

FRANCISCO DE ASSIS GUEDES JÚNIOR

GESO AGRÍCOLA: EFEITOS NO CRESCIMENTO RADICULAR E NO  
RENDIMENTO DE GRÃOS DA SOJA

CASCVEL  
PARANÁ - BRASIL  
FEVEREIRO - 2017

FRANCISCO DE ASSIS GUEDES JÚNIOR

GESSO AGRÍCOLA: EFEITOS NO CRESCIMENTO RADICULAR E NO  
RENDIMENTO DE GRÃOS DA SOJA

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia de Energia na Agricultura, em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia.

ORIENTADOR: Dr. Deonir Secco

COORIENTADOR: Dr. Luiz Antônio Zanão Júnior

CASCATEL  
PARANÁ - BRASIL  
FEVEREIRO- 2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

G958g

Guedes Junior, Francisco de Assis

Gesso agrícola: efeitos no crescimento radicular e no rendimento de grãos da soja. / Francisco de Assis Guedes Júnior. — Cascavel - PR, 2017.  
72 f.

Orientador: Prof. Dr. Deonir Secco

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná,  
Campus de Cascavel, 2017

Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia de Energia na  
Agricultura, área de Concentração Agroenergia

1. Gesso agrícola. 2. Atributos físicos. 3. Glycine max. 4. Rendimento de grãos. I. Secco, Deonir. II. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. III. Título.

CDD 20.ed. 631.521

633.34

## FRANCISCO DE ASSIS GUEDES JUNIOR

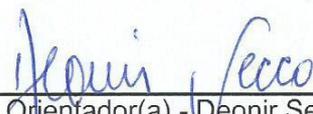
Gesso Agrícola: Efeitos no crescimento radicular e no rendimento de grãos de soja

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, linha de pesquisa Biomassa e Culturas Energéticas, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:



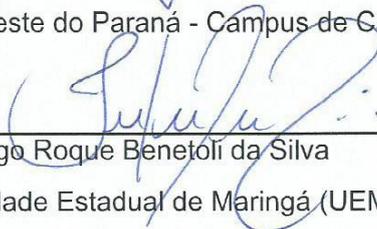
Reginaldo Ferreira Santos

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Orientador(a) - Deonir Secco

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Tiago Roque Benetoli da Silva

Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Cascavel, 10 de fevereiro de 2017

*Aos meus pais Francisco de Assis Guedes e  
Maria das Graças dos Reis Guedes e aos meus  
avôs paternos Agnelo Pereira Guedes e Olga  
da Silva Guedes e avós materno Laurentino  
Soares dos Reis e Marieta Neiva Cardoso dos  
Reis (in memoriam).*

**DEDICO**

*Aos meus queridos avós Laurentino Soares dos Reis e Marieta Neiva Cardoso dos Reis (in memoriam), pelo incentivo na partida, pelos braços e sorrisos abertos em cada chegada, pelo amor de avô e de pai a mim dedicados.*

**OFEREÇO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha existência, pela força de vontade de superar as dificuldades, pelo dom da vida e pelas oportunidades que Ele semeia em meu caminho;

Aos meus pais Francisco de Assis Guedes e Maria das Graças dos Reis Guedes, pelo amor, exemplo e apoio incondicional dedicados a mim em todas as etapas da minha vida;

Aos meus avós Laurentino Soares dos Reis e Marieta Neiva Cardoso dos Reis pelo carinho, incentivo e conselhos que me ajudaram a sempre perseverar;

A todos os meus familiares e amigos, pelo carinho e pelas orações;

Em especial minha esposa Anatólia Isabel, pela paciência, carinho e grande ajuda em todas as etapas deste projeto;

Ao meu querido filho Rafael Lima Santos Guedes;

A minha sogra Everailda, pelos conselhos e amizade;

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná por me acolher e oferecer essa oportunidade de ser mais um pós-graduado;

Ao Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR, pela oportunidade de realização deste trabalho;

Ao Pesquisador Científico Dr. Deonir Secco e Dr. Luiz Antonio Zanão Júnior, pela orientação, amizade, empenho e auxílio durante o desenvolvimento do projeto;

À Pesquisadora Científica Dra. Luciene Kazue Tokura, pela amizade e imensa ajuda no desenvolvimento deste trabalho;

Aos Pesquisadores Científicos, Samuel Nelson Melegari de Souza, Jair Antônio Cruz Siqueira, Flavio Gurgacz, Helton José Alves, Elisandro P. Frigo, Armin Feiden e Reinaldo Aparecido Bariccatti, Reginaldo Ferreira Santos por todas as conversas, sugestões e ensinamentos;

À Vanderléia Luzia Stockmann Schmidt, por sua eficiência, organização e prestatividade, e na pessoa dela a todos os demais funcionários que, de uma forma ou outra, contribuíram com esta caminhada;

Aos amigos, companheiros de turma e outros que fiz durante o mestrado;

A todos que de alguma forma colaboraram para a realização deste trabalho;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pela bolsa de mestrado concedida no primeiro ano do curso.

## LISTA DE SÍMBOLOS

a = constante que varia de local para local;  
COR= correção;  
DG: Dose de gesso agrícola;  
Ds: Densidade do solo em ( $\text{Mg m}^{-3}$ );  
Dp: Densidade da partícula do solo em ( $\text{Mg m}^{-3}$ );  
ETr: Evapotranspiração Real da cultura;  
Etc: Evapotranspiração da cultura;  
ETPc: Evapotranspiração potencial da cultura ( $\text{mm mês}^{-1}$ );  
IAPAR: Instituto Agrônômico do Paraná;  
I: Índice térmico anual ou índice de calor anual;  
Kc: Coeficiente da cultura;  
Ksat: Condutividade do solo saturado;  
Kc: Evapotranspiração da cultura;  
Lafis: Laboratório de física do solo;  
M: Massa do solo g;  
Mpa: Megapascal;  
Macro: macroporosidade do solo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ );  
Micro: microporosidade do solo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ );  
Msu: Massa do solo úmido;  
Mss: Massa de solo seco (Mg) ;  
m: Índice de saturação por alumínio;  
m.c.a: metro coluna de água;  
N: fotoperíodo do mês em questão de acordo com a latitude local;  
NDP: dias do período em questão;  
PDG: Plantio Direto Gessado;  
P: Peso da amostra (g) seca a 105 °C;  
pp: precipitação;  
PSS: Peso de solo seco;  
Pt: Porosidade total em %;  
SPD: Sistema de plantio direto  
Tef: Temperatura efetiva;

Tmax: temperatura máxima diária (°C);

Tmin: Temperatura mínima diária (°C);

Ta: Temperatura média anual normal;

UNIOESTE: Universidade Estadual do Oeste do Paraná;

V: Volume do solo (cm<sup>3</sup>);

V: Índice de saturação por bases;

Vt: Volume total do solo.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização textural da área experimental em estudo.....	21
Tabela 2. Teores de Al, Ca, Mg, K, saturação por bases (V) e por alumínio (m) em função da profundidade do solo 2015 .....	22
Tabela 3. Histórico de safra dos últimos 3 anos da área experimental.....	22
Tabela 4. Coeficiente Kc em função do estágio de desenvolvimento da cultura da soja.....	27

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área do experimento com soja.....	21
Figura 2. Precipitação pluviométrica, temperatura média e evapotranspiração (ETc) da cultura no ciclo vegetativo da soja ano de outubro de 2015 a fevereiro de 2016 na região Oeste - PR. ....	24
Figura 3. Raiz de soja exposta para avaliação do crescimento em profundidade. ....	28
Figura 4. Densidade do solo nas camadas de 0,0 - 0,1 (A), 0,1 - 0,2 (B) e 0,2 - 0,3 m (C) em função das doses de gesso agrícola.....	31
Figura 5. Porosidade total do solo nas camadas de 0,0 - 0,1 (A), 0,1 - 0,2 (B) e 0,2 - 0,3 m (C) em função das doses de gesso agrícola. ....	33
Figura 6. Macroporosidade do solo nas camadas de 0,0 - 0,1 (A), 0,1 - 0,2 (B) e 0,2 - 0,3 m (C) em função das doses de gesso agrícola.....	35
Figura 7. Microporosidade do solo nas camadas de 0,0 - 0,1 (A), 0,1 - 0,2 (B) e 0,2 - 0,3 m (C) em função das doses de gesso agrícola. ....	37
Figura 8. Condutividade hidráulica do solo nas camadas de 0,0 - 0,1 (A), 0,1 - 0,2 (B) e 0,2 - 0,3 m (C) em função das doses de gesso agrícola. ....	39
Figura 9. Crescimento lateral e vertical das raízes de soja em função das doses de gesso agrícola. ....	41
Figura 10. Produtividade de grão em relação às dosagens de gesso agrícola aplicado na cultura da soja.....	42

GUEDES JR, Me. Francisco de Assis. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, fevereiro de 2017. **Gesso agrícola: efeitos no crescimento radicular e no rendimento de grãos da soja.** Orientador: Dr. Deonir Secco. Coorientador: Dr. Luiz Antônio Zanão Junior.

## RESUMO

A resposta ao gesso agrícola, como condicionador do ambiente radicular em profundidade, tem sido observada para a maioria das culturas anuais. Tais respostas são atribuídas à melhor distribuição das raízes das culturas em profundidade no solo pela redução de impedimentos químicos, causado pelo alumínio trocável e deficiência de cálcio nessas camadas, o que propicia às plantas o aproveitamento de maior volume de água quando ocorrem veranicos. Dessa maneira, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de doses de gesso no crescimento radicular e no rendimento de grãos da soja. O experimento foi realizado no Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR) no município de Santa Tereza do Oeste - PR. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico típico (EMBRAPA, 2013) o qual vem sendo manejado sob sistema plantio direto a 18 anos. O experimento foi conduzido em seis blocos ao acaso sob cinco doses de gesso com tratamentos (0; 3; 6; 9 e 12 t ha<sup>-1</sup>) e seis repetições. Para esta análise estatística utilizou-se o Sistema para Análise de Variância (SISVAR®) e ASSISTAT Versão 7.7 beta (2016) análise de regressão. Os atributos físicos densidade do solo, porosidade total, microporosidade, macroporosidade e condutividade hidráulica do solo saturado diferiram de forma significativa com a aplicação das doses de gesso apenas na camada de 0,1 - 0,2 m, devido à concentração da pressão impostas pelas máquinas e implementos agrícolas. Não ocorreu diferença significativa para o rendimento de grão e crescimento radicular da soja.

**PALAVRAS-CHAVE:** atributos físicos, gesso, *Glycine max*, rendimento de grão.

GUEDES JR, Me. Francisco de Assis. Unioeste – State University of West Paraná, February 2017. **Agricultural gypsum: effects on root growth and yield of soybean.** Advisor: Dr. Deonir Secco; Co-Advisor Dr. Luiz Antônio Zanão Junior.

