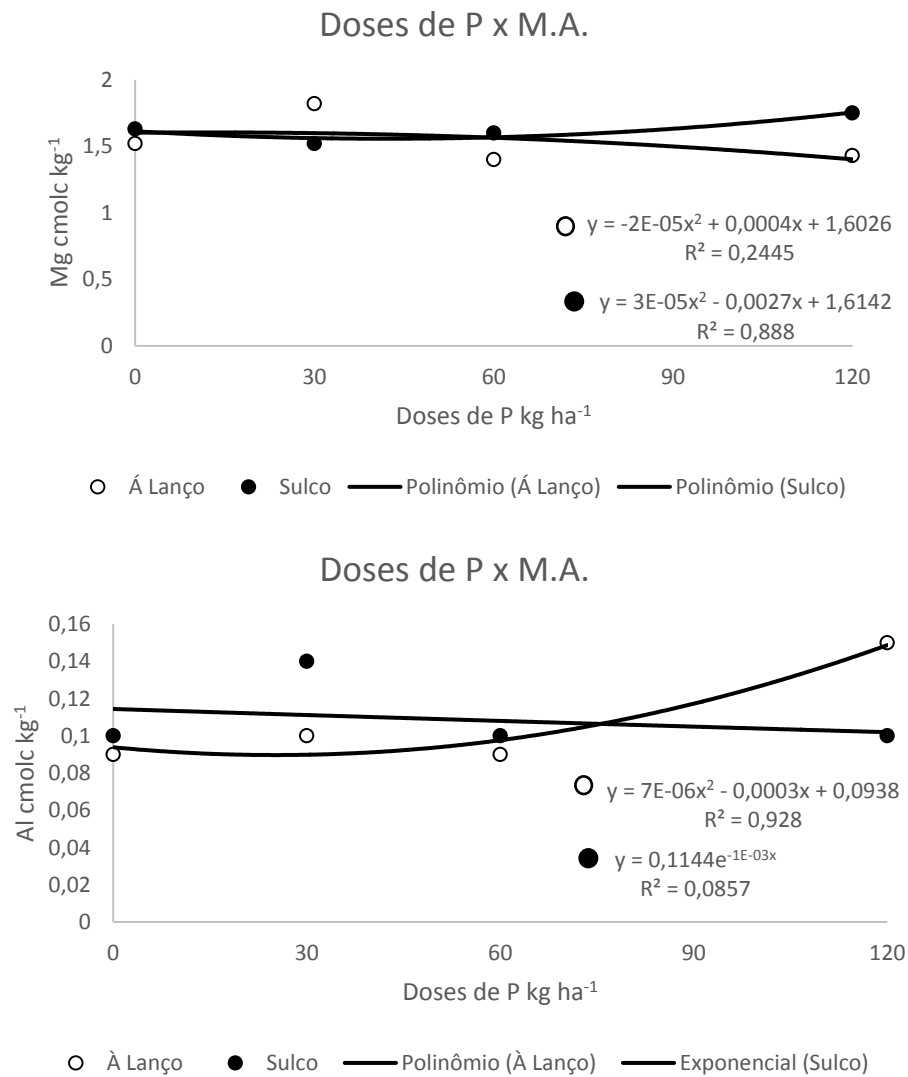
**Tabela 7.** Médias dos atributos químicos do solo, em dois anos agrícolas de cultivo de soja, sob doses de P aplicados à lanço e no sulco de plantio.

| Doses de P          | pH                | C org.             | K     | Ca   | Mg   | Al    | H+Al | CTC                    | V (%) | S-<br>SO <sub>4</sub> | B     |
|---------------------|-------------------|--------------------|-------|------|------|-------|------|------------------------|-------|-----------------------|-------|
| kg ha <sup>-1</sup> | CaCl <sub>2</sub> | g kg <sup>-1</sup> |       |      |      |       |      | cmolc kg <sup>-1</sup> |       |                       |       |
| 0                   | 5,07              | 12,57              | 0,58  | 4,02 | 1,57 | 0,1   | 4,56 | 10,74                  | 57,48 | 7,99                  | 0,24  |
| 30                  | 5,09              | 13,65              | 0,54  | 4,16 | 1,67 | 0,12  | 4,62 | 10,99                  | 57,85 | 6,4                   | 0,25  |
| 60                  | 4,92              | 12,89              | 0,55  | 3,75 | 1,5  | 0,1   | 4,98 | 10,79                  | 53,82 | 8,53                  | 0,28  |
| 120                 | 5,02              | 12,67              | 0,53  | 3,87 | 1,59 | 0,13  | 4,61 | 10,59                  | 56,4  | 10,04                 | 0,23  |
| Média               | 5,03              | 12,95              | 0,55  | 3,95 | 1,58 | 0,11  | 4,69 | 10,78                  | 56,39 | 8,24                  | 0,25  |
| Teste F             |                   |                    |       |      |      |       |      |                        |       |                       |       |
| Doses               | ns                | *                  | ns    | ns   | ns   | *     | ns   | ns                     | ns    | ns                    | ns    |
| M.A.                | ns                | ns                 | ns    | ns   | ns   | ns    | ns   | ns                     | ns    | ns                    | ns    |
| Doses x M.A.        | ns                | ns                 | ns    | ns   | *    | *     | ns   | ns                     | ns    | ns                    | ns    |
| C.V (%)             | 3,28              | 5,84               | 18,56 | 9,77 | 8,57 | 20,22 | 7,87 | 3,98                   | 6,52  | 31,54                 | 23,49 |

\* e ns: Significativo e não significativo, respectivamente, a 5% de probabilidade pelo teste de regressão.

M.A.: Modos de Aplicação (à lanço e sulco de plantio).





**Figura 2.** Relação das doses de fósforo (P) com os atributos químicos do solo, em dois anos agrícolas de cultivo de soja, aplicados à lanço e no sulco de plantio. Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de regressão.

A tabela 8 indica a influência significativa das doses de P nos atributos químicos do solo carbono (C) orgânico, matéria orgânica (M.O), Al trocável, H+Al, capacidade de troca de cátions (CTC) e zinco (Zn), no cultivo de trigo. Os M.A. à lanço e no sulco de plantio, isoladamente, influenciaram significativamente o teor de cobre (Cu). O M.A. sulco de plantio, isoladamente, se mostrou o mais eficiente no teor de Cu, alcançando o seu maior teor na dose 30 kg ha<sup>-1</sup>, se diferenciando significativamente. Na interação doses de P *versus* M.A., a CTC e o manganês (Mn) foram influenciados significativamente, sendo que a CTC teve um maior teor no M.A. à lanço na dose 60 kg ha<sup>-1</sup> de P (Figura 3). Já o Mn teve um maior teor no M.A. sulco

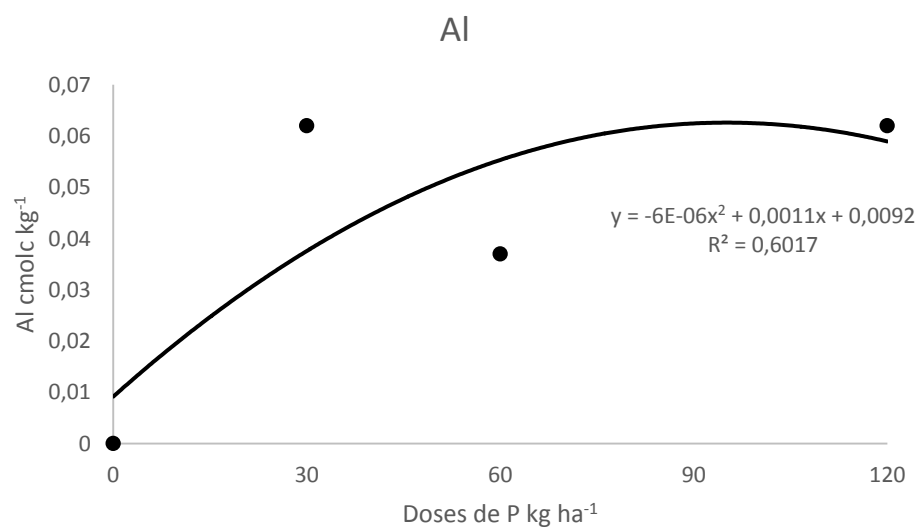
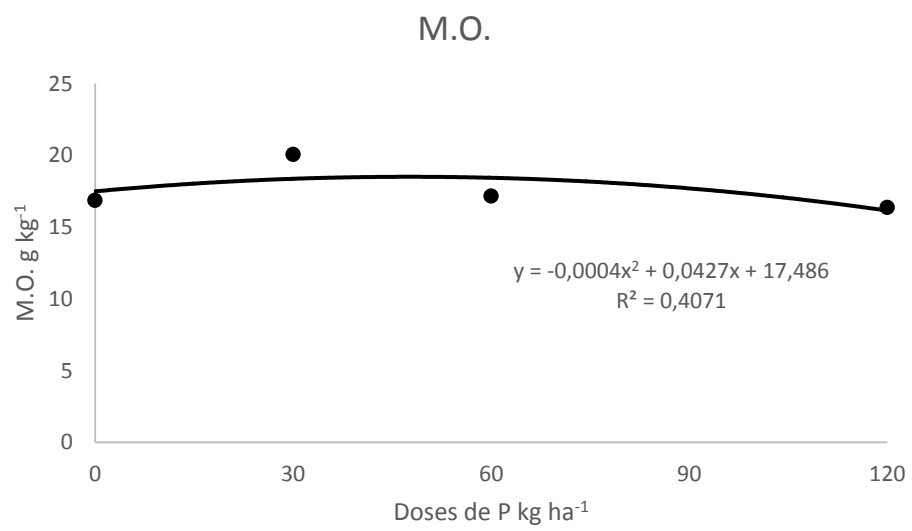
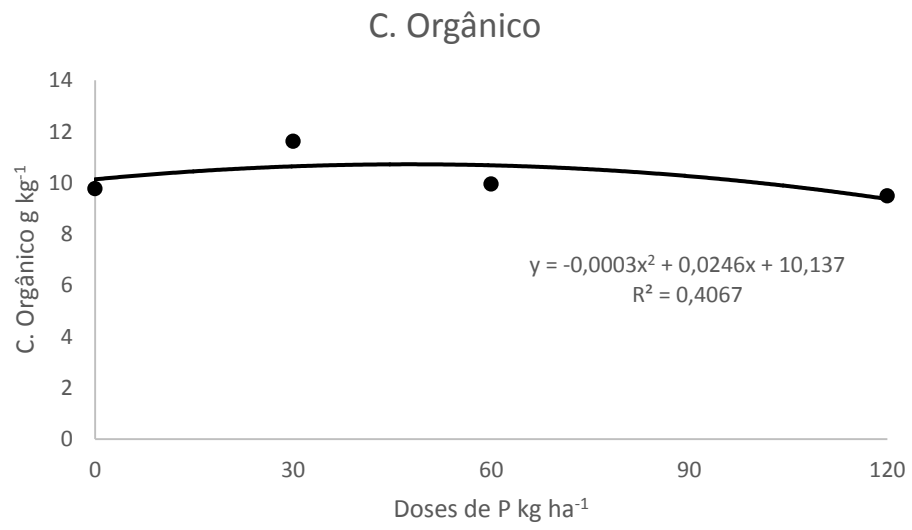
de plantio na dose 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P. Freiburger et al. (2014) verificaram que a adubação fosfatada promoveu o aumento da capacidade de troca de cátions (CTC), de Zn e Mn.

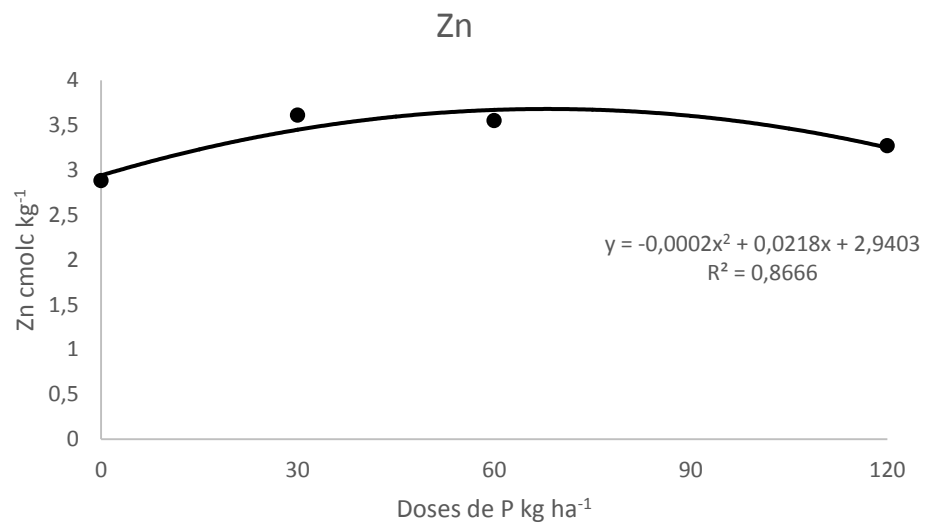
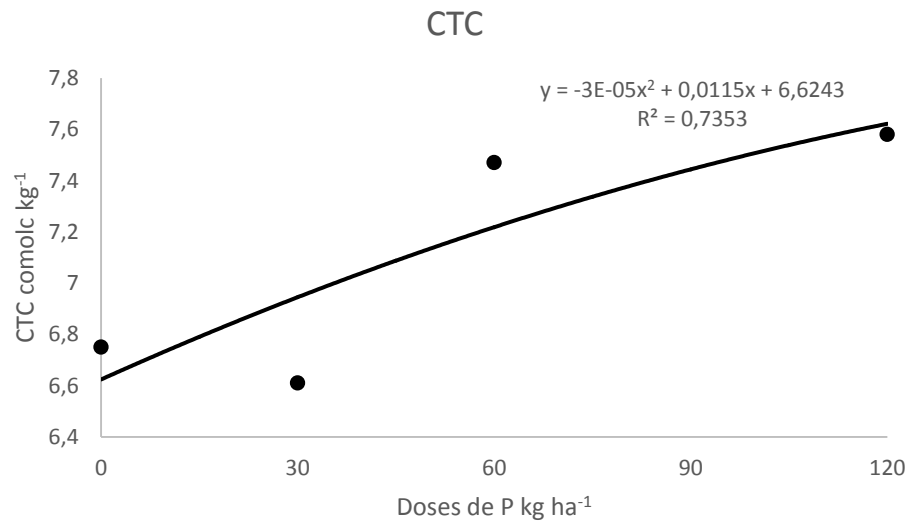
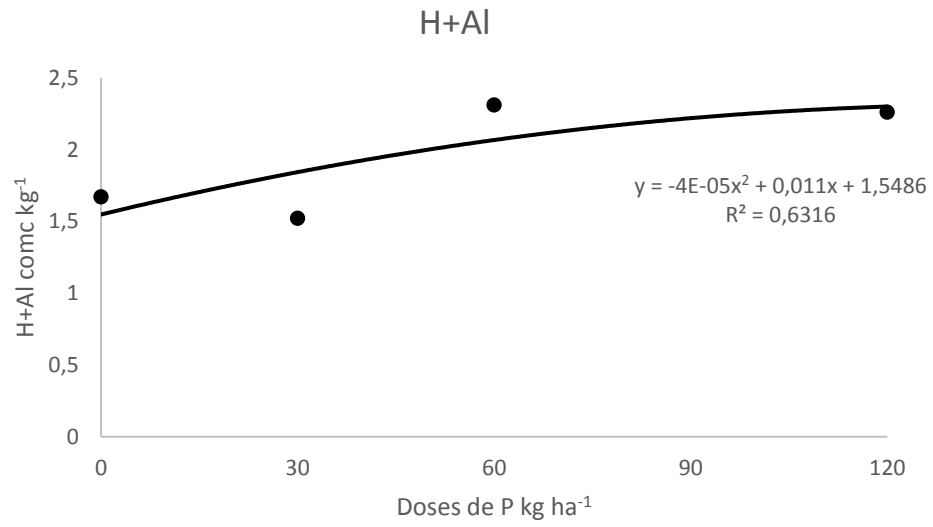
**Tabela 8.** Médias dos atributos químicos do solo, em dois anos agrícolas de cultivo de trigo, sob doses de P aplicados à lanço e no sulco de plantio.