### ABSTRACT

The response to gypsum, as the root environment conditioner in depth has been observed for most annual crops. Such responses are attributed to better distribution of roots deep in crops in the soil by reducing chemical impediments caused by exchangeable aluminum and calcium deficiency in these layers, which provides the plants to take advantage of higher volume of water when dry spells occur. Thus, the aim of this study was to evaluate the effects of gypsum rates on root growth in yield of soybeans. The experiment was conducted at the Agronomic Institute of Paraná (IAPAR) in Santa Tereza do Oeste - PR. The soil was classified as Typic Harplortox (EMBRAPA, 2013) which comes without the managed under no-till 18 years. The experiment was conducted in randomized blocks in a factorial design with plaster 5 doses as treatments (0, 3, 6, 9 and 12 t ha<sup>-1</sup>) and six repetitions. For this statistical analysis we used the System for Analysis of Variance (SISVAR®) and ASSISTAT Version 7.7 beta (2016) regression analysis. The physical attributes soil density, total porosity, microporosity, macroporosity and saturated hydraulic conductivity soil did not differ significantly with the application of gypsum rates, but in the 0.1 - 0.2 m layer, by the concentration of pressure imposed by the machines and agricultural implements, it underwent deformation, providing differences of these attributes in this layer. There wasn't significant difference in grain yield and root growth of soybean.

**KEYWORDS:** *physical attributes, gypsum, Glycine max, grain yield.*

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	1
1.1	OBJETIVOS .....	3
1.1.1	Objetivo Geral.....	3
1.1.2	Objetivos Específicos.....	3
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	4
2.1	Gesso agrícola: efeitos no solo.....	4
2.1.1	Toxidez por alumínio no solo .....	7
2.1.2	Reações químicas do gesso no solo .....	8
2.1.3	Modo e recomendação de aplicação do gesso agrícola.....	10
2.2	SOJA: UMA CULTURA MILENAR.....	10
2.2.1	Importância e produção da cultura da soja.....	11
2.2.2	Água para a cultura da soja .....	13
2.3	SOJA CULTIVADA NO PLANTIO DIRETO .....	15
2.4	IMPACTO DO SISTEMA PLANTIO DIRETO NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO.....	16
2.4.1	Porosidade do solo .....	17
2.4.2	Densidade do solo .....	199
2.4.3	Condutividade hidráulica do solo saturado (Ksat).....	20
3.	MATERIAL E MÉTODOS .....	21
3.1	Descrição do solo, clima e relevo da área em estudo.....	21
3.2	Histórico da área em estudo e descrição dos tratamentos .....	22
3.3	AVALIAÇÕES CLIMATOLÓGICAS.....	23
3.4	AVALIAÇÕES E DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS .....	25
3.5	ANÁLISE DO CRESCIMENTO RADICULAR .....	28
3.6	COLHEITA DA SOJA .....	28
3.7	ANÁLISES DOS DADOS.....	29
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	30
4.1	ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO .....	30
4.1.1	Densidade do solo .....	30
4.1.2	Porosidade total.....	32
4.1.3	Macroporosidade.....	34
4.1.4	Microporosidade .....	36
4.1.5	Condutividade hidráulica do solo saturado (Ksat).....	38

4.2 CRESCIMENTO LATERAL E VERTICAL DAS RAÍZES DE SOJA EM FUNÇÃO DAS DOSES DE GESSO .....	40
4.3 RENDIMENTO DE GRÃO DA SOJA EM FUNÇÃO DAS DOSES DE GESSO AGRÍCOLA .....	42
5. CONCLUSÕES .....	44
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	45
APÊNDICE A - Demonstração do comprimento radicular da soja no período R7. 3 com 102 dias DAE desfolha e maturação normal de grãos plena maturação .....	57

## 1. INTRODUÇÃO

Registra-se que a primeira utilização do gesso como condicionador inorgânico do solo em 1768, em experimento na Suíça, quando constatou-se efeitos benéficos no crescimento do trevo. Além disso, nos Estados Unidos da América, no período colonial, Benjamin Franklin foi líder fazendeiro e tentou aumentar a produção e qualidade das plantas. Tornou-se muito conhecido, nesta área, por ter aplicado sulfato de cálcio (gesso) em colina perto de Filadélfia. Ele escreveu as palavras: “Esta terra foi corrigida com gesso”. Ele aplicou o gesso em campo nativo transformando-o em gramado de verde intenso. Relata-se que produto foi registrado com o nome de "Gesso agrícola Ben Franklin", foi até comercializado no mercado de insumos dos Estados Unidos (JONES, 1979).

Nesse sentido, Silva et al. (1998) sugerem que o gesso seja aplicado em solos ácidos como produto complementar ao calcário, com o intuito de tornar o alumínio não disponível e aumentar a concentração de cálcio em profundidade.

Atualmente, são vastas as informações no que se refere ao efeito do gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular das plantas, em decorrência da movimentação de cálcio para camadas subsuperficiais do solo e, ou, diminuição dos efeitos tóxicos de teores elevados de alumínio. A presença de camadas subsuperficiais com baixos teores de cálcio, e ou elevados teores de alumínio trocáveis pode acarretar a perda de safras, especialmente, em regiões propensas à incidência dos “veranicos”, pois conduzem ao menor aprofundamento do sistema radicular, resultando menor volume de solo explorado pelas raízes e, por sua vez, menos nutrientes e água disponíveis para a planta.

A presença do alumínio em excesso no solo provoca toxidez as plantas, pois não conseguem desenvolver amplamente o sistema radicular, ficando suas raízes com desenvolvimento superficial. Com isso as raízes exploram menor volume de solo torna-se suscetíveis a sofrerem mais rapidamente em caso de stress hídrico. Em outras palavras, elas sentem com os períodos de ausência de precipitação. Nessa mesma linha de pensamento, elas também têm menos acesso a nutrientes. Como resultado, há baixa produtividade, Caires et al. (2003).

Segundo Raij 2008, a atividade do  $Al^{3+}$  livre na solução é indicador consistente da toxicidade do alumínio em soluções de solo. O ânion  $SO_4^{2-}$  é importante na redução da atividade de  $Al^{3+}$  e isso afeta o desenvolvimento radicular. Um importante aliado químico para as plantas é o gesso agrícola por promover a redução do alumínio livre na solução

tornando indisponíveis para as culturas agrícolas e propiciando melhores condições de crescimento do sistema radicular.

Contudo, o gesso agrícola ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) vem sendo aplicado em larga escala na agricultura devido a sua eficiência no solo, haja vista que refere-se a um insumo o qual adiciona cálcio e enxofre ao solo, permitindo transportar nutrientes catiônicos para camadas subsuperficiais impedindo a ação tóxica do alumínio as plantas (FARIA et al., 2003).

Deste modo, Vitti et al. (2008) constataram que à medida que o gesso se mobiliza no perfil do solo, o mesmo pode proporcionar melhorias nas condições químicas e física do ambiente radicular, sem que haja a necessidade de incorporação deste insumo.

Conforme Cardoso et al. (2014) constataram que a prática da gessagem otimiza exploração das camadas subsuperficiais do solo, nas quais em função da percolação entre camadas de solo, há quantidade expressiva de umidade e nutrientes. Assim, verificam-se menores quedas na produção por ação de estresse hídrico e insuficiência nutricional, reduzindo, portanto os prejuízos com veranicos, visto que a planta passa a absorver água e nutrientes das camadas mais profundas do solo.

Entretanto, frisa-se que é imprescindível dedicar atenção a esta técnica, pois o emprego incorreto da gessagem pode ocasionar desequilíbrio químico ao solo proporcionando prejuízos em longo prazo. Estudos desenvolvidos por Pauletti et al. (2014) comprovam que o uso de gesso pode fornecer nutrientes ao desenvolvimento de culturas, todavia, dependendo das condições climáticas, pode refletir positivamente quando o gesso esta próximo da raiz na solução do solo ou negativamente quando afastado da raiz dificultando a absorção de água e nutrientes comprometando na produtividade das culturas.

Segundo Gelain (2011), em seu estudo sobre a cultura da soja indica que o uso do gesso agrícola constatou efeito benéfico no teor foliar de enxofre. Já os experimentos conduzidos por Broch et al. (2011), encontraram melhoria na produção de grãos.

Dentro deste contexto, os atributos do solo se propõem a serem indicadores de qualidade para auxiliar no estudo dos mesmos. Assim, os parâmetros físicos do solo como a densidade do solo e porosidade poderá nos dar uma idéia das condições de infiltração de água e aeração do solo.

Segundo Blainski et al. (2008) os sistemas de produção agrícola dependem da base fundamental que é solo, as alterações nas suas propriedades afeta diretamente a sustentação do crescimento vegetal, e, conseqüentemente a produtividades das culturas. Então, é necessidade crucial buscar alternativas que sejam sustentáveis ao longo do tempo, de forma que melhorem ou mantenham uma estrutura física capaz de exercer as suas funções para o

crescimento e ancoragem das raízes, bem como favorecer o suprimento de água, oxigênio e de nutrientes. Para Sanchez (2012), manter um solo com boa produtividade é imprescindível que sejam analisadas suas propriedades físicas tais como: porosidade, densidade e condutividade hidráulica do solo, na medida em que elas afetam a resposta das culturas.

O presente estudo visa enfatizar a importância do gesso agrícola para as grandes culturas possa ser uma prática que possibilite bons resultados econômico para os produtores da região Oeste do Paraná. Ainda tem como importância melhorar as condições físicas e químicas do solo sem contaminar e degradar o meio ambiente, contribuindo para a ciência como mais uma alternativa na área agrônômica para aumentar a produtividade dos cultivos. Ressalta-se que na região Oeste do Paraná a soja destaca na economia e que boa parte da receita agrícola na região advém do comércio desta cultura. A tecnologia do uso gesso agrícola tem sido uma importante estratégia de manejo para auxiliar na produção de grão, principalmente como condicionador de solo para a cultura da soja. Essa tecnologia se mostra viável tanto social quanto ambientalmente e permite ainda no campo geração de renda na propriedade rural, redução de agroquímicos, insumos agrícolas que aliado com a prática conservacionista do solo como o plantio direto propicia melhoria na qualidade do solo.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Avaliar o efeito de doses de gesso agrícola no crescimento radicular e no rendimento de grãos de soja em um Latossolo argilosos sob sistema plantio direto do Oeste do Paraná.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

Identificar a dose de gesso que melhor contribui para o rendimento de grão de soja na condição de plantio direto na região Oeste do Paraná.

Avaliar o crescimento radicular da soja sobre doses de gesso agrícola.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Gesso agrícola: efeitos no solo

Desde a era greco-romana o gesso tem sido utilizado como fertilizante (CAIRES et al., 2001). No Brasil, os primeiros registros de utilização do gesso agrícola são do Instituto Agrônômico de Campinas no século XIX (CAIRES et al., 2001).

Nesse sentido, alguns autores têm pesquisado a importância do gesso agrícola, como também têm observado o efeito do gesso na redução dos teores de  $Al^{+3}$  do solo (PAVAN; BINGHAM; PRATT, 1984; OATES; CALDWELL, 1985; ALVA et al., 1986; FARINA; CHANNON 1988; MARSH; GROVE, 1992; CAIRES et al., 1999, CAIRES; FELDAHAUS; BLUM, 2001, CAIRES et al., 2003; CAIRES et al., 2004; CAIRES et al., 2006; SORATTO; CRUSCIOL, 2008; RAIJ, 2008; BENITES, et al., 2010; RAMPIM et al., 2011; CARDUCCI et al., 2015).

O gesso agrícola é utilizado para distintas finalidades, destacando-se o efeito fertilizante pelo fornecimento de cálcio e enxofre, como condicionador de subsuperfície do solo, condicionador de esterco e preventivo de enfermidades de plantas (VITTI et al., 2008).

É um produto constituído por cerca de 21% de cálcio e 15,5% de enxofre (FERREIRA et al., 2013). Conforme a sua natureza o gesso pode estar na forma de materiais minerados ou como subproduto da fabricação de ácidos fosfóricos (ALCORDO; RECHCIGL, 1993). Vale citar, que o gesso agrícola utilizado na maioria dos estudos é obtido da fabricação de ácidos fosfóricos.

A quantidade de gesso disponível é de cerca de 4,1 milhões de toneladas, depositadas a céu aberto, num processo de acomodação natural das partículas. O resultado econômico dependerá de diversos fatores, tais como a distância em que encontra o gesso até a propriedade agrícola, a ocorrência de veranicos durante o desenvolvimento da cultura e, principalmente, a resposta econômica das culturas (NUERNBERG; RECH; CLORI BASSO, 2005)

De acordo com Alvarez et al. (1999) o gesso é um insumo agrícola fundamental, porém, por suas características, a sua aplicabilidade fica restrita a situações particulares bem definidas, uma vez que o emprego deste sem a devida recomendação técnica poderá acarretar sérios prejuízos para os agricultores.

Raij (2008) infere que a distribuição do gesso agrícola no solo é denominada como gessagem, essa prática possibilita uma boa condição química no subsolo, ambiente que

geralmente é pouco favorável às raízes. Por conseguinte, o gesso atuaria diminuindo a saturação por alumínio e elevando os teores de cálcio e enxofre, o que, juntamente com adubação equilibrada, constitui técnica fundamental para a grande maioria dos solos brasileiros (VITTI, 2008).

Tem-se observado a importância do gesso agrícola para a maioria das culturas anuais, visto que atua como condicionador das raízes das plantas agrícolas nas camadas do subsolo. Esses resultados são devido à melhoria da distribuição das raízes das culturas em profundidade no solo, sobretudo, pela redução de impedimentos químicos, causada pelo alumínio trocável e a deficiência de cálcio nessas camadas, o que possibilita às plantas o aproveitamento de maior volume de água quando ocorrem veranicos. Além da água, os nutrientes, desde o de maior até o de menor mobilidade, também são absorvidos com melhor eficiência (SOUSA; LOBATO; REIN, 2005).

Em determinada estação do ano a exploração do solo pelo sistema radicular pode estar limitada à camada superficial, principalmente, em casos de baixos níveis de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) em profundidade, diminuindo a absorção de água e nutrientes. Nesse sentido, a utilização do gesso configura-se como uma alternativa para ampliar a distribuição do sistema radicular no perfil do solo (CAIRES et al., 2001) por causa, principalmente, da melhoria do subsolo (CAIRES et al., 2003), refletindo em absorção de água e nutrientes (CARVALHO; RAIJ, 1997).

Ademais, cita-se que há algumas décadas o gesso vem sendo empregado na correção de níveis tóxicos de alumínio e aumento dos teores de cálcio em camadas mais profundas do solo (ZAMBROSI; ALLEONI; CAIRES, 2007), sendo que as recomendações baseiam-se no teor de argila do solo, cujas doses são inferiores a  $4 \text{ t ha}^{-1}$ .

Segundo Rosa Junior et al. (2006) a gessagem poderá atuar como condicionador das camadas inferiores do solo, especialmente das estruturas, contribuindo para a agregação e melhoria. Outrossim, o efeito positivo do gesso na estrutura do solo, deve-se ao seu potencial de formação de ponte catiônica com argilas e carbono do solo (ZHANG; NORTON, 2002). Evidenciam-se ainda outros atributos físicos do solo, como a densidade e a porosidade, as quais podem ser modificadas através da combinação do sistema de manejo e da gessagem completa (COSTA et al., 2007).

Para Alvarez et al. (1999) o gesso agrícola é, essencialmente, o sulfato de cálcio dihidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), caracterizado como subproduto industrial. As indústrias de fertilizantes utilizam como matéria prima para a produção de ácido fosfórico a rocha fosfática (apatita, sobretudo, a fluorapatita) a qual ao ser atacada por ácido sulfúrico e água, produz

como subprodutos da reação, o sulfato de cálcio e ácido fluorídrico, conforme a seguinte reação:  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2(\text{s}) + 10\text{H}_2\text{SO}_4 + 20\text{H}_2\text{O} \rightarrow 10\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}(\text{s}) + 6\text{H}_3\text{PO}_4 + 2\text{HF}$

Os teores de Ca (17 a 20 %), de S (14 a 17 %), de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (0,6 a 0,75 %), de F (0,6 a 0,7 %), de Mg (0,12 %), a presença de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Zn, Mo, Ni) e de outros elementos (Co, Na, Al, As, Ti, Sb, Cd), possibilita que o gesso possa ser aplicado na agricultura como fonte de cálcio e de enxofre, bem como para tornar o alumínio menos tóxicos nas camadas subsuperficiais com alta quantidade de alumínio e, ou, baixos teores de cálcio, com o intuito de promover um melhor ambiente radicular das plantas (ALVAREZ et al., 1999).

Com efeito, a distribuição do gesso agrícola, quando aplicado na superfície do solo, acontece ao longo do perfil sob influência do excesso de umidade, e por sua vez tem-se aumento no teor de Ca trocável e redução na toxicidade por Al em camadas do subsolo. A redução da toxicidade por Al com a adição de gesso ocorre pela formação de espécies menos tóxicas de Al ( $\text{AlSO}_4$ ) e pela precipitação de Al (SHAINBERG et al., 1986; ZAMBROSI; ALLEONI; CAIRES, 2007). A melhoria das condições químicas do subsolo por meio do uso de gesso tem resultado em melhor crescimento do sistema radicular e maior absorção de água e nutrientes pelas plantas (SUMNER et al., 1986; CARVALHO; RAIJ, 1997).

Evidencia-se ainda, que o gesso agrícola ou fosfogesso, obtido através da produção de ácido fosfórico, compõe-se, essencialmente, de cálcio e enxofre, os quais atuam condicionando o solo em subsuperfície, uma vez que apresenta elevada mobilidade no perfil do solo. Outrossim, quando preparado em solução, pode ser lixiviado, minimizando a saturação por alumínio em profundidade, bem como pode transferir nutrientes das camadas superficiais para as sub-superficiais, promovendo assim maior eficiência e área de exploração às raízes (RAIJ, 2008; BROCH et al., 2008).

Além disso, o gesso agrícola tem papel importante ao fornecer cálcio para as plantas, um cátion divalente, o qual proporciona qualidade estrutural ao solo. O gesso agrícola está amplamente disponível em diversos locais do mundo, sobretudo, por ser subproduto da indústria de ácido fosfórico, o qual contém, mormente, sulfato de cálcio e pequenas concentrações de fósforo e flúor (VITTI et al., 2008).

Por fim, considerando o exposto por Caires et al. (2006) existem várias utilidades do gesso agrícola em benefício do solo, sendo uma delas o aproveitamento de enxofre ( S ) para as culturas. Este é um aspecto importante, já que o uso de fertilizantes com altas concentrações e que não contém S em sua composição tem se intensificado na agricultura,

situação que pode comprometer, ao longo dos anos, as reservas de S no solo e a disponibilidade do nutriente para as plantas.

### 2.1.1 Toxidez por alumínio no solo

Coleman e Thomas (1967) observam que a produção agrícola, na maioria das vezes, é limitada por fatores diversos presentes nos solos brasileiros, principalmente no Oeste do Paraná, onde o efeito da acidez do solo e, conseqüentemente, em determinadas áreas onde predominam o latossolo vermelho, em decorrência da toxidez causada por  $Al^{+3}$  e  $Mn^{+2}$  e baixa saturação por bases.

Vale salientar que os impedimentos impostos no solo pela acidez, não só acontecem nas primeiras camadas, mas em parte dos perfis do solo, na qual também apresenta toxidez por alumínio e baixos teores de cálcio. Em clima subtropical, como o Brasil, há presença de alumínio e acidez elevada nos solos, existindo ainda, frequentemente, elevados teores de alumínio trocável tóxico ao longo das camadas subsuperficiais (GUIMARÃES, 1995).

Segundo Guedes et al. (2001) o alumínio é um elemento fitotóxico, para maioria das plantas agrícolas são uma das causas de toxidez nos solos, o alumínio trocável, em qualquer uma das suas formas iônicas solúveis, é um elemento altamente fitotóxico. O autor cita ainda, que entre outras complicações, o alumínio atua no meristema apical da raiz, interrompendo a divisão celular, e, portanto, paralisando o crescimento das raízes.

Malavolta (2006) explana que em vários solos tropicais, a camada subsuperficial configura caráter álico, o qual, quimicamente, impede o desenvolvimento do sistema radicular em profundidade. O baixo crescimento do sistema radicular pode ser afetado pelo excesso de alumínio no solo, e como consequência disto a exploração do solo diminui drasticamente, dificultando a absorção de água e nutrientes pelas raízes das plantas, resultando efeito negativo para a cultura, como deficiências minerais e susceptíveis ao déficit hídrico (RIOS et al., 2008).

Para Raij (2008) o aproveitamento satisfatório de água e nutrientes existentes em camadas profundas do solo, só é possível se houver raízes no subsolo, portanto, geralmente, é necessário transpor barreira química tóxica às raízes das plantas, sobretudo pela presença de alumínio e/ou deficiência de cálcio, nessa condição, retoma-se que o uso do gesso assume importante papel como condicionador do solo.

Porém, Raij (2008) cita que o ânion  $SO_4^{2-}$  comumente, não é armazenado em camadas superficiais do solo, desta forma acaba sofrendo o processo de lixiviação,

conduzindo perfil abaixo das quantias equivalentes de cátions adsorvidos. Por isso é que o gesso agrícola é considerado um produto condicionador de solos ácidos, haja vista que os cátions, tanto os ácidos como os alcalinos, podem ser adsorvidos ao ânion sulfato e, sequentemente lixiviados perfil abaixo, desestruturando a barreira química formada por  $\text{Al}^{3+}$ , atribuindo assim maior área de exploração às raízes. Ademais, o gesso ainda é capaz de disponibilizar às raízes nutrientes básicos, como Ca e Mg, em camadas mais profundas, e desta forma as plantas terão maior capacidade de desenvolvimento e ganho de biomassa.

### 2.1.2 Reações químicas do gesso no solo

Ao aplicar o gesso agrícola no solo com umidade ideal ocorrerá o processo de dissolução, representado da seguinte maneira:



Na solução do solo, há possibilidade do íon  $\text{Ca}^{2+}$  reagir no complexo de troca do solo, movendo cátions como  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $(\text{H}^+)$  até a solução do solo, os quais, conseqüentemente, podem reagir com o  $\text{SO}_4^{2-}$  formando  $\text{AlSO}_4^+$  (menos tóxico às plantas) (MATIELLO et al., 2008).

Malavolta (1989) comenta que pode acontecer arrastamento significativo dos elementos potássio e magnésio à superfície, conforme a quantidade de gesso aplicada. Tal situação terá efeito positivo, se os dois elementos mantiverem-se ao alcance das raízes. Em contrapartida, será prejudicial para as culturas se descerem demais e se concentrarem fora do alcance do sistema radicular.

Nesse contexto, Raj (2008) elucida que uma forma de contornar o arrastamento do magnésio é a aplicação de calcário dolomítico, e assim o arrastamento do potássio, provavelmente, será restabelecido pela reciclagem de nutrientes.

A equação de reação do sulfato de cálcio em solos ácidos, tal como descrita abaixo, explica o motivo pelo qual o gesso não neutraliza solos ácidos.