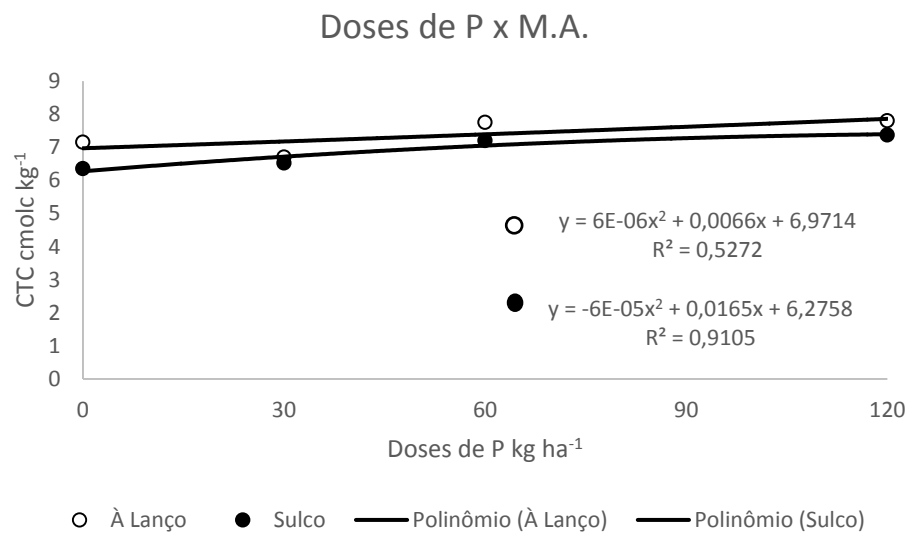
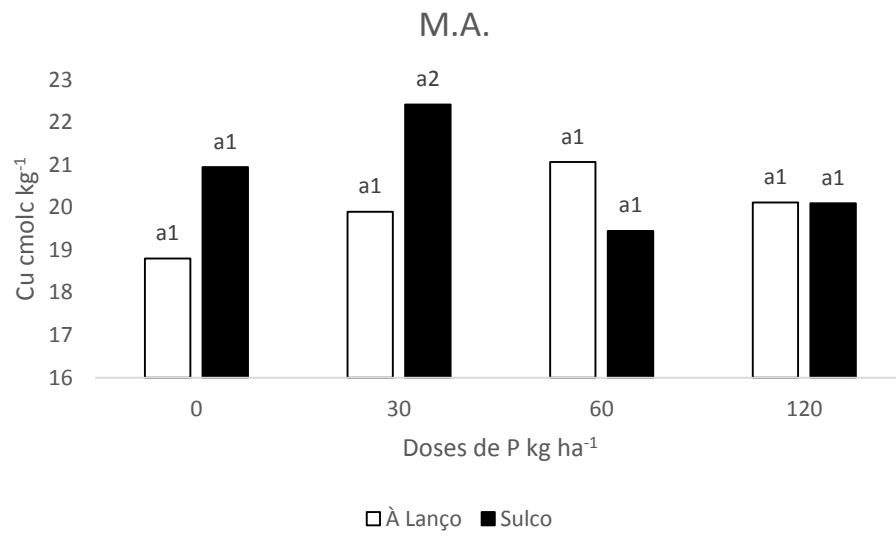
| Doses de P          | pH                 | C Org.             | M.O   | K     | Na    | Ca    | Mg   | Al                     | H+Al  | CTC  | V (%) | Cu    | Fe    | Mn     | Zn    |
|---------------------|--------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|------|------------------------|-------|------|-------|-------|-------|--------|-------|
| kg ha <sup>-1</sup> | CaCal <sub>2</sub> | g kg <sup>-1</sup> |       |       |       |       |      | cmolc kg <sup>-1</sup> |       |      |       |       |       |        |       |
| 0                   | 5,58               | 9,77               | 16,85 | 0,56  | 0,019 | 3,02  | 1,47 | 0                      | 1,67  | 6,75 | 75,10 | 19,86 | 26,17 | 269,91 | 2,88  |
| 30                  | 5,53               | 11,62              | 20,06 | 0,48  | 0,017 | 3,05  | 1,56 | 0,062                  | 1,52  | 6,61 | 77,26 | 21,16 | 26,48 | 257,27 | 3,61  |
| 60                  | 5,49               | 9,95               | 17,16 | 0,54  | 0,016 | 3,06  | 1,55 | 0,037                  | 2,31  | 7,47 | 69,16 | 20,26 | 28,16 | 253,32 | 3,55  |
| 120                 | 5,41               | 9,49               | 16,36 | 0,52  | 0,015 | 3,21  | 1,58 | 0,062                  | 2,26  | 7,58 | 70,25 | 20,11 | 25,98 | 248,73 | 3,27  |
| Média               | 5,50               | 10,21              | 17,61 | 0,53  | 0,02  | 3,09  | 1,54 | 0,04                   | 1,94  | 7,10 | 72,94 | 20,35 | 26,70 | 257,31 | 3,33  |
| Teste F             |                    |                    |       |       |       |       |      |                        |       |      |       |       |       |        |       |
| Doses               | ns                 | *                  | *     | ns    | ns    | ns    | ns   | *                      | *     | *    | ns    | ns    | ns    | ns     | *     |
| M.A.                | ns                 | ns                 | ns    | ns    | ns    | ns    | ns   | ns                     | ns    | ns   | ns    | *     | ns    | ns     | ns    |
| Doses x M.A.        | ns                 | ns                 | ns    | ns    | ns    | ns    | ns   | ns                     | ns    | *    | ns    | ns    | ns    | *      | ns    |
| C.V (%)             | 3,36               | 13,32              | 13,82 | 21,07 | 28,37 | 11,56 | 7,65 | 103,58                 | 25,25 | 5,5  | 10,0  | 7,41  | 9,22  | 9,42   | 15,11 |

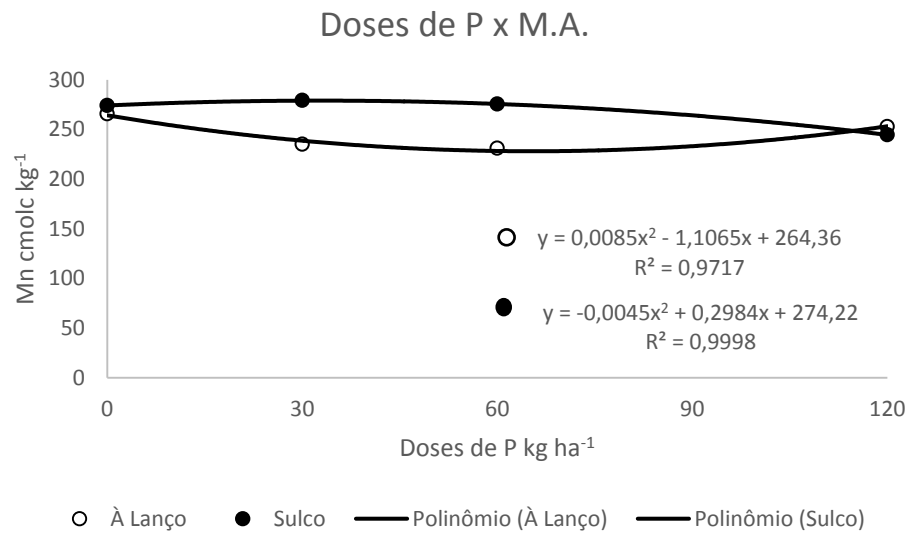
\* e ns: Significativo e não significativo, respectivamente, a 5% de probabilidade pelo teste de regressão.

M.A.: Modos de Aplicação (à lanço e sulco de plantio).









**Figura 3.** Relação das doses de fósforo (P) com os atributos químicos do solo, em dois anos agrícolas de cultivo de trigo, aplicados à lanço e no sulco de plantio. Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de regressão. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

Na tabela 9 verifica-se que as doses de P, isoladamente, influenciaram significativamente nos teores de P, encontrados nas folhas de soja, sendo que os valores do presente estudo coincidiram com os de referência para a cultura, exceto o teor encontrado na dose 0. Valores verificados nas doses 30 a 120 kg ha<sup>-1</sup>, estão de acordo com os da EMBRAPA (1998), que variam de 2,6 a 5,0 g kg<sup>-1</sup> de P.

Já os M.A. tiveram significância, isoladamente, para os teores foliares de P, K, Ca, S, Mn e Zn. Para o nutriente P na folha, o M.A. sulco de plantio na dose 120 kg ha<sup>-1</sup> foi superior aos demais tratamentos, porém não se diferiu estatisticamente do M.A. à lanço, na mesma dosagem de aplicação. Para o K, não houve diferença estatística entre os M.A., porém, na figura 4, é perceptível que o P aplicado no sulco de plantio resultou em um maior teor de K nas folhas de soja, sobretudo, na dose aplicada de 120 kg ha<sup>-1</sup>. Para o teor de Ca nas folhas, o M.A. que mais se destacou foi à lanço, porém não se diferenciou estatisticamente entre as doses de P. No M.A. sulco de plantio, a dose de 30 kg ha<sup>-1</sup> de P foi onde se obteve maior teor de Ca, contudo não se diferenciou estatisticamente das doses 0 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de P. Para os nutrientes S, Mn e Zn na folha, não houveram diferenças significativas entre nenhum dos M.A. Conforme Rosa et al. (2015), em estudos com doses e métodos na aplicação de P na cultura de soja, o modo à lanço foi mais

eficaz para aumentar o teor de P, K, S, Mn e Zn na folha, se comparado com o modo sulco de plantio, corroborando apenas com o teor de Ca encontrado no presente estudo.

As doses *versus* M.A. influenciaram significativamente apenas o teor de B nas folhas de soja, sendo que na dose 0 kg ha<sup>-1</sup>, à lanço, foi onde se obteve o maior teor de B e na dose 30 kg ha<sup>-1</sup>, no sulco de plantio, foi onde o teor de B foi superior. Para Rosa et al. (2015), a dose 150 kg ha<sup>-1</sup> de P aplicado via sulco de plantio apresentou o maior teor de B e na dose 200 kg ha<sup>-1</sup> foi onde apresentou maior teor desse nutriente no modo à lanço.

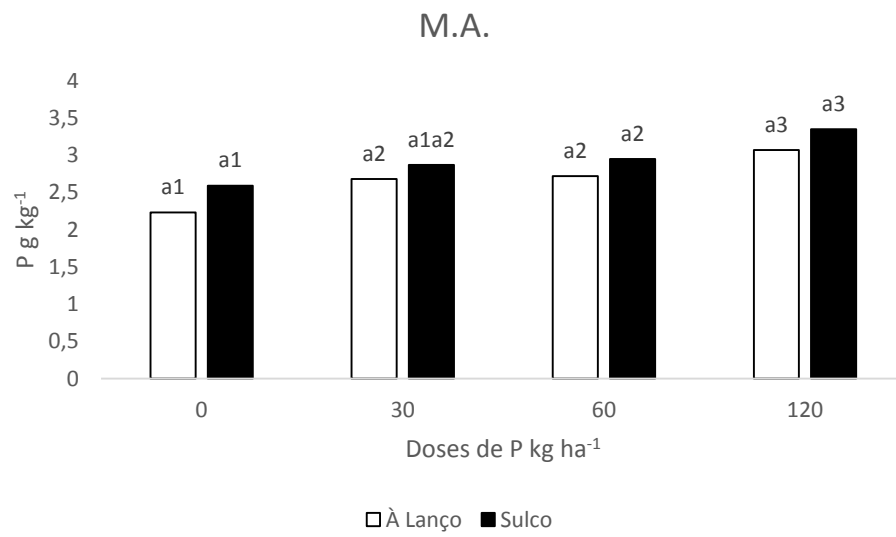
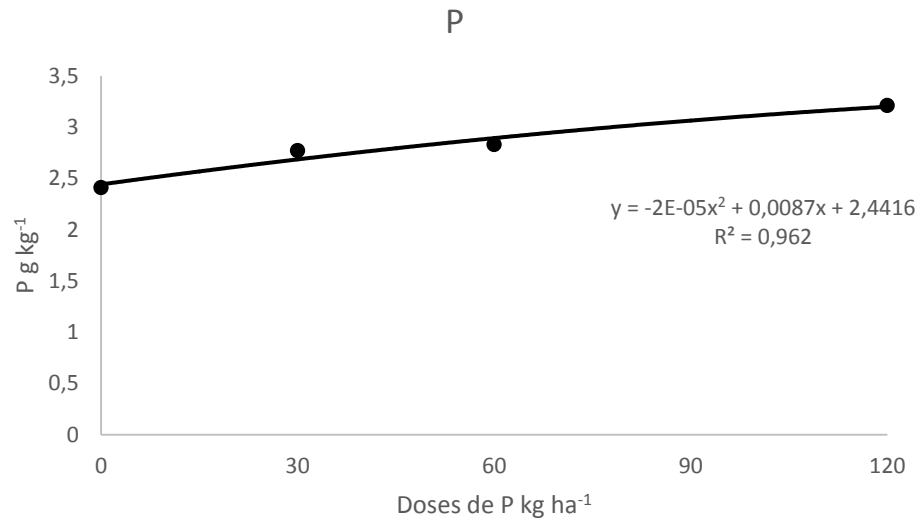
A adição conjunta de P e de S apresenta elevada resposta positiva no crescimento e desenvolvimento das culturas. De acordo com Araújo e Machado (2006), o P reduz tanto a absorção do Zn pelas raízes quanto a translocação do Zn da raiz para a parte aérea, o que não ocorreu no presente estudo, devido à influência de diversos fatores, como a cultivar e clima.