Alvarez et al. (1999) explicam que na adubação com enxofre recomenda-se, como na adubação fosfatada, observar a textura do solo, uma vez que solos argilosos, normalmente, apresentam maior capacidade de adsorção de sulfatos, e nestes casos exige-se doses mais elevadas de enxofre para garantir adequada disponibilidade do elemento para as plantas.

Aplicar o gesso em altas doses pode contribuir para a lixiviação de cátions do solo, especialmente o potássio (YAMADA; ABDALA; VITTI, 2007). Conquanto, o estudo de

Moraes et al. (1998) revela que a utilização de excessivas doses de gesso agrícola promove a percolação do potássio para as camadas subsuperficiais do solo, devido, principalmente, à constituição de par iônico com os íons  $\text{SO}_4^{2-}$  ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ), elevando a mobilidade no perfil do solo. Esta é uma situação fundamental, visto que os solos tropicais brasileiros apresentam baixo teor natural de potássio trocável (BENITES, et al., 2010).

Além disso, salienta-se que nas regiões tropicais os principais fatores limitantes para o desenvolvimento das culturas são o processo de compactação dos solos, o qual pode limitar o desenvolvimento radicular e a acidez podendo anular o desenvolvimento das raízes (HARTWIG et al., 2007). Deste modo, almejando reverter estes danos e promover um desenvolvimento radicular satisfatório, a aplicação de gesso pós-calagem é considerado um método promissor (CARDUCCI et al., 2015).

Isto se explica devido ao gesso agrícola ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) dissociar-se e os sulfatos de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  serem carreados a profundidades máximas na subsuperfície, e, conseqüentemente, deixando indisponível para as plantas o  $\text{Al}^{3+}$  nesta camada (RAMPIM et al., 2011). As culturas estão em um ambiente propício para um melhor desenvolvimento, aumentando assim o volume radicular em profundidade e possibilitando um melhor aproveitamento do volume de solo. Com efeito, as culturas além de se tornarem capazes de alcançar água em profundidades maiores, também têm maior captação de nutrientes disponíveis no solo, repercutindo positivamente no seu desenvolvimento e produtividade (SORATTO; CRUSCIOL, 2008).

Sousa, Lobato e Rein (2005), corroboram com o supracitado ao observarem que a aplicação do gesso agrícola poderá promover melhoria no desenvolvimento radicular em profundidade, favorecendo a exploração de nutrientes e água no solo, bem como a tolerância das plantas à seca.

Diante do exposto, reflete-se que a prática da gessagem deve ser dotada de mais atenção, uma vez que, apesar de benéfica ao cultivo, a aplicação indevida pode acarretar desequilíbrio químico ao ecossistema do solo, conferindo complicações em longo prazo. Tal como inferem os estudos de Pauletti et al. (2014), afirmam que o emprego do gesso dispõe nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas, todavia, conforme as condições do clima, este pode refletir de maneira positiva ou negativa na produtividade das culturas.

### 2.1.3 Modo e recomendação de aplicação do gesso agrícola

Autores como Malavolta (1989), Raij (2008), Matiello et al. (2008) sugerem a aplicação a lanço devido à alta solubilidade do gesso, sem a necessidade da sua incorporação.

No momento da tomada da decisão sobre a recomendação técnica de aplicação de gesso agrícola, é imprescindível observar que as camadas subsuperficiais do solo (20 a 40 cm ou 30 a 60 cm) exibam as seguintes características:  $\leq 0,4 \text{ cmolc.dm}^{-3}$  de  $\text{Ca}^{2+}$  e, ou,  $> 0,5 \text{ cmolc dm}^{-3}$  de  $\text{Al}^{3+}$  e, ou,  $> 30\%$  de saturação por  $\text{Al}^{3+}$  (ALVAREZ et al., 1999).

Define-se pela fórmula  $m (\%) = 100 \times \text{Al}^{3+} / t$  que o índice de saturação por alumínio deve ser superior a 40%, sendo que o cálcio deve exibir índices abaixo de  $0,4 \text{ cmolc.dm}^{-3}$  (RAIJ, 2007). Ainda Raij (2008) infere que se o cálcio determinar um valor menor que  $0,4 \text{ cmolc.dm}^{-3}$  e a saturação por alumínio apresentar teor maior que 50% o solo necessita de gesso. Ao passo que, na visão de Korndörfer (2008) é recomendável o uso do gesso em solos que apresentem uma saturação por alumínio superior a 20% e um teor de cálcio inferior a  $0,5 \text{ cmolc.dm}^{-3}$ . Malavolta (1992) recomenda que o gesso seja aplicado quando constatar menos de 40% de cálcio na CTC efetiva ou a saturação por alumínio for maior que 20%.

Enfatiza-se, que a recomendação de gesso envolve muitos fatores, tais como textura do solo, fósforo remanescente, necessidade de calagem e teor de argila. Todavia, não foi estabelecido ainda um padrão para a recomendação de gessagem, sendo este um campo que carece de muitas pesquisas (CARVALHO, 2008).

Contudo, um dos fatores que, atualmente, demandam do agricultor um maior investimento financeiro é a utilização de insumos, como os fertilizantes (GUARESCHI et al., 2008). Deste modo, o manejo adequado da fertilidade do solo, abrangendo a correção da acidez e a adubação, é fator decisivo da produtividade na cultura da soja (BERNARDI et al., 2009).

## 2.2 SOJA: UMA CULTURA MILENAR

Segundo Mundstocke Thomas (2005) a soja (*Glycine max L.*) é uma espécie pertencente à família das Fabaceae, originária da Ásia, a qual foi adaptada com o objetivo de inserir o grão na alimentação humana. Vale destacar, que a soja é um grão de consumo milenar.

Na Ásia oriental se consome soja (*Glycine max L.*) há mais de 2000 anos, nas mais distintas formas, como por exemplo: nimame (soja integral cozida), edaname (soja verde e

fresca), extrato hidrossolúvel de soja, tofu, kori-tofu (tofu desidratado a frio), abura-age (tofu frito), sufu ou tofu-yo (tofu fermentado), molho de soja ou shoyu, missô, natto e tempeh (FUKUSHIMA; HASHIMOTO, 1980). Assim, nos países orientais, estes produtos são importantes fontes de proteínas na dieta da população.

Nos países ocidentais, como o Brasil, a soja começou a ser cultivada somente no final do século XIX (BRANDÃO; REZENDE; MARQUES, 2006) e, a partir da década de 60, passou a despertar a interesse como fonte de proteínas de alta qualidade (FUKUSHIMA, 2001).

Deste modo, considerando a grande produção de soja no Brasil, bem como seu alto valor nutricional, o consumo do grão constitui uma alternativa viável para auxiliar na minimização da desnutrição, uma vez que são fontes protéicas e nutritivas, econômicas e disponíveis no mercado (PEREIRA; OLIVEIRA, 2004).

Além disso, o aumento do consumo mundial de produtos cárneos, os quais, normalmente, utilizam a farinha de soja em sua composição, é outro fator importante, o qual influi na crescente demanda por soja. De modo consoante, reforça-se que na alimentação humana a soja está presente em vários produtos embutidos, chocolates, temperos para saladas, entre outros. Na formulação dos embutidos, exploram-se suas propriedades funcionais de reter líquido e emulsionar, como por exemplo, a proteína texturizada de soja, a qual apresenta um custo de aproximado de 13% do custo da carne industrial, além de aumentar o teor protéico e diminuir o teor de gordura (EMBRAPA, 2007).

Pode-se inferir, que a industrialização da soja no Brasil data a década de 50, nos estados da região Sul e em São Paulo, em pequenas empresas as quais dedicavam-se à moagem de outras oleaginosas (SANTOS; FERRARI, 2005). Desde então, numerosos produtos à base de soja são produzidos e comercializados no Brasil e no mundo. Atualmente o grão é utilizado tanto na alimentação humana, como também na produção de ração animal, e produção do biodiesel.

### **2.2.1 Importância e produção da cultura da soja**

A região Oeste do Paraná possui intensa atividade agrícola, na qual a cultura da soja representa importância fundamental no contexto socioeconômico não só do Paraná, como do Brasil, sendo assim conhecida como o “ouro verde”. Assim sendo, é reconhecido o papel da cultura na soja no aumento de renda dos agricultores, bem como para aquecer economia nos locais onde é cultivada.

A soja, é uma das culturas que mais produz grão no mundo, é plantada de norte a sul do Brasil, praticamente em todo o território nacional (REZENDE et. al., 2009), além de que apresenta em algumas regiões brasileiras, como o Oeste do Paraná, médias de produtividade superiores às obtidas pela soja norte-americana. Segundo a Conab (2015) o Paraná é o segundo maior produtor de soja do país. Em 2014 a produção paranaense foi de 14,78 milhões de toneladas de grãos, com produtividade média de 3.324 kg ha<sup>-1</sup> Conab (2015).

Vale citar que, a produção de soja contribui expressivamente para o desenvolvimento da região sul, sudeste e centro-oeste do Brasil, e também representa uma importante alternativa para o desenvolvimento dos cerrados na região nordeste, situados no Oeste da Bahia, e sul do Piauí e Maranhão (SIQUEIRA, 2004).

O Brasil vivenciou vigorosa expansão de área plantada, rompendo com um padrão de crescimento agrícola, a qual manteve-se praticamente estável durante a década de 1990. No caso da soja, isto é evidente, uma vez que registrou-se um aumento na taxa média anual de crescimento da área plantada de 3,6 %, no período 1990/1991-2000/2001, para 13,8%, entre 2000/2001 e 2003/2004 (BRANDÃO; REZENDE; MARQUES, 2006).

De acordo com Siqueira (2004) o Brasil, após os Estados Unidos, configura-se como o segundo maior produtor mundial do grão, assim até o ano de 2004 era o maior exportador de soja utilizando somente metade da área agrícola destinada a esta cultura. Em 2004, as vendas brasileiras do complexo de soja, o qual abrange os segmentos de grãos, farelo e óleo, atingiram US\$ 10 bilhões contra US\$ 8,1 bilhões do ano anterior, que por sua vez correspondeu a aproximadamente 10% do total das exportações (CNA, 2005).

No que tange ao cultivo de soja, de acordo com a Embrapa, as condições térmicas ideais para a produção ficam em torno de 20 °C a 30 °C, entretanto, para desenvolvimento rápido e uniforme de plântulas, é importante que se mantenham temperaturas próximas a 25°C (EMBRAPA, 2009; EMBRAPA, 2011).

Em relação aos grupos de maturação da soja no Paraná, podem ser divididos em: precoce (até 115 dias), semi-precoce (116-125 dias), médio (126-137 dias) e semi-tardio (138-145 dias) (EMBRAPA, 2003).

Devido às suas características de produção, essa espécie é muito exigente em todos os macronutrientes. Para que o seu ciclo de vida se complete de maneira adequada, aproximando-se de seu potencial de produção, estes nutrientes devem estar disponíveis em quantidades suficientes e equilibradas no solo. Para atingir esse equilíbrio, são necessárias práticas de adubação e calagem de acordo com análise do solo e todas as operações complementares (SFREDO, 2008).