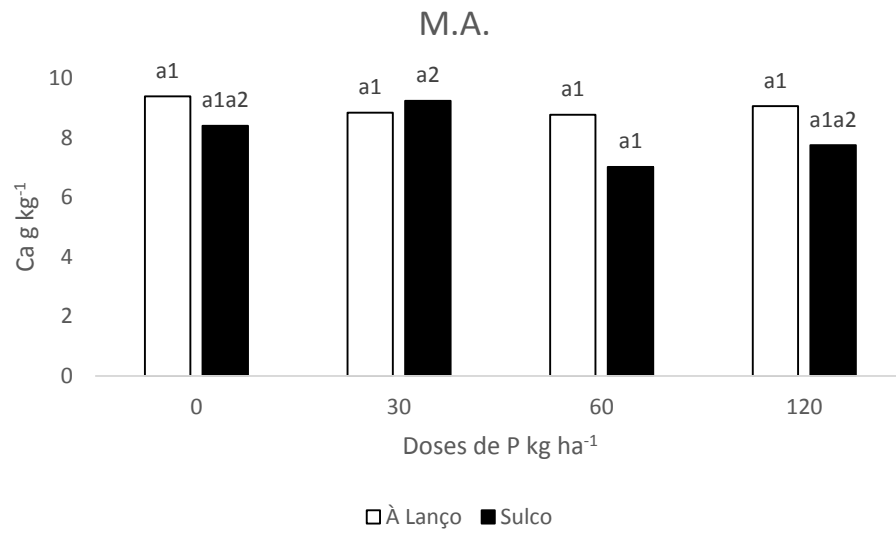
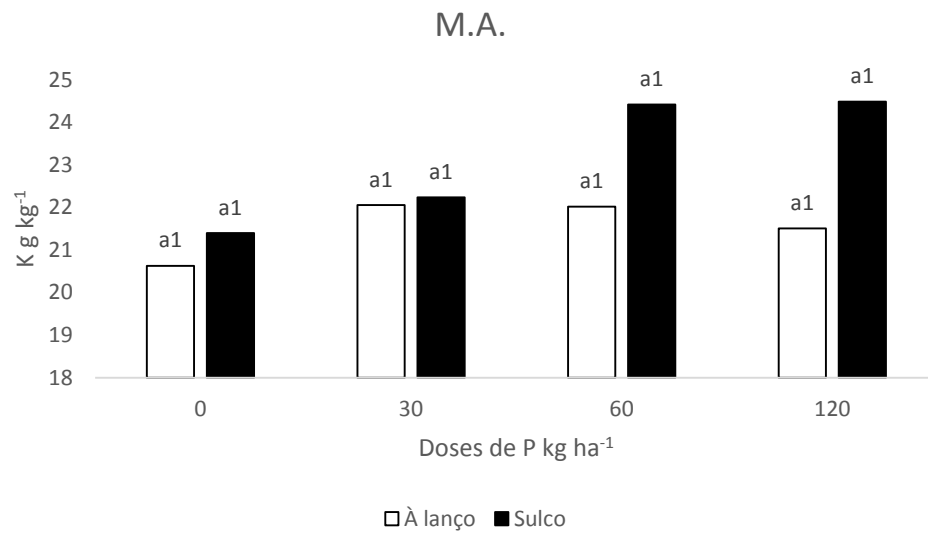
**Tabela 9.** Médias dos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, sob doses de P, à lanço e no sulco de plantio, em dois anos agrícolas de cultivo de soja.

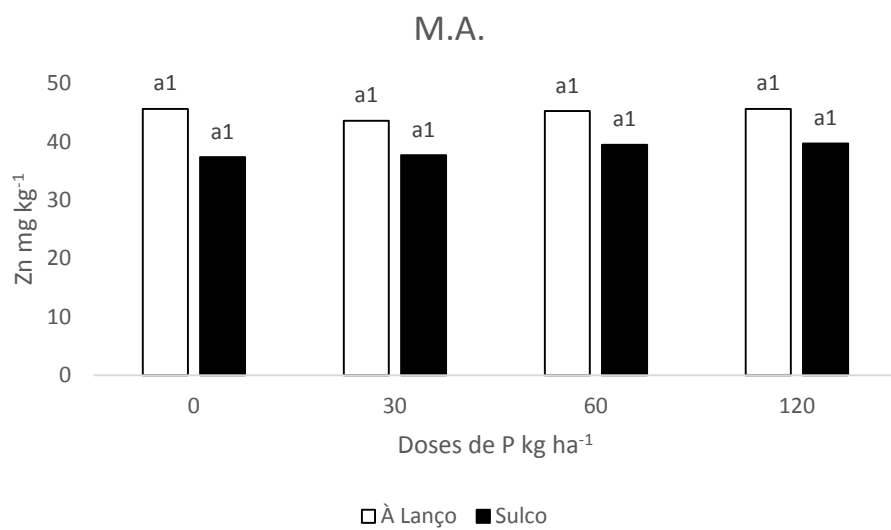
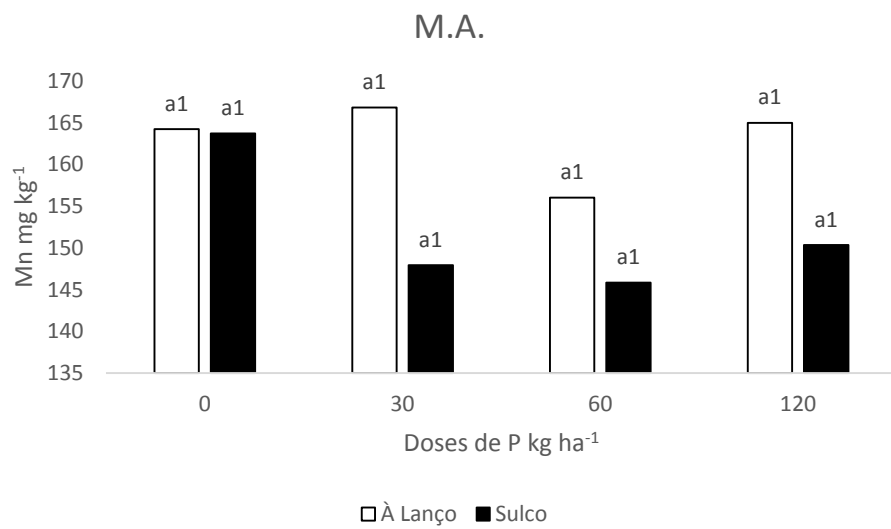
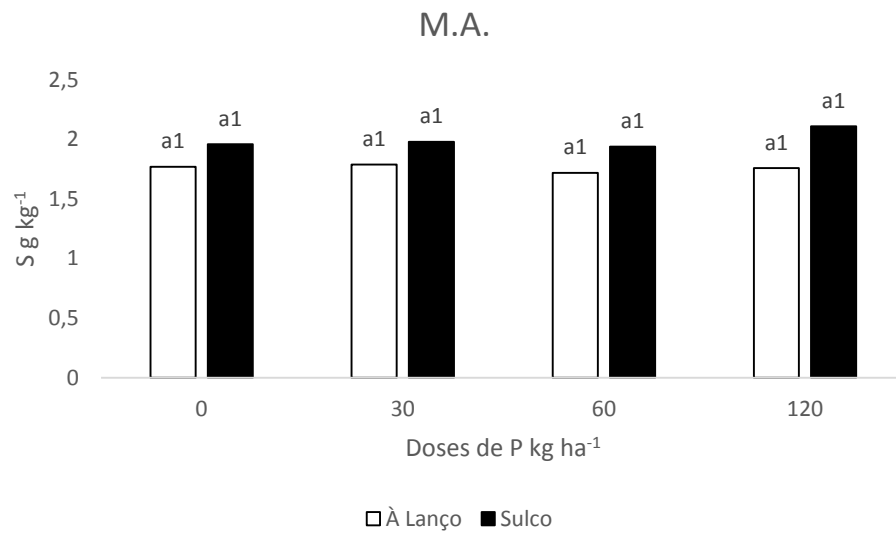
| Soja                |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                     |                     |                     |                     |                     |
|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Doses de P          | N                  | P                  | K                  | Ca                 | Mg                 | S                  | B                   | Cu                  | Fe                  | Mn                  | Zn                  |
| kg ha <sup>-1</sup> | g kg <sup>-1</sup> | g kg <sup>-1</sup> | g kg <sup>-1</sup> | g kg <sup>-1</sup> | g kg <sup>-1</sup> | g kg <sup>-1</sup> | mg kg <sup>-1</sup> | mg kg <sup>-1</sup> | mg kg <sup>-1</sup> | mg kg <sup>-1</sup> | mg kg <sup>-1</sup> |
| 0                   | 39,16              | 2,41               | 21,01              | 8,90               | 3,09               | 1,87               | 49,47               | 8,10                | 134,51              | 163,99              | 42,55               |
| 30                  | 39,75              | 2,77               | 22,15              | 9,04               | 3,14               | 1,85               | 54,28               | 7,89                | 135,96              | 157,38              | 40,64               |
| 60                  | 40,85              | 2,83               | 23,22              | 7,90               | 3,04               | 1,83               | 47,94               | 7,79                | 127,49              | 150,94              | 41,32               |
| 120                 | 39,05              | 3,21               | 23,00              | 8,41               | 3,11               | 1,93               | 47,76               | 8,19                | 149,24              | 157,68              | 41,35               |
| Média               | 39,70              | 2,81               | 22,35              | 8,56               | 3,10               | 1,87               | 49,86               | 7,99                | 136,80              | 157,50              | 41,47               |
| Teste F             |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                     |                     |                     |                     |                     |
| Doses               | ns                 | *                  | ns                 | ns                 | ns                 | ns                 | ns                  | ns                  | ns                  | ns                  | ns                  |
| M.A.                | ns                 | *                  | *                  | *                  | ns                 | *                  | ns                  | ns                  | ns                  | *                   | *                   |
| Doses x M.A.        | ns                 | ns                 | ns                 | ns                 | ns                 | ns                 | *                   | ns                  | ns                  | ns                  | ns                  |
| C.V (%)             | 8,5                | 6,39               | 9,02               | 12,98              | 7,34               | 9,18               | 15,05               | 7,62                | 16,11               | 9,63                | 6,26                |

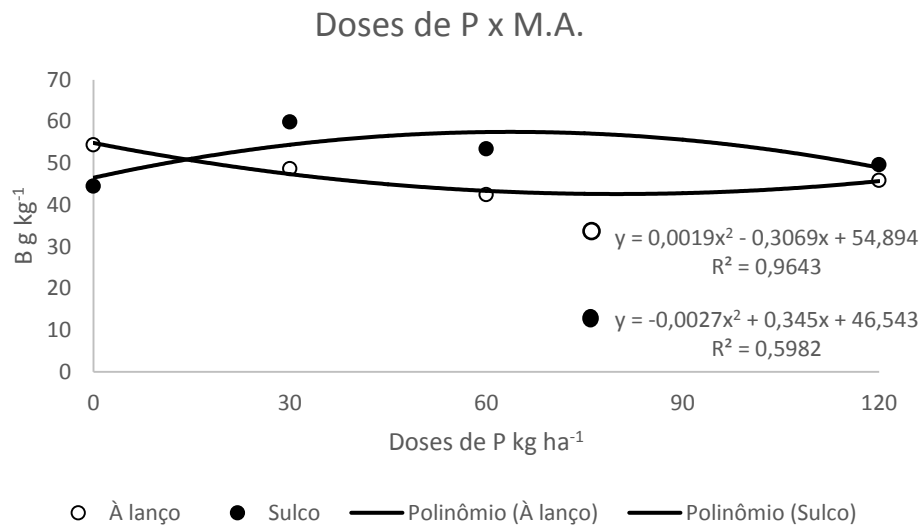
\* e ns: Significativo e não significativo, respectivamente, a 5% de probabilidade pelo teste de regressão.

M.A.: Modos de Aplicação (à lanço e sulco de plantio).









**Figura 4.** Relação das doses de fósforo (P) com a média dos teores foliares da soja, aplicados à lanço e no sulco de plantio. Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de regressão. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

Conforme a tabela 10, o teor de Cu nas folhas de trigo foi significativo estatisticamente, sob a influência das doses de P, isoladamente. A interação do íon fosfato pode interferir na solubilidade dos elementos metálicos, como o Cu, formando precipitados pouco solúveis e diminuindo a concentração do íon em solução (CAMARGO et al., 2001). Borges (2004) verificou que, elevado teor de P, tanto na folha quanto no solo, reduz o teor de Cu na folha, devido a interação antagônica desses nutrientes, o que, no presente trabalho, foi observado.

Já para o M.A., isoladamente, o teor de K foliar foi significativo, porém não houve diferença entre os M.A., todavia, conforme a figura 5, a aplicação à lanço foi a que se evidenciou superior quando comparada à aplicação via sulco de plantio. Conforme Sousa et al. (2004), a distribuição de fertilizantes fosfatados à lanço e incorporados ao solo, proporciona maior volume de solo com boas condições para as plantas absorverem o P, a água e outros nutrientes, e que culturas anuais podem promover um maior desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Orientam ainda que, em solos onde ocorrem teores no limiar do adequado, para este modo de aplicação, deve-se usar doses acima de 100 kg ha<sup>-1</sup>, e para doses abaixo de 100 kg ha<sup>-1</sup> é mais indicado a adubação no sulco de semeadura.

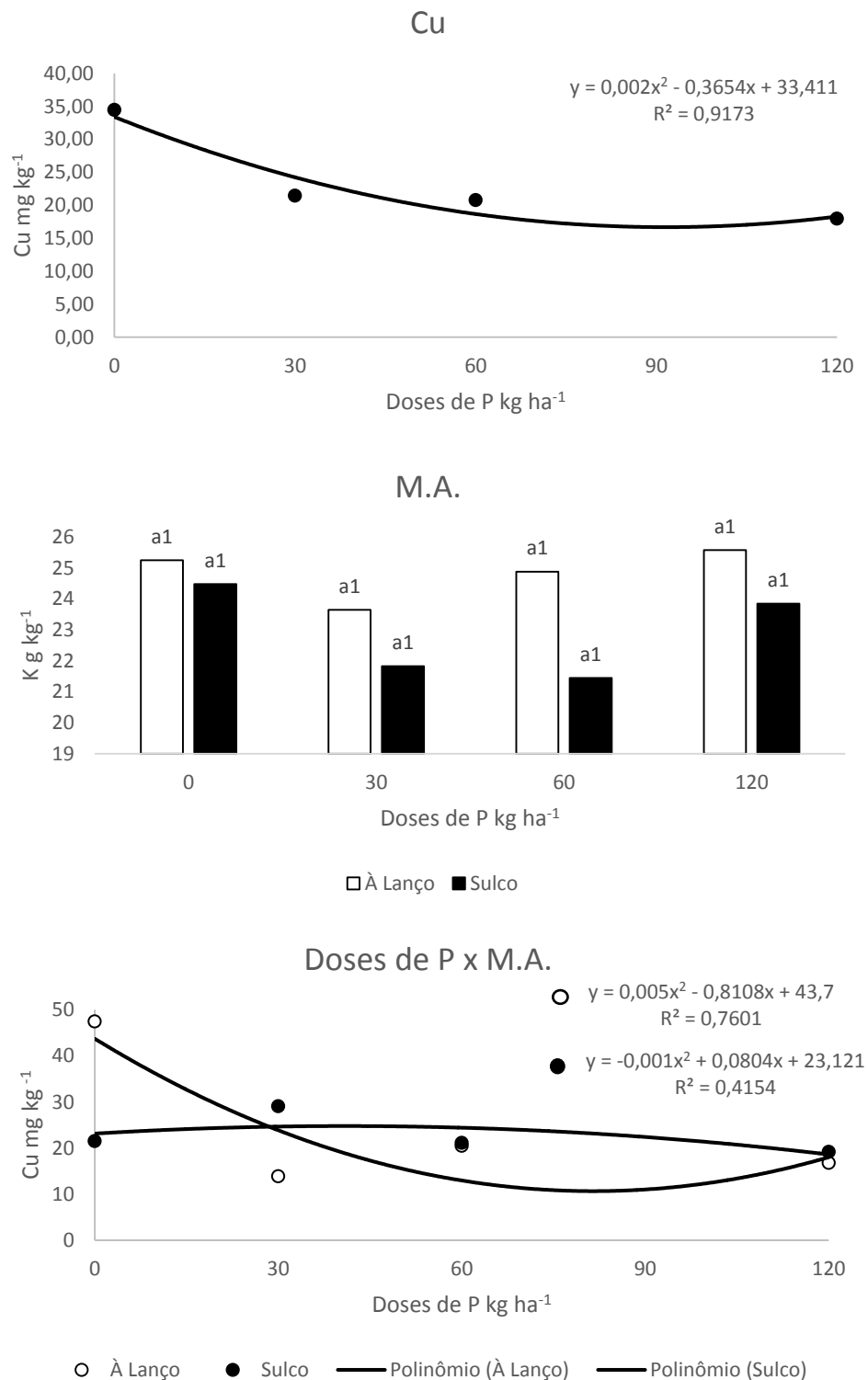
Para as doses *versus* M.A., somente o teor de Cu foi significativo, sendo que, na dose 0 kg ha<sup>-1</sup>, foi superior para o M.A. à lanço. A dose 30 kg ha<sup>-1</sup> foi superior às demais doses no M.A. sulco de plantio. Todavia, as aplicações à lanço e no sulco de plantio não se diferiram estatisticamente na dose 120 kg ha<sup>-1</sup>. Conforme Borges (2004), quando há excesso de P tanto na folha quanto no solo, há uma tendência em reduzir o teor de Cu na folha, devido a interação antagônica desses nutrientes, o que, no presente trabalho, foi observado, mostrando que as dosagens de P aplicadas causaram uma deficiência nos teores de Cu nas folhas.

**Tabela 10.** Médias dos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn, sob doses de P nos dois anos agrícolas de cultivo de trigo.

| Trigo               |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                                  |                                  |                                  |                                  |
|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Doses de P          | N                  | P                  | K                  | Ca                 | Mg                 | S                  | Cu                               | Fe                               | Mn                               | Zn                               |
| kg ha <sup>-1</sup> | g kg <sup>-1</sup> | g kg <sup>-1</sup> | g kg <sup>-1</sup> | g kg <sup>-1</sup> | g kg <sup>-1</sup> | g kg <sup>-1</sup> | mg <sub>1</sub> kg <sup>-1</sup> | mg <sub>1</sub> kg <sup>-1</sup> | mg <sub>1</sub> kg <sup>-1</sup> | mg <sub>1</sub> kg <sup>-1</sup> |
| 0                   | 30,94              | 2,11               | 24,87              | 9,53               | 2,28               | 3,41               | 34,46                            | 232,79                           | 181,54                           | 37,79                            |
| 30                  | 31,04              | 2,29               | 22,74              | 9,69               | 2,20               | 3,46               | 21,45                            | 224,50                           | 178,63                           | 35,55                            |
| 60                  | 31,87              | 2,24               | 23,16              | 8,90               | 2,21               | 3,41               | 20,77                            | 230,48                           | 187,43                           | 36,23                            |
| 120                 | 30,53              | 2,43               | 24,71              | 8,85               | 2,19               | 3,54               | 17,95                            | 222,68                           | 194,58                           | 32,43                            |
| Média               | 31,10              | 2,27               | 23,87              | 9,24               | 2,22               | 3,46               | 23,66                            | 227,61                           | 185,55                           | 35,50                            |
| Teste F             |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                                  |                                  |                                  |                                  |
| Doses               | ns                 | ns                 | ns                 | ns                 | ns                 | ns                 | *                                | ns                               | ns                               | ns                               |
| M.A.                | ns                 | ns                 | *                  | ns                 | ns                 | ns                 | ns                               | ns                               | ns                               | ns                               |
| Doses x             |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                                  |                                  |                                  |                                  |
| M.A.                | ns                 | ns                 | ns                 | ns                 | ns                 | ns                 | *                                | ns                               | ns                               | ns                               |
| C.V (%)             | 16,06              | 10,04              | 10,74              | 20,65              | 10,9               | 11,38              | 20,44                            | 13,59                            | 12,52                            | 18,24                            |

\* e ns: Significativo e não significativo, respectivamente, a 5% de probabilidade pelo teste de regressão.

M.A.: Modos de Aplicação (à lanço e sulco de plantio).



**Figura 5.** Relação das doses de fósforo (P) com a média dos teores de nutrientes foliares do trigo, aplicados à lanço e no sulco de plantio. Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de regressão. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

Os resultados da tabela 11 evidenciam que, os nutrientes significativos estatisticamente, em decorrência das doses de P, isoladamente, nos grãos de soja, foram N, K e Ca, onde houve um maior teor desses nutrientes na dose 120 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 6). O P tem participação essencial no metabolismo do N, visto que interagem de forma sinérgica, em que ambos os nutrientes, em doses adequadas, promovem aumentos na produção vegetal (ARAUJO; MACHADO, 2006). Já quanto ao K e Ca, as doses de P favoreceram o seu aumento, possibilitando, inclusive, o sinergismo entre tais nutrientes, pois são considerados antagônicos entre si em determinados teores.

No caso do M.A., houve efeito significativo para os teores de P, K, Ca e S. Para o nutriente P, o M.A. à lanço se evidenciou com maior teor de P na dose 120 kg ha<sup>-1</sup> de P aplicado, porém, não se diferiu estatisticamente do teor encontrado nas doses 0 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P. Quando aplicado no sulco de plantio, apenas na dose 30 kg ha<sup>-1</sup> se sobressaiu se comparado ao M.A. à lanço, mas não houve diferença estatística entre as doses. Para o nutriente K, o M.A. à lanço foi superior ao M.A. sulco de plantio, em todas as doses aplicadas, exceto na dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> de P. A dose de 30 kg ha<sup>-1</sup> de P aplicado à lanço foi superior à dose 60 kg ha<sup>-1</sup> de P, porém, não se diferiram estatisticamente das doses 0 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de P. Para o nutriente Ca, o M.A. à lanço se mostrou superior ao M.A. sulco de plantio, nas doses 0, 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup>. No sulco de plantio ocorreu diferença estatística entre as doses, sendo que a dose 120 kg ha<sup>-1</sup> foi mais favorável. Para o nutriente S, o M.A. sulco de plantio foi superior ao M.A. à lanço, em todas as doses.

Moterle et al. (2009), estudando o efeito da fertilização fosfatada na emergência das plântulas a campo e na produtividade da cultura da soja, com diferentes formulações de fertilizantes e posições da fertilização no solo, constataram que as maiores produtividades foram alcançadas aplicando-se no sulco, sob teores médio de P no solo, se diferindo dos resultados encontrados no presente estudo.

Já para as doses *versus* M.A., foram significativos os teores de P, Ca e Mg (Figura 6). Para o nutriente P, o maior teor encontrado foi na dose 60 kg ha<sup>-1</sup> de P no M.A. à lanço e na dose 30 kg ha<sup>-1</sup> no M.A. sulco de plantio. Para o nutriente Ca, nas doses 0 e 30 kg ha<sup>-1</sup> de P, foi onde se teve o maior teor no M.A. à lanço. Já na dose 120 kg ha<sup>-1</sup> de P, no M.A. sulco de plantio, foi onde se teve o maior teor, sendo progressivo, no decorrer do aumento das dosagens de adubações

de P. Para o nutriente Mg, no M.A. à lanço, teve um aumento no teor desse nutriente, sendo que o seu pico mais elevado foi na dose 60 kg ha<sup>-1</sup> de P, decaindo na dose 120 kg ha<sup>-1</sup>. Já para o M.A. sulco de plantio, ocorreu um aumento gradativo, conforme se elevavam as doses de P, alcançando o seu maior teor na dose 120 kg ha<sup>-1</sup> de P.

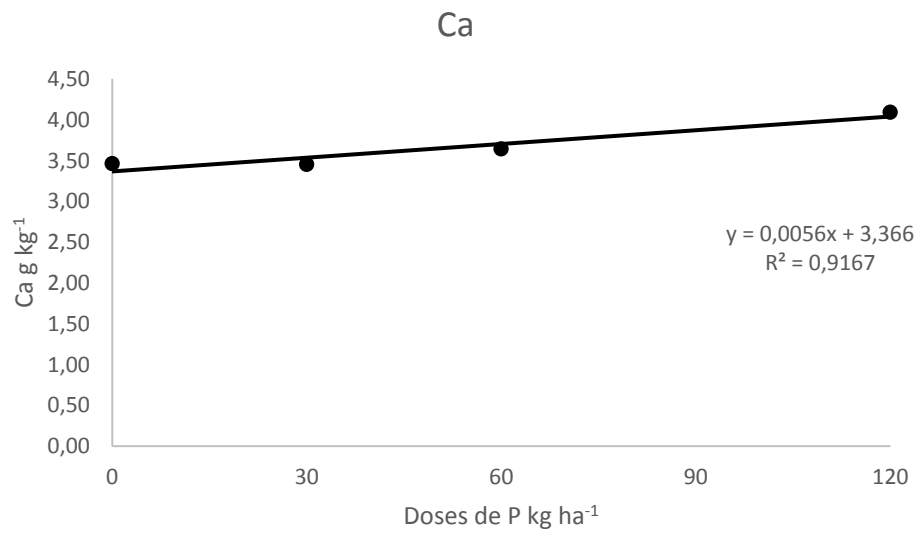
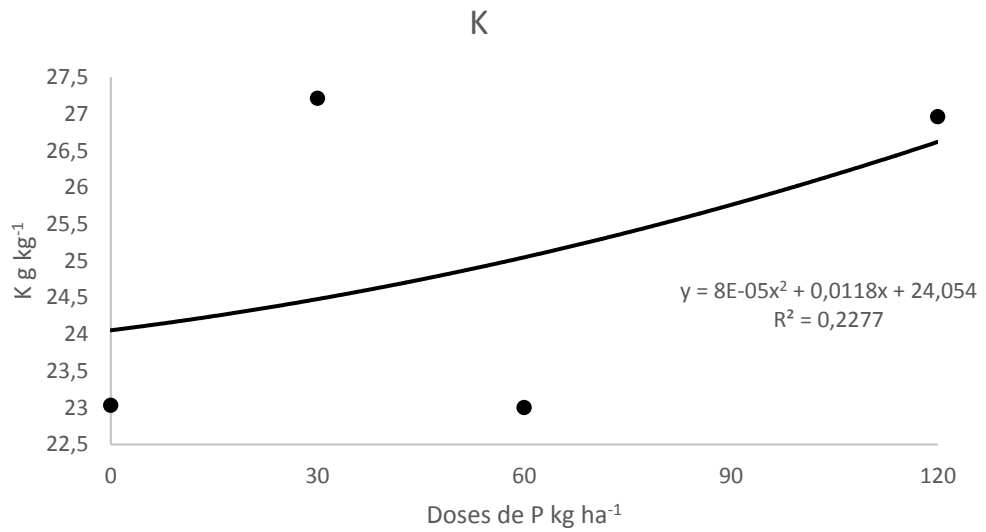
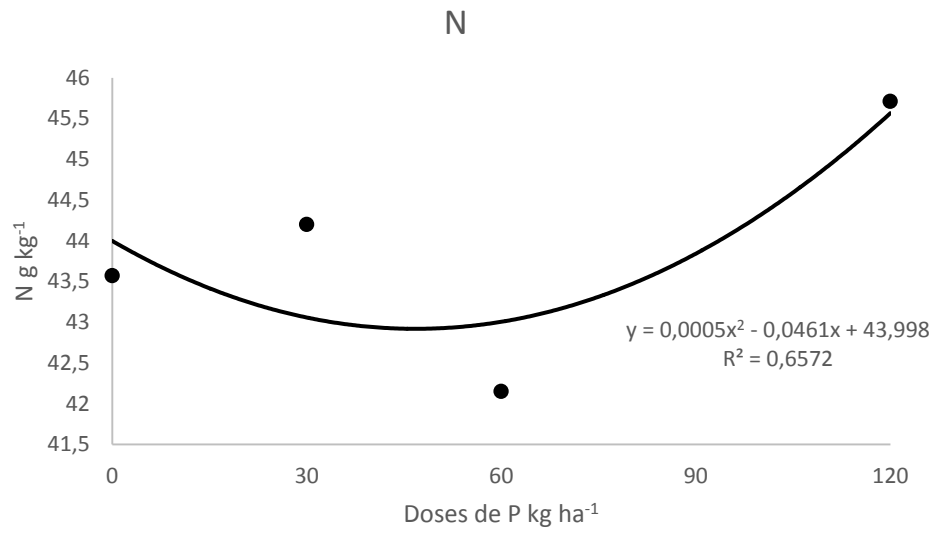
Prado et al. (2001) avaliando os efeitos de modos de aplicação e de doses de fertilizante fosfatado em adubação de manutenção com milho, em um solo teor médio de P, verificaram que os tratamentos com aplicações no sulco foram mais eficientes que à lanço, corroborando com o encontrado para os nutrientes Ca e Mg nos grãos de soja, conforme aumentavam as doses de P.

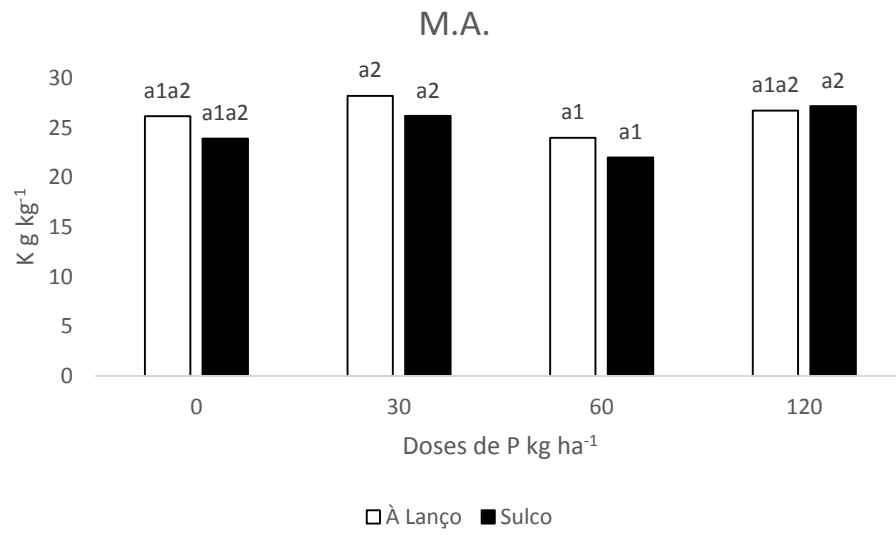
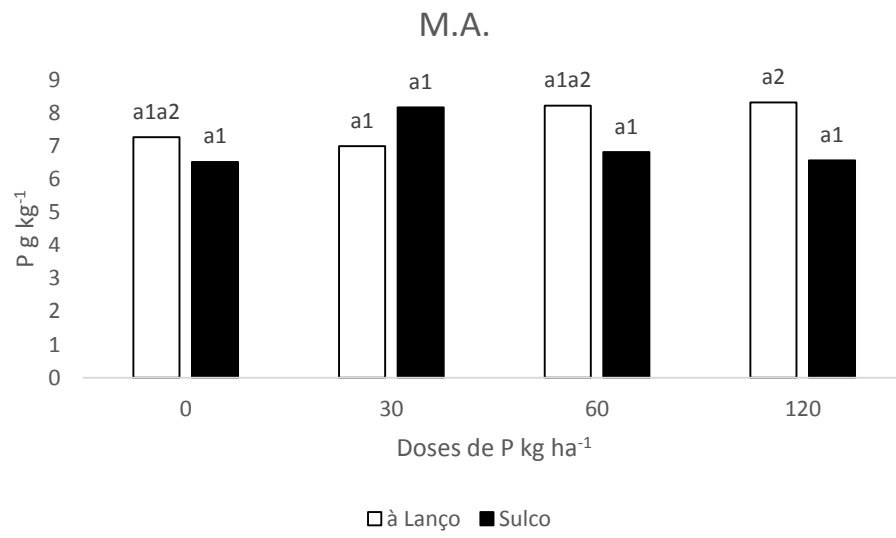
**Tabela 11.** Médias dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn, nos grãos, sob doses de P, nos dois anos agrícolas de cultivo de soja.