Além disso, alguns autores observam na cultura soja efeito favorável da aplicação do gesso, sobretudo, no aumento dos teores foliares de enxofre (GELAIN et al., 2011) em decorrência do gesso ser excelente fonte deste elemento (SORATTO; CRUSCIOL, 2008) e na produção de grãos (BROCH et al., 2011), especialmente, por desempenhar funções fundamentais na nutrição da cultura, como componente de aminoácidos essenciais (cistina e metionina) e de várias coenzimas, sendo que sua carência cessa a síntese de proteínas (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Todavia, outros estudos inferem que não foi observada resposta da cultura da soja à aplicação do gesso (CAIRES et al., 1999, 2003, 2006; NOGUEIRA; MELO, 2003, QUAGGIO et al., 1993). Mesmo assim, o uso de gesso pode ocasionar melhoria na qualidade da soja por meio de aumento nas concentrações de proteínas e de P, K, Ca e S no grão da soja (CAIRES et al., 2006).

### **2.2.2 Água para a cultura da soja**

Embora o amplo conhecimento sobre a cultura da soja, o que resulta em alto nível de tecnificação das lavouras, no sul do Brasil a disponibilidade hídrica durante o estágio de crescimento da soja é considerada a principal limitação à expressão do potencial de rendimento da cultura, bem como a maior causa da variabilidade na produção de grãos observados de um ano para outro (FARIAS; NEPOMUCENO; NEUMAIER, 2007).

A água atua em todas as etapas fisiológicas e bioquímicas da soja, e na manutenção e preservação de suas funções vitais, sendo que constitui cerca de 90% do peso da planta. O seu movimento na planta é resultante de gradiente potencial que contribui para a translocação dos solutos absorvidos ou sintetizados pela raiz, dos compostos transportados e distribuídos por toda a planta. Além disso, tem papel relevante na regulação térmica da planta, agindo no resfriamento e manutenção e distribuição de calor (AWAD e CASTRO, 1992; FLOSS, 2004; TAIZ e ZEIGER, 2004; EMBRAPA, 2009; ARAUJO, 2010).

A disponibilidade hídrica para as plantas varia conforme a região, a distribuição das chuvas e a época do ano. Na região Oeste do estado do Paraná não há uma estação seca bem definida, e na estação da primavera-verão é que se concentram mais as chuvas (CAVIGLIONE et al., 2000; PERREIRA et al., 2008).

A precipitação é um dos elementos do clima que mais interfere na disponibilidade de água e na produtividade, principalmente em dois períodos de desenvolvimento da soja: germinação-emergência e floração-enchimento (FARIAS, 2006). Durante o primeiro período

tanto a falta de água como o excesso são prejudiciais para o desenvolvimento e estabelecimento da cultura, e também para uma uniformidade da população de plantas, sendo que o excesso hídrico é ainda mais limitante em comparação ao *déficit* (FARIAS; NEPOMUCENO; NEUMAIER, 2007).

A germinação ótima da soja ocorre quando a semente absorve pelo menos 50% de sua massa em água. Nessa fase inicial é importante que o conteúdo de água no solo não exceda 85% do total máximo disponível e não seja inferior a 50%, (EMBRAPA, 2009).

A necessidade por água na cultura da soja aumenta no decorrer do seu desenvolvimento até atingir a exigência máxima durante fase de floração-enchimento de grãos, a qual fica em torno de 7 a 8 mm dia<sup>-1</sup>, decrescendo após este período. Geralmente, o consumo mais elevado de água coincide com a fase em que a planta apresenta um maior índice de área foliar e altura. A necessidade de água que a cultura precisa para o seu potencial produtivo está em torno de 450 e 800 mm/ciclo, dependendo da espécie, condições climáticas, manejo da cultura e da duração do seu ciclo (FARIAS; NEPOMUCENO; NEUMAIER, 2007; EMBRAPA, 2011).

Ressalta-se ainda, que o excesso ou a falta de água entre a germinação e o florescimento tornam tardio o desenvolvimento vegetativo e prejudicam a obtenção de uma boa uniformidade na população de plantas. No entanto, a falta de água após o início do florescimento (R1-R2) e no período de frutificação (R3-R5) podem ocasionar alterações fisiológicas na planta, como o fechamento estomático e enrolamento de folhas, promovendo queda prematura de folhas, abortamento de flores e queda de vagens, causando sérios prejuízos com baixa produtividade (CAMARGO, 1984).

Na fase do florescimento (R1-R3) quando há deficiência hídrica o número de vagens é reduzido, ao passo que se a deficiência hídrica ocorrer durante a fase de formação da semente ou enchimento de vagens (R5), resulta-se em quantidades menores de grãos por vagem, o que por sua vez permite considerar a fase mais sensível à carência de água para a cultura da soja (CAMARGO, 1984).

Destaca-se, que na fase de floração e enchimento de grãos ocorre o maior consumo de água pela planta, sendo, portanto, os pontos mais críticos à deficiência hídrica. Nota-se também que no estudo das exigências bioclimáticas da soja, durante várias fases do desenvolvimento da cultura, as necessidades hídricas durante a fase de crescimento vegetativo que são menos importantes do que as fases de florescimento e frutificação, além de que é fundamental a observação das necessidades energéticas das plantas, a precipitação influenciam diretamente no rendimento da soja no período .

Segundo KUSS (2006) dentre todos os fatores que influenciam o rendimento da soja, são de grande importância a precipitação e a variedade da soja. Estes fatores são influenciados diretamente na interação água-cultura de modo a interferir nas relações de transpiração, evapotranspiração e ciclo.

### **2.3 SOJA CULTIVADA NO PLANTIO DIRETO**

Um dos mais significativos avanços da agricultura brasileira foi a introdução da técnica de Sistema Plantio Direto (SPD) a partir do início da década de 1970, no sul do país. De início, a idéia era controlar a erosão hídrica nas áreas agrícolas, principalmente, das grandes culturas energéticas. Porém, o desenvolvimento deste sistema só foi possível devido ao esforço coletivo de agricultores, pesquisadores, fabricantes de semeadoras, e técnicos dispostos a reverter o acelerado processo de degradação do solo e da água existente no país (LOPES et al., 2004).

Segundo Oliveira et al. (2002) em casos de solos com relevo acentuado ou com declividade, o SPD reduz em cerca de 75% as perdas de solo, e em 20% as perdas de água em relação às áreas onde há revolvimento do solo. Além disso, cita-se que o SPD está entre os sistemas conservacionistas mais eficientes para a maioria dos solos agrícolas, em especial para culturas de ciclo curto, o qual possibilita, acima de tudo, elevar o estoque de matéria orgânica no solo e melhorar a sua qualidade (BAYER; MIELNICZUK; MARTIN-NETO, 2000; MACHADO; FREITAS, 2004).

Amado et al. (2007) evidenciam que o sistema plantio direto é uma das estratégias mais apropriadas para a melhorar a qualidade e a capacidade produtiva do solo agrícola. Entretanto, Secco et al. (2004), afirmam que no SPD o sucessivo tráfego de máquinas e implementos agrícolas sob condição de elevada umidade do solo, pode induzir o solo a atingir elevados estados de compactação, especialmente em solos de textura mais argilosas com pouca palha na superfície.

Para Brito e Almeida (2011), o sistema plantio direto segue a lógica das florestas. Assim, como o material orgânico caído das árvores se transforma em rico adubo natural, a palha decomposta de safras anteriores, assim como macro e micro-organismos transformam-se no “alimento” do solo. As vantagens desse ciclo são a redução no uso de insumos químicos e o controle dos processos erosivos, uma vez que o escoamento da água na superfície do solo se torna mais lento pela permanente cobertura no solo. É justo frisar que o Brasil é líder

mundial no uso deste sistema, o qual ocupa mais da metade de área plantada no país (BRASIL, 2015).

Nesse contexto, o Sistema Plantio Direto na Palha colabora para que o solo não seja arrastado pelas erosões e armazene mais nutrientes, fertilizantes e corretivos. Pode-se dizer que a quantidade de matéria orgânica triplica, de uma concentração aproximadamente de 1% para acima de 3%. Assim sendo, a viabilidade econômica do sistema se assegura no crescimento, em muitos casos na duplicação, da produção e da produtividade (BRASIL, 2015).

Ademais, Pellegrini (2006) infere que o plantio direto trata-se de um sistema de manejo o qual procura a implantação da cultura com menor revolvimento possível do solo, sem interferir em suas propriedades físicas. Neste sistema a manutenção dos restos culturais na superfície do solo tem como função proteger o solo do impacto das gotas de chuva, do escorrimento superficial e das erosões hídrica e eólica.

Assim sendo, compreende-se que um manejo inadequado do solo gera inúmeras complicações e produz efeitos negativos na estrutura do solo, tais como compactação, aumento da densidade, e restrições ao crescimento e desenvolvimento das plantas (BRITO; ALMEIDA, 2011).

Nesse sentido, discorre-se que o manejo de áreas em Sistema Plantio Direto Tradicional (SPDT) em longo prazo pode acarretar impactos físicos, em decorrência do tráfego de máquinas e dos agentes químicos, e, logo, de ácidos orgânicos, para a complexação de elementos tóxicos, limitando o potencial de aprofundamento do sistema radicular das culturas (RAMPIM et al., 2011). Por isso, a utilização de gesso agrícola apresenta-se como alternativa para melhoria dos atributos físicos do solo, como condicionador nas profundidades do solo e também no próprio desenvolvimento das culturas, em detrimento dos efeitos maléficos da compactação em períodos de estiagem (ZANDONÁ et al., 2015).

#### **2.4 IMPACTO DO SISTEMA PLANTIO DIRETO NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO COM DIFERENTES DOSES DE GESSO AGRÍCOLA.**

A distribuição dos poros na matriz do solo desempenha papel fundamental nas relações entre as fases sólida, líquida e gasosa, determinando a evolução espacial e temporal dos processos que envolvem o movimento da água no solo. Assim sendo, a distribuição dos poros por seus tamanhos condiciona o comportamento físico-hídrico do solo, influenciando a potencialidade agrícola dos solos. Portanto, para conhecimento minucioso da permeabilidade

do solo, dos processos de infiltração e redistribuição, da capacidade de retenção, e da extensão na qual a zona radicular é suprida com ar, a diferenciação da porosidade total de acordo com o tamanho dos poros do solo é essencial. De acordo Costa et al. (2007) outros atributos físicos como densidade do solo e porosidade, poderão ser alterados pela combinação do sistema de manejo e a gessagem agrícola. Ainda Costa et al. (2007) em se tratando de sistema plantio direto, o uso da dose de 2000 kg ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola induziu o aumento da densidade do solo e a redução da porosidade total, o que pode ter ocorrido em função da neutralização parcial de íons alumínio, fato que, pode, nos Latossolos, promover a dispersão de agregados já existentes.

Rosa Júnior et al. (2001) comentaram que o uso gesso agrícola, podem ocasionar mudanças em características físicas do solo, como aumento dos agregados e do grau de flocculação.

De acordo com Tormena et al. (1998), relatam que de maneira semelhante ao ocorrido com a densidade do solo, também não foram observadas diferenças significativas nos valores da porosidade total, macro e microporosidade tanto na camada de 0,0 a 0,2 m quanto na camada de 0,2 a 0,4 m. Estes resultados são reflexos da ausência de respostas na Ds. Não observaram diferenças significativas nos valores da porosidade total (PT), macro e microporosidade de Latossolo Vermelho Escuro argiloso submetido a diferentes doses de gesso.

#### **2.4.1 Porosidade do solo**

As partículas sólidas do solo são distribuídas em arranjos por vários tipos de agregados, formando assim a estrutura do solo com diversos espaços vazios que denominam-se poros. Segundo Curi et al. (1993), a porosidade do solo corresponde ao volume do solo não ocupado por partículas sólidas, que inclui todo o espaço vazio ocupado pela água e ar o solo. O macroporos e microporos são somados pelo volume de espaços vazios total do solo que chamamos de porosidade total.