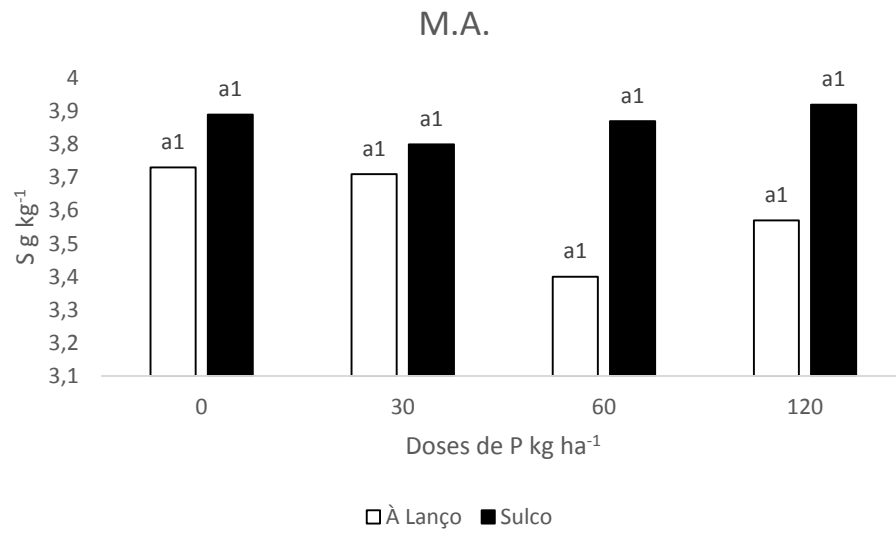
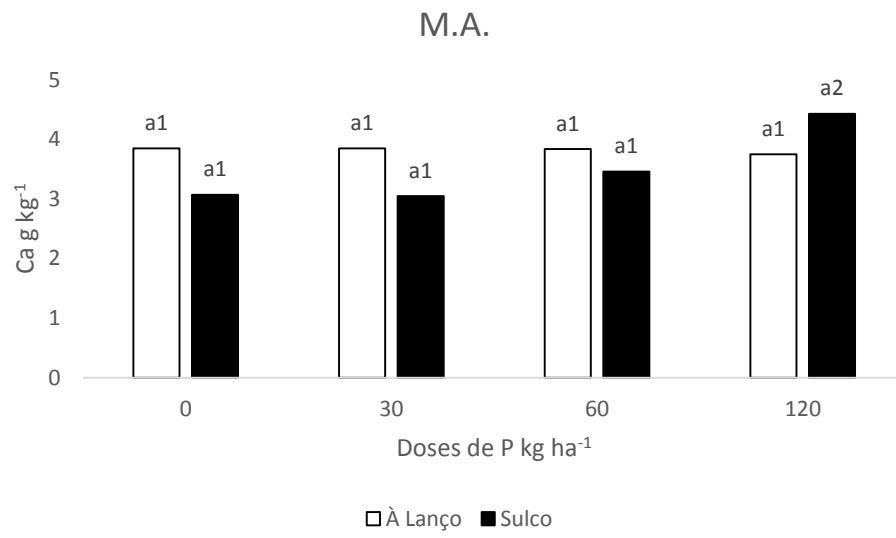
| Soja                |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                     |                     |                     |                     |
|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Doses de P          | N                  | P                  | K                  | Ca                 | Mg                 | S                  | Cu                  | Fe                  | Mn                  | Zn                  |
| kg ha <sup>-1</sup> | g kg <sup>-1</sup> | g kg <sup>-1</sup> | g kg <sup>-1</sup> | g kg <sup>-1</sup> | g kg <sup>-1</sup> | g kg <sup>-1</sup> | mg kg <sup>-1</sup> | mg kg <sup>-1</sup> | mg kg <sup>-1</sup> | mg kg <sup>-1</sup> |
| 0                   | 43,57              | 7,27               | 23,03              | 3,46               | 2,95               | 3,81               | 3,95                | 82,58               | 109,61              | 31,04               |
| 30                  | 44,2               | 7                  | 27,21              | 3,45               | 3,09               | 3,75               | 3,8                 | 96,5                | 106,67              | 31,16               |
| 60                  | 42,15              | 8,22               | 23                 | 3,64               | 3,15               | 3,63               | 3,41                | 91,69               | 104,75              | 31,36               |
| 120                 | 45,71              | 8,32               | 26,96              | 4,09               | 3,17               | 3,74               | 3,67                | 99,28               | 101,65              | 32,32               |
| Média               | 43,91              | 7,70               | 25,05              | 3,66               | 3,09               | 3,73               | 3,71                | 92,51               | 105,67              | 31,47               |
| Teste F             |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                     |                     |                     |                     |
| Doses               | *                  | ns                 | *                  | *                  | ns                 | ns                 | ns                  | ns                  | ns                  | ns                  |
| M.A.                | ns                 | *                  | *                  | *                  | ns                 | *                  | ns                  | ns                  | ns                  | ns                  |
| Doses x M.A.        |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                     |                     |                     |                     |
| M.A.                | ns                 | *                  | ns                 | *                  | *                  | ns                 | ns                  | ns                  | ns                  | ns                  |
| C.V (%)             | 5,59               | 9,17               | 6,78               | 11,59              | 6,5                | 9,77               | 19,64               | 20,77               | 11,86               | 7,75                |

\* e ns: Significativo e não significativo, respectivamente, a 5% de probabilidade pelo teste de regressão.

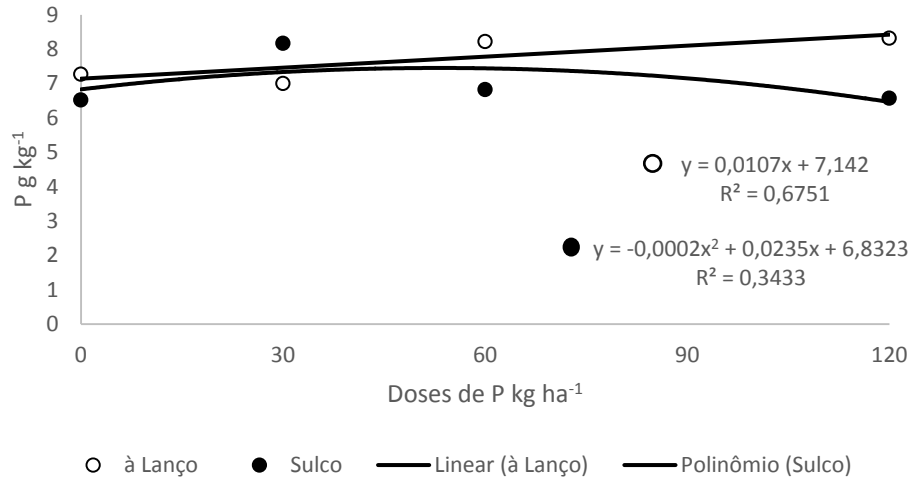
M.A.: Modos de Aplicação (à lanço e sulco de plantio).



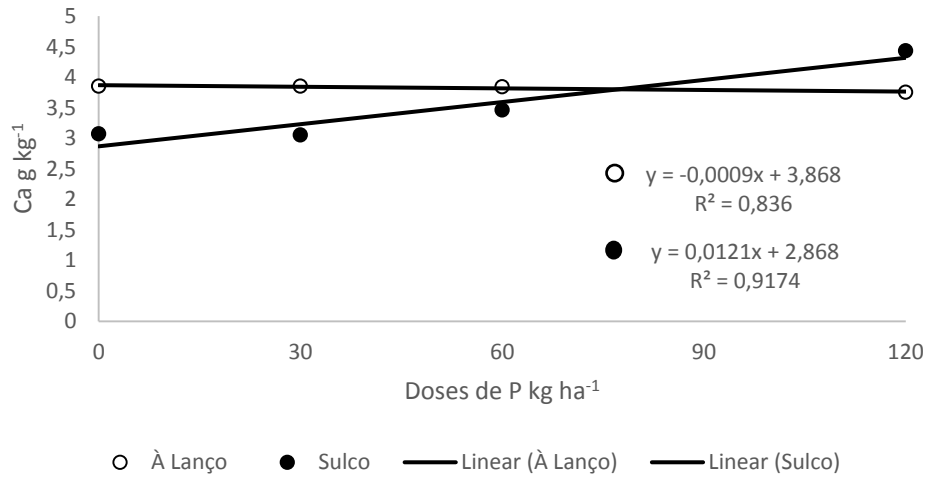


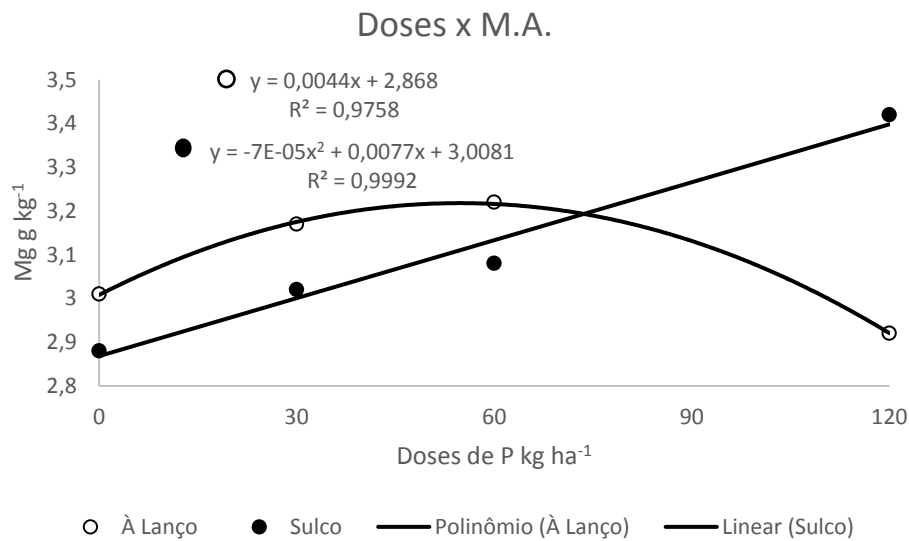


Doses x M.A.



Doses x M.A.





**Figura 6.** Relação das doses de fósforo (P) com a média dos teores de nutrientes nos grãos da soja, aplicados à lanço e no sulco de plantio. Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de regressão. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

Na Tabela 12, observa-se que as doses de P, isoladamente, foram significativas nos teores nos grãos de trigo para os nutrientes N, Fe e Zn, que tiveram o maior teor na dose 60 kg ha<sup>-1</sup> de P e, já o Cu, teve seu maior teor na dose 120 kg ha<sup>-1</sup> de P.

Em relação ao M.A., isoladamente, o mais favorável à concentração do nutriente N foi o sulco de plantio, tendo destaque para a dose 60 kg ha<sup>-1</sup> de P, onde teve seu maior teor. Para o Ca, o M.A. à lanço gerou maior teor desse nutriente, nos grãos de trigo, não havendo diferença significativa entre as doses. No M.A. sulco de plantio, embora tenha se evidenciado como inferior, se comparado com à lanço, houve diferença significativa entre as doses, sendo a dose 30 kg ha<sup>-1</sup> superior, não se diferenciando das doses 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup>. Para o Cu, o M.A. que culminou em maior concentração desse nutriente, foi à lanço, sendo na dose 120 kg ha<sup>-1</sup> o maior teor de Cu. Para o M.A. sulco de plantio, a dose 60 kg ha<sup>-1</sup> de P se mostrou superior, porém não se diferiu estatisticamente de nenhuma das demais doses. No caso do Fe, o M.A. à lanço na dose 60 kg ha<sup>-1</sup> foi a que teve o maior acúmulo desse nutriente, porém, não se diferiu da dose 120 kg ha<sup>-1</sup>. No M.A. sulco de plantio não ocorreu diferença significativa entre as doses. Para o Zn, o M.A. à lanço, dose 60 kg ha<sup>-1</sup> de P, foi onde teve a maior concentração desse nutriente.

Para o M.A. sulco de plantio, não houve diferença estatística entre as doses. O M.A. à lanço se mostrou mais eficiente para todos os nutrientes que tiveram significância estatística, exceto para o N, onde o M.A. sulco de plantio foi mais favorável.

O modo de aplicação pode alterar a velocidade e a capacidade do fertilizante em reagir no solo, como consequente solubilização e disponibilização do P na solução do solo, determinando o grau de eficiência da adubação fosfatada (BREVILIERI, 2012).