Entre as partículas maiores, como as areias ou os agregados, encontram-se os poros maiores (macroporos), já entre as argilas, partículas pequenas, predominam os poros menores (microporos) (VIEIRA et al., 1988).

Para Reinert e Reichert (2006), a porosidade é responsável por um conjunto de fenômenos e desenvolve uma série de mecanismos de importância na física de solos, tais como a retenção e fluxo de água e ar. Segundo Lima e Lima (1996), os macroporos são responsáveis pelos movimentos de água, aeração e penetração de raízes no solo, e os microporos pela retenção de água no solo.

Estudos envolvendo a taxa de infiltração de água no solo são de grande relevância, pois podem contribuir para evitar problemas como escoamento superficial e ocorrência da erosão no solo. Conforme Milani (2005) a variabilidade espacial da infiltração de água em uma mesma área apresentou valores de infiltração variando de 48 a 396 mm h<sup>-1</sup> em um Latossolo argiloso, a qual, normalmente, em condições normais é elevada, mas pode ser reduzida quando as camadas encontram-se compactadas, com redução de macroporos.

Veiga (2005) *apud* JESUS (2006) explica que a porosidade e a sua relação entre macroporosidade e microporosidade são fatores importantes para conhecer e avaliar a estrutura do solo. Ainda comenta que a microporosidade está relacionada com o armazenamento de água no solo, o qual influencia o desenvolvimento das plantas, especialmente em épocas de falta de água.

Segundo Jimenez et al. (2008) em solo com compactação o volume de macroporos é reduzidos, já os microporos ocorrem em maior quantidade e quando há maior densidade. Além disso, o número de macroporos reflete no desenvolvimento das raízes e na absorção de água e nutrientes, sendo que a redução de macroporos induz ao crescimento lateral de raízes, as quais reduzem seu diâmetro para penetrarem nos microporos (BEUTLER; CENTURION, 2003).

Segundo Reichardt (1990), considerando que o solo é um material poroso, pela compressão, a mesma massa sólida pode ocupar um volume reduzido. Tal situação implica em sua estrutura, definindo a quantidade, o tamanho, o formato e a orientação de espaços vazios no solo e, por conseguinte, a relação entre macro e microporos e a continuidade da macroporosidade. Esta transformação pode ser devida à redução da porosidade total e da macroporosidade (RICHARDT et al., 2005) e ao aumento da microporosidade (MACHADO; FAVARETTO, 2006).

Em pesquisa desenvolvida para avaliar possíveis alterações em atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo, após o cultivo de um ano com plantas de cobertura, Santos et al. (2009), concluíram que a cobertura vegetal influenciou significativamente os valores da microporosidade, entretanto não afetou nenhum outro atributo estudado (densidade do solo, macroporosidade e porosidade total).

Rosa Júnior. (1994) relatou em seu trabalho que uso do gesso agrícola como condicionador do solo proporcionou menores valores percentuais de argila dispersa em água, gerando aumento na quantidade de agregados estáveis em água maiores do que 1 mm de diâmetro e, conseqüentemente, tornando o solo mais poroso.

#### **2.4.2 Densidade do solo**

A análise da densidade do solo é muito utilizada por fornecer informação sobre o estado de compactação do solo, e por influenciar nas propriedades de infiltração e retenção de água, desenvolvimento das raízes, trocas gasosas e suscetibilidade do solo aos processos erosivos (GUARIZ et al., 2009).

Fator importante a ser observado na camada arável do solo é a elevação da densidade do solo, pois prejudica o crescimento e, conseqüentemente, afeta o desenvolvimento das plantas, ocasionando barreira da resistência à penetração de raízes, alterando a movimentação de água e nutrientes e a difusão de oxigênio e outros gases, levando ao acúmulo de gás carbônico na área radicular (MAPFUMO et al., 1998; ISHAQ et al., 2001).

Segundo Camargo e Alleoni (1997) a natureza interfere na dimensão das partículas e a forma como se acham dispostas nos agregados dos solos. A densidade do solo está diretamente ligada ao espaço poroso, portanto, solos com maior porosidade têm menor densidade, e dessa maneira, todos os fatores que interferem no espaço poroso irão surtir efeito na densidade do solo (MACHADO; FAVARETTO, 2006).

BORGES et al. (1997) observaram que redução na Densidade do solo de um Latossolo Vermelho aplicando na superfície do solo de até 9,75 t ha<sup>-1</sup> de gesso sobre 15 t ha<sup>-1</sup> de resíduos vegetais da cultura da crotalária. Contudo, neste último trabalho consideraram o efeito da matéria orgânica na diminuição da densidade do solo.

Segundo ROSA JÚNIOR et al. (2006) o aumento densidade do solo ocorreu provavelmente por menor revolvimento do solo, associado ao tráfego de máquinas próprios do SPD promove, ao longo do tempo, uma maior justaposição dos agregados do solo, tornando-o mais denso. Neste contexto, considerou-se umidade ótima do solo para o estabelecimento do momento ideal de implementos e máquinas agrícolas.

### 2.4.3 Condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_{sat}$ )

Solos com uma textura grosseira geralmente mostrarão intervalos de  $K_{sat}$  mais elevados que os solos de textura fina (Ward; Robison, 1990). A condutividade hidráulica saturada apresenta uma distribuição do tipo log-normal, que são atribuídas em diferentes tamanhos de poros do meio (BUCHTERET al.,1991). A condutividade hidráulica apresenta elevada variabilidade espacial por o próprio solo ter uma grande heterogeneidade (VIEIRA et al.,1983 e MECKE et al., 2000).

A condutividade hidráulica é uma das propriedades do solo que oportuniza conhecer as diferenças estruturais nas diversas camadas que constituem o perfil (CORSINI, 1974). Em um perfil do solo ela varia de horizonte para horizonte, e dentro de cada horizonte, varia em função da umidade e do estado estrutural. De acordo com Oliveira et al. (2003), sua grandeza depende da distribuição, da superfície específica, forma e tortuosidade dos poros e da porosidade total.

A  $K_{sat}$  é determinada pela continuidade e geometria dos poros preenchidos por água, tornando-se dependente, portanto da forma, arranjo, quantidade e continuidade dos poros no solo, tendo uma relação direta com a capacidade de transporte de solutos e substâncias químicas (MESQUITA; MORAES 2004).

Portanto, qualquer fator que exerça influência sobre o tamanho e a configuração dos poros do solo, exercerá também influência sobre a condutividade hidráulica, sendo os macroporos responsáveis pela maior parte da movimentação da água no solo (Brady, 1983).

Informações de pesquisas demonstram que o processo de compactação do solo diminui a porosidade total, aumenta a densidade do solo, e, simultaneamente, diminui a condutividade hidráulica (HOUSE et al., 2001; NAKANO; MIYAZAKI, 2005; REICHERT et al., 2007), quando o solo é compactado por maquinário e implementos agrícolas.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Descrição do solo, clima e relevo da área em estudo

O experimento foi desenvolvido em um Latossolo Vermelho Distroférico típico, textura argilosa a muito argilosa, substrato basalto, relevo suave-ondulado (EMBRAPA, 2013), cultivado sob sistema de plantio direto (SPD) há mais de dezoito anos. A área localiza-se no município de Santa Tereza do Oeste, no Estado do Paraná, especificamente, na Rodovia PR 163, km 188. Na Tabela 1 encontram-se a caracterização textural do solo da área experimental de acordo norma da Embrapa.

Tabela 1. Caracterização textural da área experimental em estudo

<b>Profundidade</b>	<b>Areia (%)</b>	<b>Silte (%)</b>	<b>Argila (%)</b>	<b>Classe textural</b>
<b>0,0 - 0,1 m</b>	4,10	37,40	58,50	Argilosa
<b>0,1 - 0,2 m</b>	2,78	38,22	58,90	
<b>0,2 - 0,3 m</b>	2,20	38,50	59,30	

Situado no terceiro planalto paranaense, a área localiza-se geograficamente na latitude 25,08' (S) e longitude 53°58' (W), com altitude média de 750 m acima do nível do mar (GOOGLE EARTH, 2015). A Figura 1 apresenta imagem da área experimental com a soja implantada.



Figura 1. Área do experimento com soja.

A característica climática da região, segundo classificação de Köppen, é o mesotérmico subtropical úmido, Cfa, com média no mês mais quente superior a 22 °C e no mês mais frio inferior a 18 °C, sem estação de seca definida, verão quente e geadas menos frequentes. As chuvas são abundantes e bem distribuídas ao longo de todo o ano, com médias anuais entre 1.800 a 2.000 mm e umidade relativa do ar entre 75% a 80% (IAPAR, 2000).

As determinações químicas do solo para o ano de 2015 são apresentadas na Tabela 2. Para a observação destas, foram coletadas sete amostras por hectare logo após a cultura da soja.

A Tabela 2 apresenta teores de Al, Ca, Mg, K, saturação por bases (V) e por alumínio (m) em função da produtividade do solo da área experimental com a cultura da soja na implantação.

Tabela 2. Teores de Al, Ca, Mg, K, saturação por bases (V) e por alumínio (m) em função da profundidade do solo 2015

Profundidade m	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	V	m
	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				%	
0,0 - 0,1	0,68	4,20	1,03	0,25	36,09	11,21
0,1 - 0,2	1,20	3,09	0,92	0,22	28,31	23,36
0,2 - 0,4	1,33	2,14	0,91	0,19	23,28	30,62
0,4 - 0,6	1,03	1,97	0,99	0,18	25,48	25,53
0,6 - 0,8	0,36	1,82	1,30	0,19	33,83	9,37

### 3.2 Histórico da área em estudo e descrição dos tratamentos

Inicialmente a área vinha sendo cultivada sob sistema plantio direto com cobertura de inverno e primavera, posteriormente, aplicou-se o gesso na superfície do solo (dezembro de 2013), o ano seguinte milho safrinha (fevereiro de 2014), em sequência o feijão (outubro de 2014), milho safrinha (fevereiro de 2015) e, por fim a soja (outubro de 2015) quando foi instalado o experimento (Tabela 3).

Tabela 3. Histórico de safra dos últimos 3 anos da área experimental

Safras	Cultura de Verão
<b>Dezembro 2013</b>	Milho safrinha
<b>Fevereiro 2014</b>	Milho safrinha
<b>Outubro 2014</b>	Feijão
<b>Fevereiro 2015</b>	Milho safrinha
<b>Outubro 2015</b>	Soja

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com 30 parcelas. As parcelas (5 x 6 m) receberam os tratamentos que constaram nas combinações de cinco doses de gessos distribuídos em seis blocos (0, 3, 6, 9, 12 t ha<sup>-1</sup>), conforme Tabela 3. As doses de gesso agrícola foram baseadas na dose recomendada oficialmente. Segundo a Embrapa (2005) recomenda a aplicação D.G. (kg h<sup>-1</sup>) = 5 x g kg<sup>-1</sup>, ou seja, 50 kg de gesso agrícola para cada 1

% de argila do solo. No experimento a dose padrão recomendada (baseado na recomendação da Embrapa, 2005) foi de 3 t ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola (60 % de argila x 50 kg = 3,0 t ha<sup>-1</sup>). A partir do valor de 3,0 t ha<sup>-1</sup> definiram-se as demais doses de gesso: zero uma vez, duas vezes, três vezes e quatro vezes a dose recomendada, sendo que aplicação foi realizada a lanço de forma manual individual.

A cultivar escolhida para o experimento foi a BMX Apolo, tratada com TS inseticida Cruieser 350 FS 200 mL 100 kg<sup>-1</sup> sementes, e fungicidas Vitavax-Thiram 300 ml 100 kg<sup>-1</sup> sementes. A semeadura da soja ocorreu em 05 de outubro de 2015, com uso de semeadora da marca Kuhn PDM PG 900, rodados articulados, linhas de plantio pantográficas, distribuição de sementes, discos alveolados, distribuição de adubo por rosca sem fim, sucador da semente com Discos Duplos Defasados, limitadores e compactadores em “V” e sistema hidráulico com cilindro de dupla ação e adubos (9 linhas com 45 cm entre plantas). A emergência da soja ocorreu no dia 16 de outubro de 2015.

### 3.3 AVALIAÇÕES CLIMATOLÓGICAS

Os dados sobre a precipitação pluviométrica, temperatura e evapotranspiração da cultura dos meses referentes aos estádios vegetativos e reprodutivos da soja, no período de outubro de 2015 a fevereiro de 2016, média mensal para a região Oeste do Paraná são apresentados na Figura 2.

Para a cultura da soja a disponibilidade de água no solo é um dos fatores que afeta a sua produtividade. Tanto o déficit hídrico como o excesso prejudica o crescimento e desenvolvimento da cultura.

Farias, Neumaier e Nepomuceno (2013) ressaltam que as regiões ideais para implantar a soja precisam apresentar distribuição de precipitações pluviais em torno (de 500 mm a 700 mm) durante o ciclo vegetativo. Porém, o efeito do déficit hídrico sobre a produtividade da cultivar depende da intensidade e duração da precipitação, do estágio de desenvolvimento da planta e da interação com outros fatores determinantes da produtividade.

Percebe-se que em todos os meses do ciclo vegetativo e reprodutivo da soja choveu na estação experimental do IAPAR com aproximadamente 1.118 mm durante o ciclo da cultura. A precipitação pluviométrica para o estágio reprodutivo foi favorável para o sucesso da cultura.

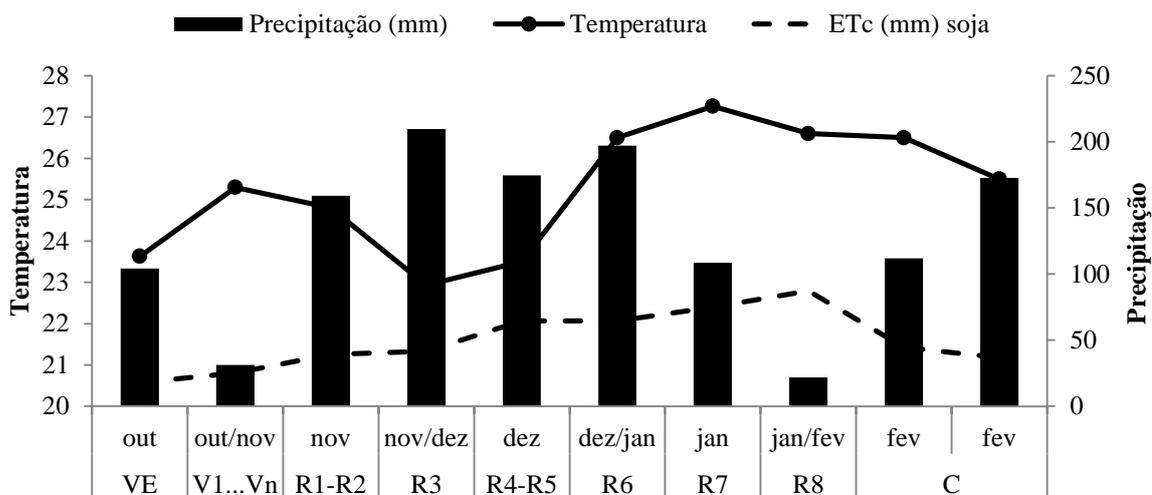


Figura 2. Precipitação pluviométrica, temperatura média e evapotranspiração (ETc) da cultura no ciclo vegetativo da soja ano de outubro de 2015 a fevereiro de 2016 na região Oeste - PR.

Observou-se que no estágio inicial a cultura da soja obteve índice pluviométrico de 123.5 mm que foi compensado para o estabelecimento da cultura e sua boa uniformidade na população de plantas. Assim, sendo o volume ideal para atender as necessidades da cultura durante toda a fase vegetativa.

Constatou que a água é importante durante os dois estádios de desenvolvimento, no primeiro período de crescimento e no segundo período reprodutivo de floração e enchimento de grãos (FARIAS; NEUMAIER; NEPOMUCENO, 2013).

Durante estágio de desenvolvimento reprodutivo da soja que inicia na floração estágio R1 até o enchimento de grãos estágio R5 constatou que a distribuição de chuva obteve um índice pluviométrico de (543,4 mm) em um período de 45 dias que dá uma média de 12 mm/dia. Entretanto, o manejo adequado plantio direto e boa estrutura do solo favorecem o melhor aprofundamento do sistema radicular e contribui para incrementar o armazenamento de água no solo e, conseqüentemente a sua capacidade de armazenamento de água disponível no solo, contribuindo para boa produtividade.

Durante todo o ciclo observou-se que a temperatura média foi de 22,61 °C. Embora não tenha chovido todos os dias. Mas foi compensado com a distribuição pluviométrica durante o ciclo sendo atendidas as exigências com uma boa uniformidade de água na população de plantas.

Os valores da evapotranspiração variam com o estágio da cultura basicamente com índice de área foliar e aumento de temperatura. Observa-se que de acordo com a Figura 2.

Observaram-se por Farias, Neumaier e Nepomuceno (2013) que os valores da evapotranspiração variam com o estágio da cultura basicamente com estágio fenológico e aumento de temperatura.

### 3.4 AVALIAÇÕES E DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS

O controle de plantas daninhas, pragas e doenças foram realizadas de acordo com a necessidade da cultura.

No período de agosto de 2015 a área permaneceu em pousio para coleta das amostras físicas do solo. Para as análises de densidade do solo, microporosidade do solo, macroporosidade do solo, porosidade total e condutividade hidráulica do solo saturado, foram abertas trincheiras em cada unidade experimental e coletadas amostras indeformadas em anéis volumétricos de aço inox com volume de 98 cm<sup>3</sup> (5 cm de diâmetro e 5 cm de altura), em três camadas do solo (0,0 - 0,1; 0,1 - 0,2 e 0,2 - 0,3 m), com auxílio de martelo pedológico e extrator de solo.

Na sequência, as amostras foram colocadas em latas de alumínio e transportadas para o Laboratório de Física do Solo (LAFIS) da Universidade Estadual do Oeste do Paraná *Campus* de Cascavel.

O volume de solo nas amostras foi devidamente ajustado e estas foram saturadas em água por 24 horas em bandeja com lâmina de água a 2/3 de sua altura. As amostras saturadas foram pesadas e alocadas em coluna de areia a 0,6 m.c.a na qual permaneceram por 4 dias drenando assim a água contida nos macroporos (REINERT; REICHERT, 2006).

Em seguida foi determinado a condutividade hidráulica do solo saturado (K<sub>sat</sub>) em permeâmetro de carga constante. Primeiramente as amostras foram saturadas novamente por 24 horas. Posteriormente esta amostra foi alocada no permeâmetro de carga constante para que pudesse fazer as leituras do volume coletado em função do tempo, posteriormente foi calculada a condutividade hidráulica do solo, conforme metodologia preconizada por EMBRAPA, 1997.

Posterior a determinação da K<sub>sat</sub>, as amostras foram alocadas em estufa a 105 °C por 48 horas para determinação da massa de solo seco. Para calcular a densidade do solo, dividiu-se a massa das amostras secas a 105 °C pelo volume do anel volumétrico, conforme equação:  $D_s = M_{ss}/V_t$ , onde o  $D_s$  é a densidade do solo e o  $M_{ss}$  é a massa da amostra de solo seco a 105 °C e  $V_t$  é o volume total do anel.

O cálculo da porosidade total do solo foi obtido através da relação existente entre a densidade do solo e a densidade de partículas, conforme equação:  $Pt = (1 - Ds)/Dp * 100$  onde o Pt é a porosidade total que é medido em ( $m^3 m^{-3}$ ) e o Ds é a densidade do solo medido em ( $Mg m^{-3}$ ) e a Dp é a densidade de partículas medido em ( $Mg m^{-3}$ ).

A microporosidade foi determinada utilizando o teor de água retida nas amostras em equilíbrio com a tensão de 0,6 m.c.a, considerando que essa tensão é suficiente para retirar toda a água contida nos macroporos, sendo que a água restante representa o volume de microporos, obtida pela equação:  $Micro = (Msu - Mss)/Mss * 100$ , Micro = Microporosidade do solo ( $m^3 m^{-3}$ ); Msu ou Pa 0,6 m.c.a = massa de solo após a tensão de 0,6 m.c.a (Mg); mss = massa de solo seco (Mg).

Assim, conhecendo a porosidade total e a microporosidade foi possível calcular a macroporosidade (CAMARGO et al., 2009), de acordo com a equação:  $Macro = Pt - Micro$ ; Macro = macroporosidade do solo ( $m^3 m^{-3}$ ); Pt = porosidade total ( $m^3 m^{-3}$ ); Micro = microporosidade do solo ( $m^3 m^{-3}$ ).

Para o cálculo da evapotranspiração da cultura da soja foi usado o método de Thornthwaite, com temperatura efetiva, adaptado por Camargo et al. (1999). Este método pode ser empregado para qualquer condição climática. Para tanto, utiliza-se temperatura efetiva (Tef), que expressa a amplitude térmica local, ao invés da temperatura média do ar. Há necessidade de calcular os dados de Tmax e Tmin. Assim como no método original de Thornthwaite, esse método parte de uma evapotranspiração padrão (ETp), a qual é a evapotranspiração para um mês de 30 dias e com N = 12h que é o fotoperíodo do mês em questão. A formulação do método é a seguinte: o mês que deseja calcular a evapotranspiração utiliza-se a Tmax = °C e Tmin = °C, N = h, NDP = dias, Ta = temperatura média anual.