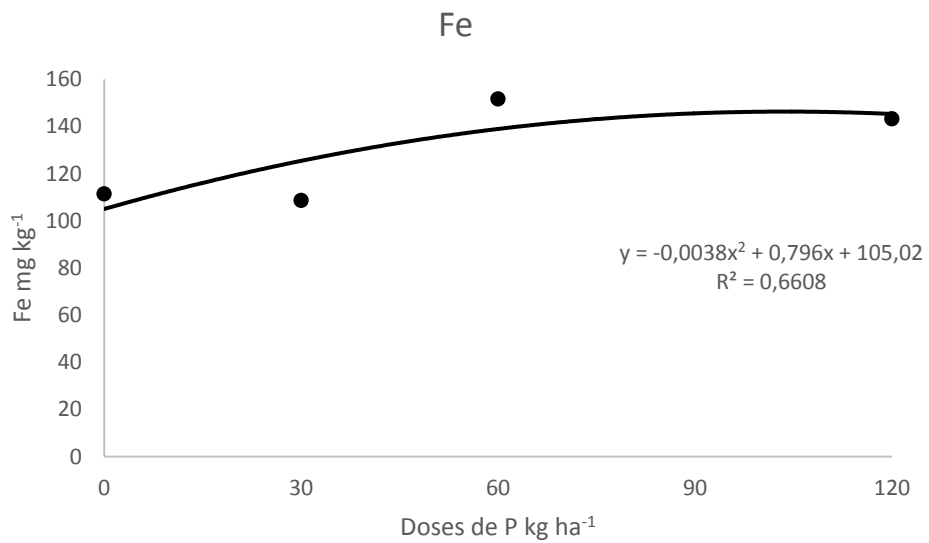
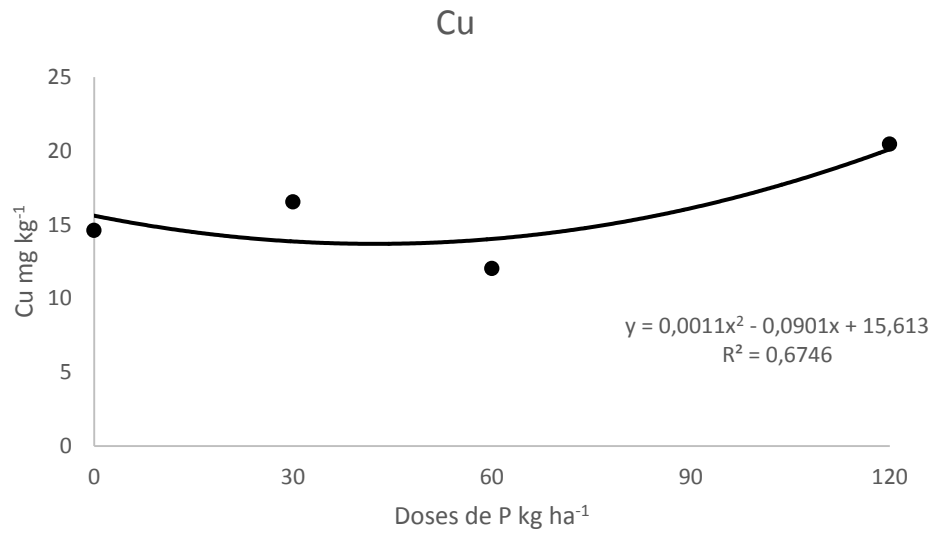
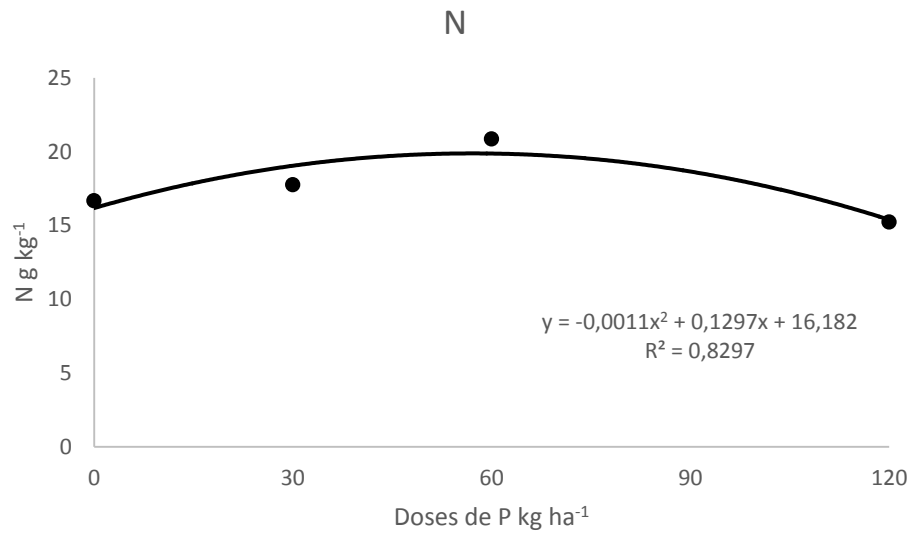
Para as doses de P *versus* M.A., o nutriente N se mostrou com maior teor no M.A. sulco de plantio, na dose 60 kg ha<sup>-1</sup> de P, porém não havendo diferença estatística na dose 120 kg ha<sup>-1</sup> para os dois M.A. Para o nutriente Ca, o M.A. à lanço se mostrou superior ao M.A. sulco de plantio, em todas as doses, exceto na dose 30 kg ha<sup>-1</sup> de P, onde não houve diferenciação. Para o nutriente Cu, o M.A. que gerou maior teor, foi à lanço, tendo um aumento progressivo, conforme se elevavam as doses de P. Para o nutriente Zn, o M.A. à lanço foi superior ao M.A. sulco de plantio, em todas as doses de P, tendo seu maior pico na dose 60 kg ha<sup>-1</sup> de P, porém, decaindo na dose 120 kg ha<sup>-1</sup> de P, ocasionando para o M.A. sulco de plantio, ser diferente estatisticamente e superior ao M.A. à lanço, neste momento.

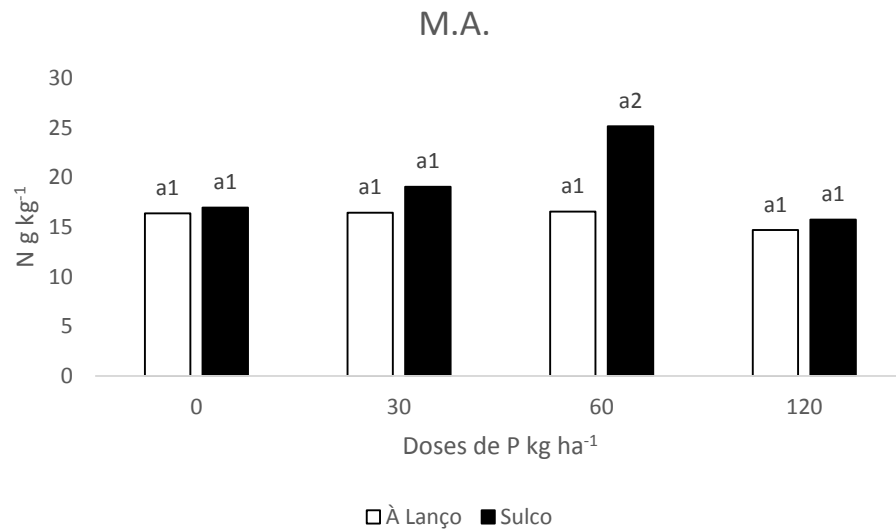
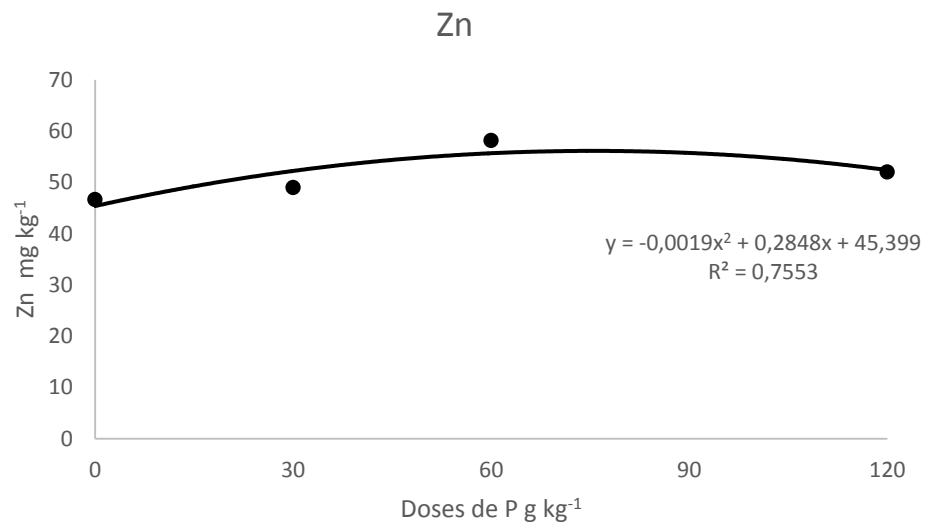
**Tabela 12.** Médias dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, nos grãos, sob doses de P, nos dois anos agrícolas de cultivo de trigo.

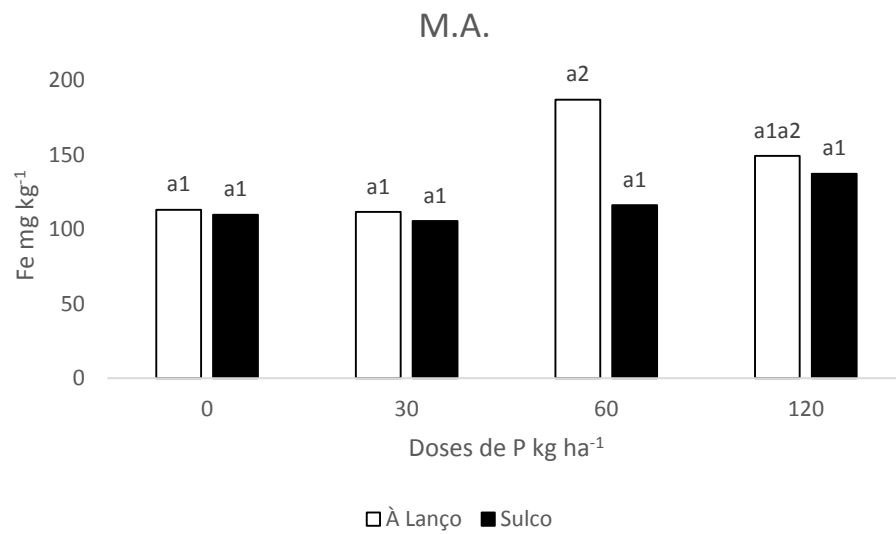
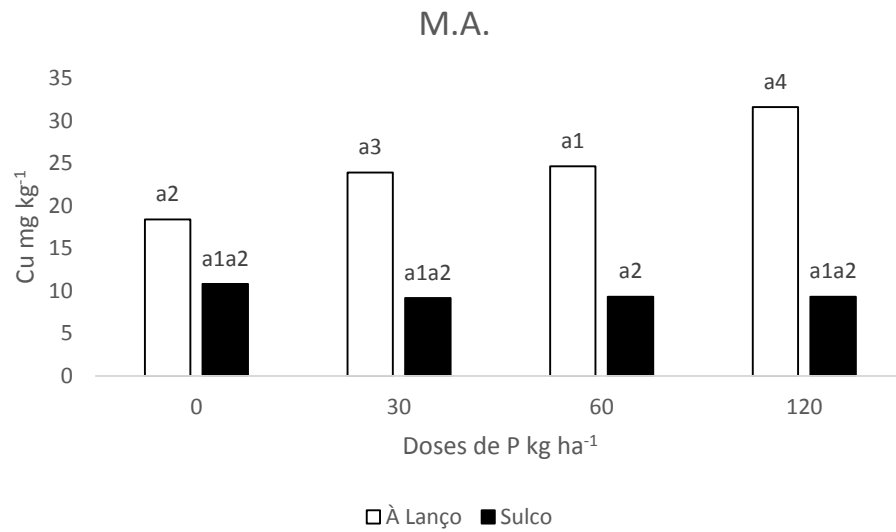
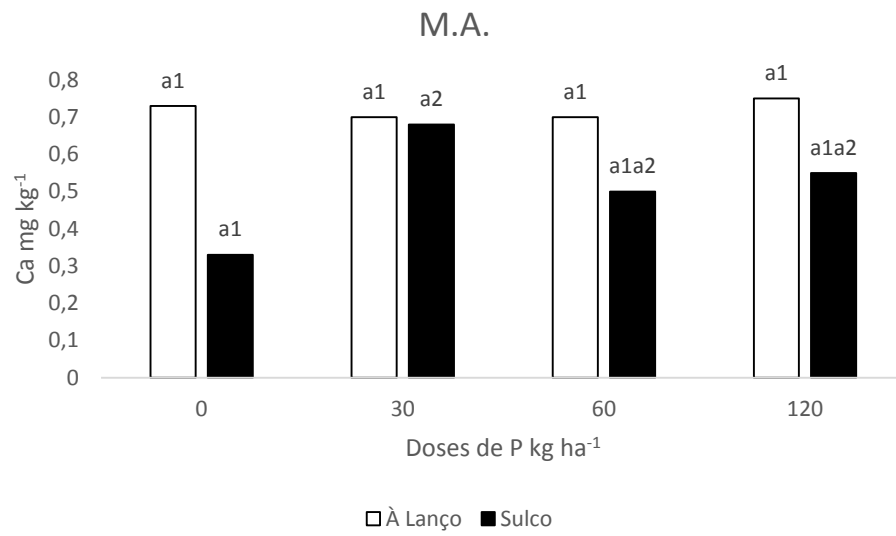
| Trigo               |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                                  |                                  |                                  |                                  |
|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Doses de P          | N                  | P                  | K                  | Ca                 | Mg                 | S                  | Cu                               | Fe                               | Mn                               | Zn                               |
| kg ha <sup>-1</sup> | g kg <sup>-1</sup> | g kg <sup>-1</sup> | g kg <sup>-1</sup> | g kg <sup>-1</sup> | g kg <sup>-1</sup> | g kg <sup>-1</sup> | mg <sub>1</sub> kg <sup>-1</sup> | mg <sub>1</sub> kg <sup>-1</sup> | mg <sub>1</sub> kg <sup>-1</sup> | mg <sub>1</sub> kg <sup>-1</sup> |
| 0                   | 16,67              | 3,15               | 3,63               | 0,53               | 1,25               | 1,63               | 14,61                            | 111,35                           | 79,68                            | 46,62                            |
| 30                  | 17,75              | 3,33               | 3,58               | 0,69               | 1,25               | 1,63               | 16,54                            | 108,58                           | 73,39                            | 48,99                            |
| 60                  | 20,85              | 3,13               | 3,66               | 0,6                | 1,23               | 1,66               | 12,03                            | 151,63                           | 76,74                            | 58,14                            |
| 120                 | 15,23              | 3,4                | 3,23               | 0,65               | 1,23               | 1,63               | 20,45                            | 143,21                           | 83,85                            | 52,01                            |
| Média               | 17,63              | 3,25               | 3,53               | 0,62               | 1,24               | 1,64               | 15,91                            | 128,69                           | 78,42                            | 51,44                            |
| Teste F             |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                                  |                                  |                                  |                                  |
| Doses               | *                  | ns                 | ns                 | ns                 | ns                 | ns                 | *                                | *                                | ns                               | *                                |
| M.A.                | *                  | ns                 | ns                 | *                  | ns                 | ns                 | *                                | *                                | ns                               | *                                |
| Doses               |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                                  |                                  |                                  |                                  |
| x M.A.              | *                  | ns                 | ns                 | *                  | ns                 | ns                 | *                                | ns                               | ns                               | *                                |
| C.V (%)             | 11,66              | 11,62              | 19,95              | 20,51              | 11,95              | 10,13              | 8,07                             | 22,27                            | 10,65                            | 10,02                            |

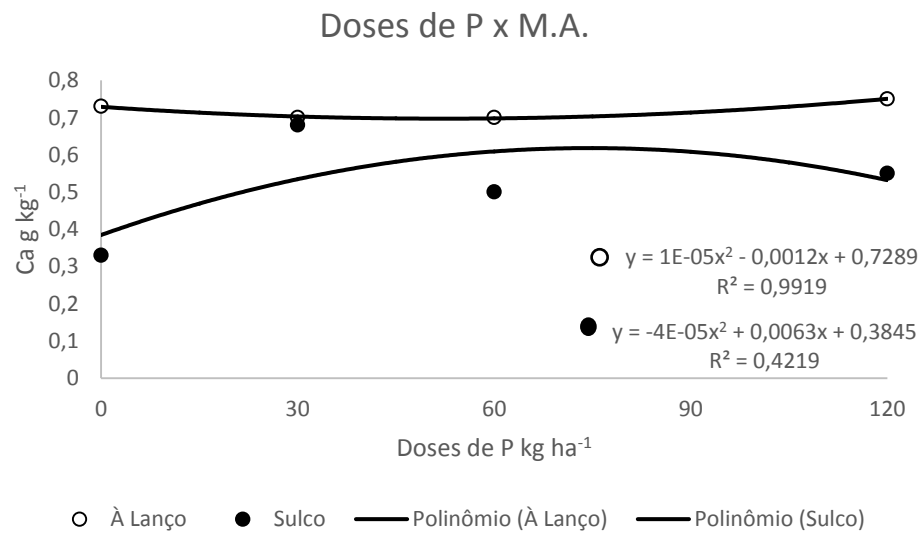
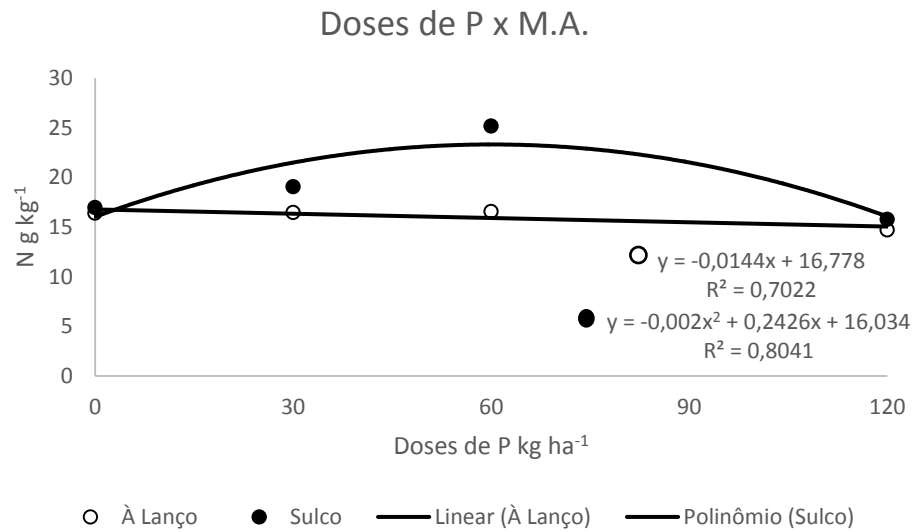
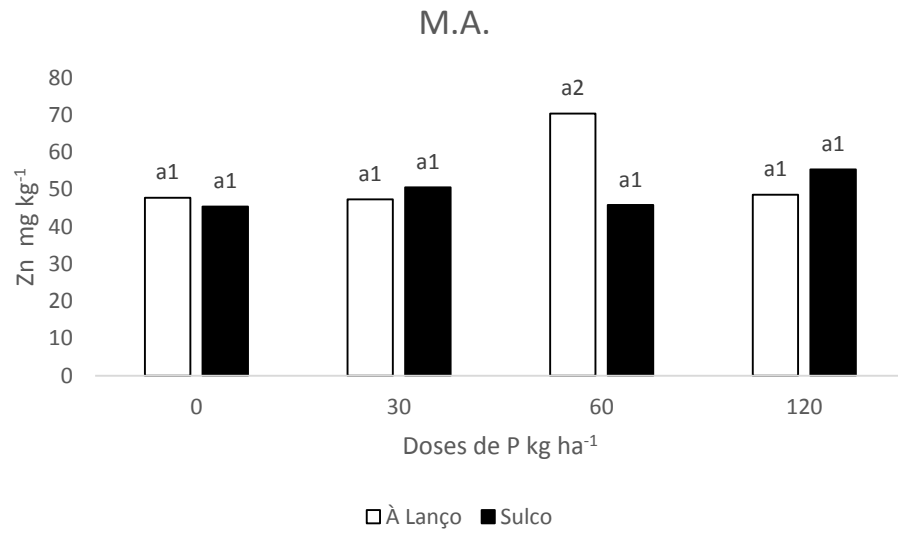
\* e ns: Significativo e não significativo, respectivamente, a 5% de probabilidade pelo teste de regressão.

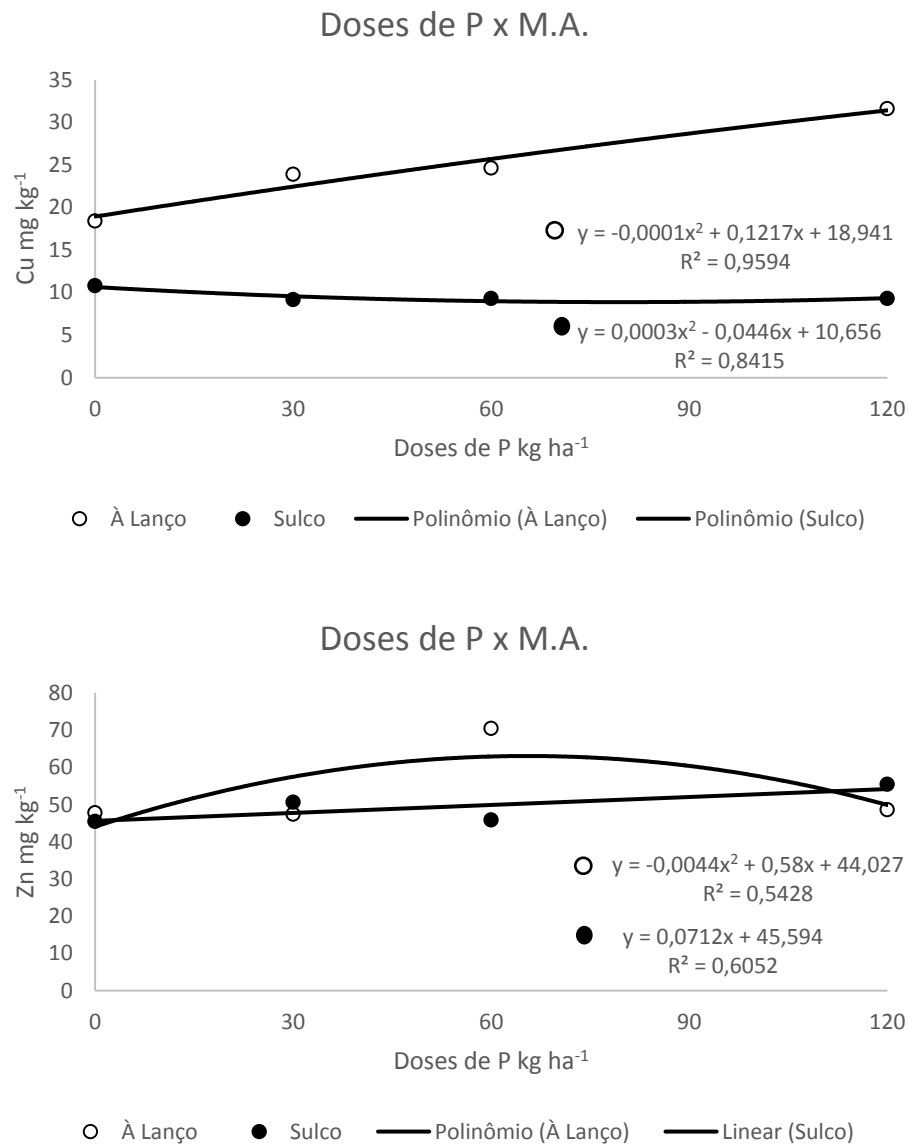
M.A.: Modos de Aplicação (à lanço e sulco de plantio).











**Figura 7.** Relação das doses de fósforo (P) com a média dos teores de nutrientes nos grãos do trigo, aplicados à lanço e no sulco de plantio. Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de regressão. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

Na tabela 13, embora ocorra diferença significativa para as doses de P aplicadas, em relação ao teor de P encontrado no solo, após a colheita, para a soja e trigo, é possível verificar que não houve diferença estatística quanto ao M.A. (à lanço e sulco de plantio), mostrando que, quanto maior a dose de P aplicada, maior o residual de P no solo.

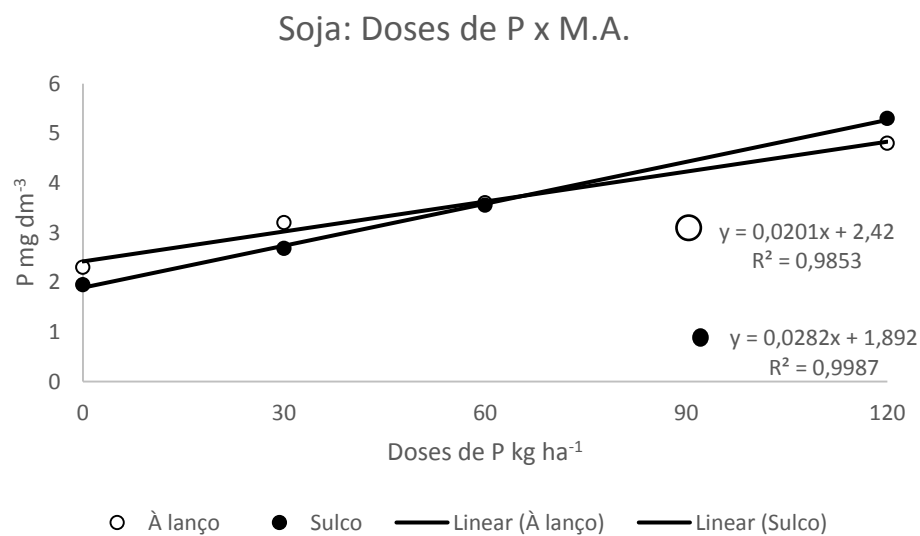
**Tabela 13.** Médias da relação das doses de fósforo (P), aplicadas à lanço e no sulco de plantio, com os teores de P disponível no solo, extrator Mehlich, de soja e trigo, analisados nos dois anos agrícolas de cultivo.

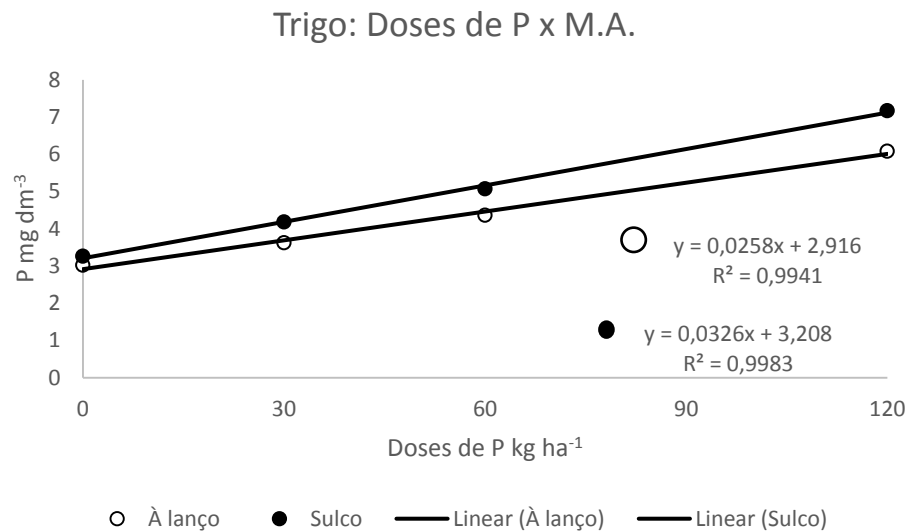
| Soja                              |                          |                  |
|-----------------------------------|--------------------------|------------------|
| Doses de P<br>kg ha <sup>-1</sup> | P<br>mg dm <sup>-3</sup> |                  |
|                                   | À Lanço                  | Sulco de Plantio |
| 0                                 | 2,3                      | 1,95             |
| 30                                | 3,2                      | 2,68             |
| 60                                | 3,6                      | 3,55             |
| 120                               | 4,8                      | 5,3              |
| C.V (%)                           | 8,22                     | 9,02             |
| p>F                               | *                        | *                |

| Trigo                             |                          |                  |
|-----------------------------------|--------------------------|------------------|
| Doses de P<br>kg ha <sup>-1</sup> | P<br>mg dm <sup>-3</sup> |                  |
|                                   | À Lanço                  | Sulco de Plantio |
| 0                                 | 3,02                     | 3,26             |
| 30                                | 3,62                     | 4,18             |
| 60                                | 4,36                     | 5,07             |
| 120                               | 6,08                     | 7,17             |
| C.V (%)                           | 11,51                    | 7,99             |
| p>F                               | *                        | *                |

\* e ns: Significativo e não significativo, respectivamente, a 5% de probabilidade (p>F) pelo teste de regressão.





**Figura 8.** Média da relação das doses de fósforo (P), aplicadas à lanço e no sulco de plantio, com os teores de P disponível no solo, extrator Mehlich, de soja e trigo, analisados nos dois anos agrícolas de cultivo. Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de regressão.

## 5 CONCLUSÃO

As doses de P aplicadas e os modos de aplicação testados (à lanço e sulco de plantio) influenciaram nos teores nutricionais foliares, teores nutricionais de grãos e nos componentes de produção da soja e do trigo. Para os atributos químicos do solo, houve influência significativa apenas para a safra de soja.

Aplicação de P a lanço ou no sulco de plantio foram eficientes e viáveis para a soja e trigo em solo com níveis adequados de P, sendo que, na maior dose aplicada (120 kg ha<sup>-1</sup>) houve maior incremento dos nutrientes analisados, bem como na produtividade das culturas.

Para um teor de argila de 710 g kg<sup>-1</sup> (71%) no solo em questão, a cultura da soja apresentou um teor adequado de P disponível no solo, na dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> de P aplicado, nos dois modos de aplicação. Para o trigo, no M.A. à lanço, as doses 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup> aplicadas de P se mostraram adequadas e no sulco de plantio, as doses 30, 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup> proporcionaram um teor de P no solo considerado ideal. Para o teor de argila superior a 60%, o valor adequado de P disponível no solo varia de 4,1 a 6,0 mg dm<sup>-3</sup>, o que foi encontrado no presente estudo, nas doses supracitadas.

## REFERÊNCIAS

ABITRIGO, 2015. **Boletins do Trigo**.

**ADUBOS UNIFERTIL**, 2017. Disponível em: <http://adubosunifertil.com.br/trigo/>. Acesso em: 11 set. 2017.

AGRIC, 2010. **O cultivo da soja**. Disponível em: [http://www.agric.com.br/producoes/cultivo\\_da\\_soja.html](http://www.agric.com.br/producoes/cultivo_da_soja.html). Acesso em: 10 set. 2017.

ALAMBERT, M. R. **Estimação estocástica de parâmetros produtivos da soja: uso do modelo PPDSO em um estudo de caso em Piracicaba/SP**. Mestrado (dissertação em agroenergia). Escola de Economia de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas. 2010.

ALVAREZ VENEGAS, V.H.; RIBEIRO, A.C. Calagem. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.; ALVAREZ VENEGAS, V.H. (Eds.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: CFSEMG, 1999. p.43-60.

ARAÚJO, 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. p.253-280.

ARAÚJO, W. F.; SAMPAIO, R. A.; MEDEIROS, R. D. Resposta de cultivares de soja à adubação fosfatada. **Revista Ciência Agronômica**. v. 36, n. 2, p. 129-134, 2005.

ARDUINI, I.; MASONI, A.; ERCOLI, L.; MARIOTTI, M. Grain yield, and dry matter and nitrogen accumulation and remobilization in durum wheat as affected by variety and seeding rate. **European Journal Agronomy**, v. 25, p. 309–318, 2006.

BERGAMIN, A. C.; SCHLINDWEIN, J. Á.; VENTUROSOS, L. R.; VALADÃO, J. D. D.; CARON, B. O.; SCHMIDT, D. Resposta de duas cultivares de soja à adubação a lanço e em sulco, no município de Rolim de Moura/RO. **Revista de Ciências Agrárias**. 52: 155-166, 2008.

BORGES, A. L. Interação entre Nutrientes em Bananeira. EMBRAPA Mandioca e Fruticultura. **Banana em Foco**, N° 55. Dez. 2004. Disponível em: <[http://www.cnpmf.embrapa.br/publicacoes/produto\\_em\\_foco/banana\\_55.pdf](http://www.cnpmf.embrapa.br/publicacoes/produto_em_foco/banana_55.pdf)>.

Acesso em: 02 de dezembro de 2018.

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

CÂMARA, G.M.S.; SEDIYAMA, T.; DOURADO NETO, D.; BERNARDES, M.S. Influence of photoperiod and air temperature on the growth, flowering, and maturation of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). **Scientia Agricola**, v.54 (número especial): p.149-154, 1997.

CÂMARA, G.M.S. Fenologia da soja. In: CÂMARA, G.M.S. (Ed.). **Soja: tecnologia da produção**. Piracicaba: Editora Publique, 1998. p.26-39.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F.; CASAGRANDE, J. C. Reações dos micronutrientes e elementos tóxicos no solo. In: FERREIRA, M. E., ed. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal, CNPQ: FAPESP: POTAFOS, 2001. 599p.

CASTRO, L. R.; REIS, T. C.; FERNANDES JÚNIOR, O.; ALMEIDA, R. B. S.; ALVES, D. S. Doses e formas de aplicação de fósforo na cultura do milho. **Revista Agrarian**. v.9, n.31, p.47 - 54, 2016.

CAVALLI, C.; LANGE, A.; CAVALLI E.; SANTOS, P. H.; BALEN, A. B.; WRUCK, F. J. Doses de fósforo em superfície na cultura da soja em solo com fertilidade em construção. XXXV **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. Natal – RN. 2015.

CERETTA, C. A.; FRIES, M. R. Adubação nitrogenada no sistema de plantio direto. In: NUERNBERG, N. J. **Plantio direto: conceitos, fundamentos e práticas culturais**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, 1997. Cap.7, p. 111-120.

**CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO**, 2018. Acompanhamento de safra brasileira, v.5, n.10, safra 2017/2018.

**CONAB**, 2017a. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17\\_05\\_03\\_16\\_09\\_46\\_a\\_cultura\\_do\\_trigo-versao\\_digital\\_nova\\_logo.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_05_03_16_09_46_a_cultura_do_trigo-versao_digital_nova_logo.pdf). Acesso em: 11 set. 2017.

**CONAB**, 2017b. Disponível em: [https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset\\_trigo.pdf](https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset_trigo.pdf). Acesso em: 10 set. 2017.

DOMINGOS, C. S.; LIMA, L. H. S.; BRACCINI, A. L. Nutrição mineral e ferramentas para o manejo da adubação na cultura da soja. **Scientia Agraria Paranaensis**. Marechal Cândido Rondon, v. 14, n. 3, p. 132-140, 2015.

EICHELBERGER, L. Produção de sementes de soja na Embrapa trigo em 2009/10. In: COSTAMILAN, L. M.; BERTAGNOLLI, P. F. (Org.). **Soja: resultados de pesquisa 2009/2010**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2010. p. 69-77. (Embrapa Trigo. Documentos, 102). 2011.

**EMBRAPA**, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em: 30 mar. 2018.

**EMBRAPA**, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1>. Acesso em: 11 set. 2017.

**EMBRAPA TRIGO**, 2014. Disponível em: [https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p\\_p\\_id=conteudoportlet\\_WAR\\_sistema\\_sdeproducao1f6\\_1ga1ceportlet&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-2&p\\_p\\_col\\_count=1&p\\_r\\_p\\_-76293187\\_sistemaProducaoId=3704&p\\_r\\_p\\_-996514994\\_topicId=3044](https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistema_sdeproducao1f6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=3704&p_r_p_-996514994_topicId=3044). Acesso em: 11 set. 2017.

EMBRAPA-Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil 1998/99**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1998. 182p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1997. **Manual of methods of soil analysis**. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ. Brazil.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa da Soja. **Recomendações técnicas para a cultura da soja no Paraná. 1993/94**. Londrina: OCEPAR/EMBRAPA-CNPSO, 1993. 128p. (EMBRAPA-CNPSO. Documentos, 62).

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2 ed. Tradução: Maria E. T. Nunes. Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.

**FARTRIGO**, 2010. Disponível em: <http://www.fartrigo.com.br/fartrigo/trigo/trigo-e-seus-aspectos>. Acesso em: 10 set. 2017.

FERREIRA, D.F. **SISVAR** - Sistema de análise de variância. Versão 5.3. Lavras-MG: UFLA, 2010.

FIDELIS, R. R.; ROCHA, R. N. C.; LEITE, U. T.; TANCREDI, F. D. Alguns aspectos do plantio direto para a cultura da soja. **Bioscience J.**, Uberlândia, v.9, n.1, p.23-31, 2003.

FLANDRIN, J. L.; MONTANARI, M. (Dir.). **História da alimentação**. São Paulo: Estação Liberdade, 1998.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames, Yowa: Yowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service, 1977. 11 p. (Special Report, n. 80).

FEHR, W.R., C.E. CAVINESS, D.T. BURMOOD, AND J.S. PENNINGTON, J.S. 1971. Stage of development description for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. **Crop Sci.** 11:929–931.

FMT - FUNDAÇÃO MATO GROSSO. **Boletim de pesquisa de soja 2001**. Rondonópolis, 2001.144 p.

FREIBERGER, M. B.; GUERRINI, I. A.; CASTOLDI, G.; PIVETTA, L. G. Adubação fosfatada no crescimento inicial e na nutrição de mudas de pinhão-manso. **R. Bras. Ci. Solo**, 38:232-239, 2014.

GUARESCHI, R. F. et al. Adubação fosfatada e potássica na semeadura e a lanço antecipada na cultura da soja cultivada em solo de Cerrado. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 04, p. 769-774, 2008.

GRANDO, L. F. T.; PAVINATO, P. S.; LUDWIG, R. L. 1999. **Nutrir na medida**. Disponível em: <http://www.grupocultivar.com.br/artigos/nutrir-na-medida>. Acesso em: 10 set. 2017.

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

GRANT, C. A.; FLATEM, D. N.; TOMASIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C. The importance of early season phosphorus nutrition. **Canadian Journal of Plant Science**, v.81, n.2, p.211-224, 2001.

GWIRTZ, J. A.; WILLYARD, M. R.; MCFALL, K. L. W. Wheat: more than just a plant. In: MÜHLENCHÉMIE. **Future of flour: a compendium of flour improvement**. 2014.

HANSEL, F. D. **Fertilizantes fosfatados aplicados à lanço e em linha na cultura da soja sob semeadura direta**. Dissertação (mestrado em ciência do solo). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS. 2013. 74p.

HARTMANN FILHO, C. P. **Efeito imediato e latente da temperatura do ar de secagem sobre a qualidade fisiológica e tecnológica de sementes de soja produzidas na segunda safra**. Dissertação (mestrado em produção vegetal), Universidade Federal da Grande Dourados, 2015. 96f.

HOLEN, D.L.; BRUCKNER, P.L.; MARTIN, J.M.; CARLSON, G.R.; WICHMAN, D.M.; BERG, J.E. Response of winter wheat to simulated stand reduction. **Agronomy Journal**, v. 93, p. 364-370, 2001.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, E. C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. Embrapa soja. Circular técnica/ Embrapa Cerrados. 2001. 48p.

HYMOWITZ, T. On the domestication of the Soybean. **Economic Botany**, New York, v.24, n.4, p.408-421, 1970.

IAPAR – Instituto Agrônomo do Paraná. **Agrometeorologia**. 2019. Disponível em: <http://www.iapar.br/pagina-1828.html>. Acesso em: 03 de fevereiro de 2019.

IBGE, 2016. **Indicadores IBGE**. Disponível em: [ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao\\_Agricola/Levantamento\\_Sistematico\\_da\\_Producao\\_Agricola\\_\[mensal\]/Fasciculo/2016/lspa\\_201612\\_20170222\\_133000.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo/2016/lspa_201612_20170222_133000.pdf). Acesso em: 10 de setembro de 2017.

ITTT. 2011. **Informações técnicas para trigo e triticale**. Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, Brazil.

JAEKEL, L. Z. **Influência da adição de diferentes fontes de fibras (farinha de trigo de grão inteiro e amido resistente) e de transglutaminase nas características tecnológicas, estruturais e sensoriais de massas alimentícias.** 2013. 193 f. Tese (doutorado em tecnologia de alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

LEON, A. E.; ROSELL, C. M. **De tales harinas, tales panes: granos, harinas e productos de panificación en Iberoamerica.** Córdoba: Hugo Baez, 2007. 480 p.

LUZ, C. S. C.; MAINIER, F. F.; MONTEIRO, L. P. C. Comparação de oleaginosas para a produção de biodiesel. **Engevista**, v. 17, n. 2, p. 232-239, 2015.

MALAVOLTA, E., G.C. VITTI, AND S.A. OLIVEIRA. 1997. **Evaluation of nutritional status of plants; principles and applications.** Potafos, Piracicaba, SP, Brazil.

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação da soja.** Piracicaba: ESALQ/USP, 1980. 40p. (Série Divulgação Técnica Ultrafértil).

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** San Diego: Academic Press, 1995. 889 p.

MEURER, E. J.; RHENHEIMER, D.; BISSANI, C. A. Fenômenos de sorção em solos. In: MEURER, E. J. (Ed.) **Fundamentos de química do solo.** 3ª ed. Porto Alegre: Evangraf, 2006. p. 117-162. 285p.

MONTANARINI, M. **Soja: nutrição e gastronomia.** São Paulo: Senac, 2009. 248p.

MOTERLE, L. M.; SANTOS, R. F.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A.; LANA, M. C. Influência da adubação com fósforo e potássio na emergência das plântulas e produtividade da cultura da soja. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 02, p. 256-265, 2009.

NELSON, D.W., AND L.E. SOMMERS. 1972. Determination of total nitrogen in plant material. **Agron. J.** 65:109–112.

NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N. 2017. **Características da soja.** Disponível em:

[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/soja/arvore/CONTAG01\\_24\\_271020069131.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/soja/arvore/CONTAG01_24_271020069131.html). Acesso em: 09 set. 2017.

NOVOZAMSKY, I., V.J.G. Houba, R. van Eck, and W. van Vack. 1983. Novel digestion technique for multi-element plant analysis. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.** 4:239–248.

NUNES, R. S.; SOUSA, D. M. G.; GOEDERT, W. J.; VIVALDI, L. J. Distribuição de fósforo no solo em razão do sistema de cultivo e manejo da adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** 35: 877-888, 2011.

OJIMA, A.L.R.O.; YAMAKAMI, A. Modelo de programação quadrática para análise da movimentação logística e comercialização da soja brasileira. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.2, p.552-560, 2006.

OLIVEIRA, A. B. **Fenologia, desenvolvimento e produtividade de cultivares de soja em função de épocas de semeadura e densidades de plantas.** Dissertação (mestrado em produção vegetal). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2010.

OLIVEIRA, F. A.; CASTRO, C.; SFREDO, G. J.; KLEPKER, D.; OLIVEIRA JUNIOR, A. **Fertilidade do solo e nutrição mineral da soja.** Circular Técnica EMBRAPA. Londrina/PR. 2008.

OLIVEIRA JÚNIOR, A.; OLIVEIRA, F. A.; SFREDO, G. J.; KLEPKER, D.; CASTRO, C. 2015. **SPD.** Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/soja/arvore/CONT000fuydzqte02wx5eo0c9slrai68d9kq.html>. Acesso em: 20 de setembro de 2015.

PAULETTI, V. **Nutrientes: teor e interpretação.** Campinas: Fundação ABC/Fundação Cargill, 59p. 1998.

PAVINATO, P. S.; CERETTA, C. A. Fósforo e potássio na sucessão trigo/milho: épocas e formas de aplicação. **Ciência Rural**, v. 34, n. 06, p. 1779-1784, 2004.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. 2ed. 1985. 289p.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; ROQUE, C. G. Resposta da cultura do milho a modos de aplicação e doses de fósforo, em adubação de manutenção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 85-92, 2001.

PRYSTUPA, P.; SAVIN, R.; SLAFER, G.A. Grain number and its relationship with dry matter, N and P in the spikes at heading in response to N×P fertilization in barley. **Field Crops Research**, v. 90, 245–254, 2004.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H. **Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (5ª aproximação)**. Viçosa: UFV, 1999. 359 p.

RICHART, A.; KAEFER, J. E.; DAGA, J.; NOZAKI, M. H.; MENON, R. Desempenho do trigo em resposta a aplicação de termofosfato. **Synergismus scyentifica UTFPR**. Pato Branco, n. 04, p.1. 2009.

RICHART, A.; LANA, M.C.; SCHULZ, L.R.; BERTONI, J.C.; BRACCINI, A.L. Disponibilidade de fósforo e enxofre para a cultura da soja na presença de fosfato natural reativo, superfosfato triplo e enxofre elementar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.4, p. 695-705, 2006.

ROSA, R. P.; PITTELKOW, F. K. PASQUALLI, R. M. Doses e métodos de aplicação de fósforo na cultura da soja. **Boletim Técnico Safra 2014/2015**. Lucas do Rio Verde, 2015.

ROSOLEM, C.A.; MARCELLO, C.S. Crescimento radicular e nutrição mineral da soja em função da calagem e adubação fosfatada. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.55, n.3, p.448-455, 1998.

ROSSI, R. M.; NEVES, M. F. (Coord.). **Estratégias para o trigo no Brasil**. São Paulo: Atlas, 2004.

SANTOS, H. G. [et al.]. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – 5. ed., rev. e ampliada – Brasília, DF: Embrapa, 2018.**

SANTOS, O. S. **A cultura da soja - Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná**. Editora Globo, 1988, 299p.

SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistemas plantio direto. **Ciência Rural**, 38:576-586, 2008.

SCHEUER, P. M., FRANCISCO, A. de; MIRANDA, M. Z. de; LIMBERGER, V. M. Trigo: características e utilização na panificação. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.13, n. 2, p. 211-222, 2011.

SCHWADE, S.; GALLO, J.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. C.; MELEM JÚNIOR, N. J.; SANTOS, D. B. Avaliação da produtividade da soja sob diferentes doses de fósforo na região de Santarém – PA. In: **XXXV Congresso de Ciência do Solo: o solo e suas múltiplas funções**. 2015.

SILVA, A. C.; LIMA, E. P. C.; BATISTA, H. R. **A importância da soja para o agronegócio brasileiro: uma análise sob o enfoque da produção, emprego e exportação**. 2011.

SILVA, D. J.; ALVAREZ VENEGAS, V. H.; RUIZ, H. A.; SANT'ANNA, R. Translocação e redistribuição de enxofre em plantas de milho e de soja. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 38, n. 6, p. 715-721, 2003.

SFREDO, G. J. **Calagem e adubação da soja**. Circular técnica, Embrapa, 2008.

SFREDO, G.J.; BORKERT, C.M. **Deficiências e toxicidades de nutrientes em plantas de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2004. (Documentos, n.231).

SOUSA, D. G. M.; LOBATO, E.; REIN, T. A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D. G. M.; LOBATO, E. **Cerrado: Correção do solo e adubação - 2ª ed.** - Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. p. 147-168, 2004.

TAKEITI, C. Y. **Trigo**. Brasília: Agência Embrapa de Informação Tecnológica, 2015. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tecnologia\\_de\\_alimentos/arvore/CONT000girlwnqt02wx5ok05vadr1qrnof0m.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tecnologia_de_alimentos/arvore/CONT000girlwnqt02wx5ok05vadr1qrnof0m.html)>. Acesso em: 11 set. 2017.

TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H. A. A. **Soja, nutrição, correção do solo e adubação**. Campinas: Fundação Cargill, 1992. 60 p.

TPS (Tecnologia de Produção de Soja). 2013. **Technology of soybean yield in central region of Brazil, 2012 and 2013**. Embrapa Soja, Londrina, PR, Brazil.

**USDA**, 2017. Disponível em: [https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset\\_trigo.pdf](https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset_trigo.pdf). Acesso em: 10 set. 2017.

VENTIMIGLIA, L. 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**. v. 34, n. 2, p. 195-199, 1999.

VIAN, I. J. O.; SILVA, M. R. **Fertilidade e nutrição da soja**. 2016.

VITTI, G. C.; TREVISAN, W. **Manejo de macro e micronutrientes para alta produtividade da soja**. Potafos. Encarte técnico. 2000.