Para calcular a evapotranspiração da cultura (ETo) precisamos encontrar primeiramente a temperatura efetiva (Tef), para isso é necessário ter a temperatura máxima e mínima do local em estudo, através da equação (1). Em seguida precisamos calcular a média da temperatura anual (Ta) que é a soma da temperatura mínima e máxima dividimos por dois para encontrar o índice térmico anual ou índice de calor anual (I), através da equação (2). Após calculamos o valor da constante que varia de local para local com base latitude local (a), através da equação (3). Após calcula-se a evapotranspiração da cultura (Eto) através da equação (4). Na equação (5) usam-se os dados para determinar a correção do foto período e dias em questão; Assim, multiplicando a equação (5) pela equação (4) teremos o valor da evapotranspiração potencial da cultura através da equação (6). Finalmente calculamos evapotranspiração da cultura (ETc), através da equação (7), em que multiplicamos a equação

(4) pelo  $K_c$  da cultura que é um valor constante. O coeficiente  $K_c$  é um valor determinado em função do estágio de desenvolvimento da cultura da soja tabela (4).

$$T_{ef} = 0,36 (3 * T_{max} - T_{min}) \dots\dots\dots \text{equação (1);}$$

$$I = 12 (0,2 T_a)^{1,514}, \text{ sendo } T_a = \text{temp. média anual normal} \dots\dots\dots \text{equação (2);}$$

$$a = 0,49239 + 1,7912 \cdot 10^{-2} I - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 \dots\dots\dots \text{equação (3);}$$

$a$  = constante que varia de local para local

$I$  = Índice térmico anual ou índice de calor anual.

$$E_{To} = 16 (10 T_{ef}/I)^a \quad (0 \leq T_{ef} < 26,5 \text{ } ^\circ\text{C}) \dots\dots\dots \text{equação (4);}$$

$$COR = N/12 * NDP/30 \dots\dots\dots \text{equação (5);}$$

sendo  $N$  = fotoperíodo do mês em questão

$NDP$  = dias do período em questão

$$ETP = E_{Tp} * COR \text{ (mm/mês)} \dots\dots\dots \text{equação (6);}$$

$$E_{Tc}(\text{mm}) = E_{To} * K_c; \dots\dots\dots \text{equação (7).}$$

Na Tabela 4 encontram-se os coeficiente  $K_c$  em função do estágio de desenvolvimento da cultura da soja.

Tabela 4. Coeficiente  $K_c$  em função do estágio de desenvolvimento da cultura da soja

<b>Estádios de desenvolvimento vegetativo da cultura da soja</b>				
<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>V</b>
<b>0,35</b>	<b>0,75</b>	<b>1,075</b>	<b>0,75</b>	<b>0,45</b>

No estágio I é determinado quando a cultura completa 10% da fase desenvolvimento vegetativo com o valor de  $K_c$  0,35; para o estágio II corresponde a 80% do desenvolvimento vegetativo com o valor de  $K_c$  0,75; no estágio III apresenta a fase do florescimento da cultura com o valor de  $K_c$  1,075; em seguida o estágio IV que é a fase de ponto de maturidade fisiológica com valor de  $K_c$  0,75 e finalmente o estágio V que é a fase de colheita da cultura com  $K_c$  de 0,45. A importância do coeficiente da cultura é saber a razão entre a evapotranspiração máxima ou potencial da cultura ( $E_{Tc}$ ) e a evapotranspiração de referência ( $E_{To}$ ), para determinar modo de racionalizar água de irrigação e estimar o quanto de água são necessário para o desenvolvimento da cultura.

### 3.5 ANÁLISE DO CRESCIMENTO RADICULAR

A princípio, confeccionou-se uma grade de madeira, de 50 cm x 50 cm, com várias linhas de nylon formando pequenos quadradinhos de 5 cm de cada lado, a qual foi utilizada para estimar o tamanho e a área de abrangência da raiz. Para a análise foram abertas trincheiras de 1,0 x 0,6 m de profundidade, em cada tratamento, onde se expôs as raízes de plantas de soja em linhas paralelas por trincheira (Figura 3). As ferramentas utilizadas foram um canivete, trena de 5m, um pulverizador costal de água, e máquina fotográfica. Deste modo, as raízes foram expostas para avaliação, e, com a grade quadriculada alocada na frente da raiz foram realizadas as medições das raízes de soja.



Figura 3. Raiz de soja exposta para avaliação do crescimento em profundidade.

### 3.6 COLHEITA DA SOJA

Para a colheita da soja, realizada em dez de fevereiro de 2016 utilizou-se máquina colhedora de parcelas, com três linhas de 45 cm, da marca *Wintersteiger Classic*<sup>®</sup>. A produtividade foi determinada por área útil foi de 30 m<sup>2</sup> estabelecida em cada parcela amostrando-se as plantas de nove linhas, com média de 17 plantas por metro linear. Os grãos colhidos em campo foram pesados, utilizando uma balança.

Assim, foi possível estimar o rendimento médio por hectare de grãos produzidos por cada parcela no campo experimental do IAPAR. A produtividade dos grãos foi corrigida para 13% de umidade.

### 3.7 ANÁLISES DOS DADOS

Os dados coletados foram tabulados e armazenados em banco de dados com auxílio de Planilha Eletrônica *Microsoft Excel* versão 12.0 - *Office 2007*. Para esta análise estatística utilizou-se o Sistema para Análise de Variância (SISVAR<sup>®</sup>) e ASSISTAT Versão 7.7 beta (2016) análise de regressão nível de significância de 5%.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

Nas figuras 4, 5, 6, 7 e 8 são apresentados os valores médios dos atributos físicos do solo nas camadas de 0,0 - 0,1; 0,1 - 0,2 e 0,2 - 0,3 m nos tratamentos com doses de gesso agrícola.

#### 4.1.1 Densidade do solo

A densidade do solo ( $D_s$ ) é a propriedade que representa o estado de compactação do solo (Figura 4), onde, geralmente, em áreas manejadas sob SPD, os maiores valores ocorrem na camada de 0,1 - 0,2 m, devido pressão impostas pelas máquinas e implementos agrícolas, os quais podem impactar negativamente o crescimento radicular da soja, que permanecendo nas camadas superficiais do solo não alcançam a água nas camadas inferiores do mesmo, prejudicando assim, sua produtividade em caso déficit hídrico.

Rosolem, Almeida e Sacramento, (1994) elucidam que em casos de altas ofertas de água e nutrientes nas camadas superficiais, para a cultura da soja a camada compactada deixa de ser um empecilho para a produtividade.

De acordo com os resultados encontrados na figura 4 a densidade do solo na camada de 0,0 - 0,1 m e 0,2 - 0,3 m não diferiu significativamente, já para a camada de 0,1 a 0,2 m houve diferença significativa.

Os valores calculados de coeficiente de variação para densidade do solo foi de  $cv = 7,52\%$  camada de 0,0 - 0,1 m,  $cv = 7,02\%$  cv camada de 0,1 - 0,2 m e  $cv = 7,07\%$  camada de 0,2- 0,3 m. podemos observar que os valores são homogêneos com esses valores a dispersão está em torno da média.

Destaca-se que a densidade do solo ( $D_s$ ) apresentou valor médio de  $1,02 \text{ Mg m}^{-3}$  (Figura 4). Percebe-se que os tratamentos da camada de 0,0 - 0,1 m e 0,2 - 0,3 m obtiveram resultados próximos da média geral. Para a camada de 0,0 - 0,1 m devido ao maior conteúdo de matéria orgânica, raízes e bioporos, e por apresentar maior revolvimento do solo por sulcadores das semeadoras não forma camada compactada. Já para a camada de 0,1 m - 0,2 m obtiveram aumento significativo em comparação as demais camadas, devido a pressões exercidas pelas máquinas, implementos agrícolas que promovem deformação, compactação e restos de raízes de culturas anteriores também promovem aumento da densidade do solo por

ocuparem e pressionarem nos espaços porosos do solo. Já a camada de 0,2 - 0,3 m não se alteram, pois a pressão dos pneus das máquinas agrícolas não chega até esta camada.

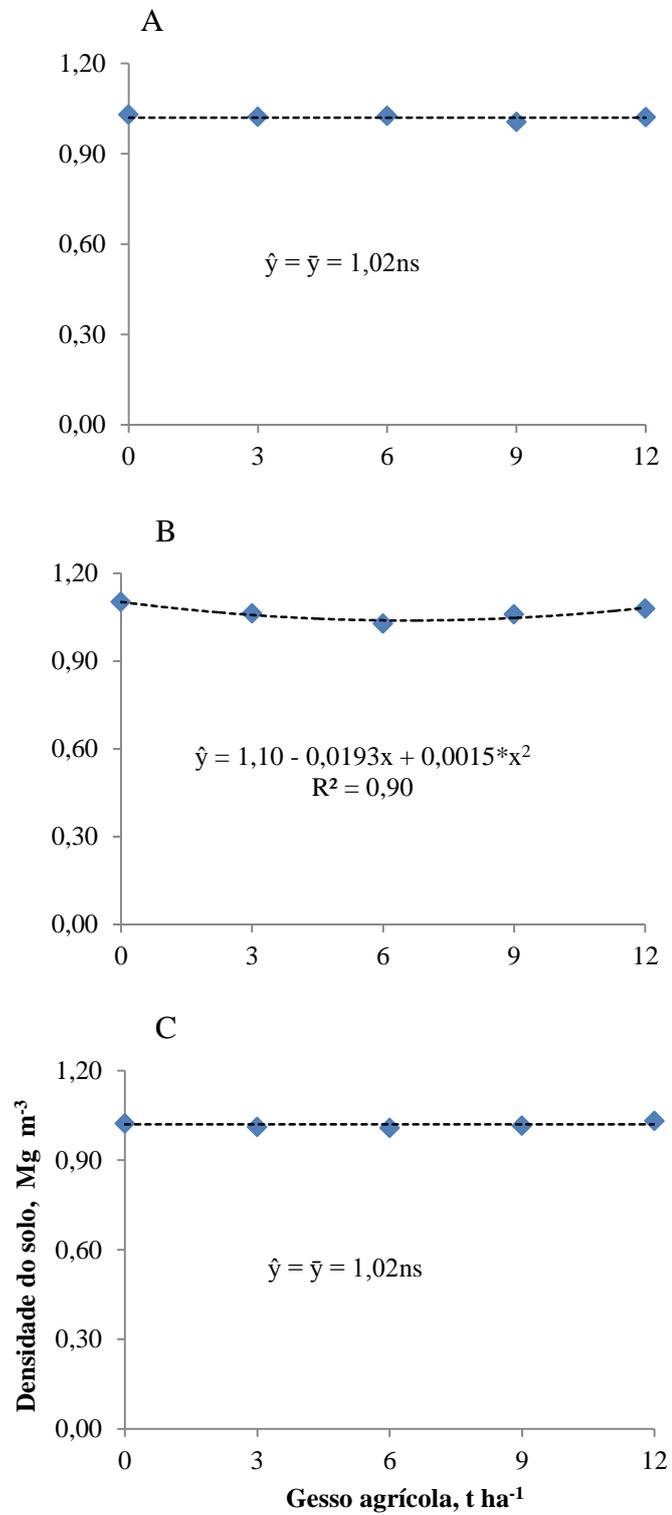


Figura 4. Densidade do solo nas camadas de 0,0 - 0,1 (A), 0,1 - 0,2 (B) e 0,2 - 0,3 m (C) em função das doses de gesso agrícola.

Segundo Reichert, Reinert e Braida (2003) o valor restritivo de densidade para Latossolos com teores de argila maiores que 70% é próximo de  $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$ . Ainda Reichert, Reinert e Braida (2003) em solos argilosos os valores são de 0,9 a  $1,7 \text{ Mg m}^{-3}$ , Segundo os mesmos autores os valores de Ds para solos argilosos de  $1,35 \text{ Mg m}^{-3}$  e para solos arenosos de  $1,55 \text{ Mg m}^{-3}$  indicam que possivelmente há compactação, e por sua vez podem prejudicar o desenvolvimento do sistema radicular da planta.

Neste experimento, o valor obtido para a Ds (Figura, 1) mostrou bem abaixo do considerado crítico por Reichert, Reinert e Braida (2003). Para Cintra e Mielniczuk (1983), que trabalharam também com um Latossolo argiloso, encontraram restrição ao crescimento das raízes da soja com valores de densidade equivalente a  $1,30 \text{ Mg m}^{-3}$ , no que se refere, à variável densidade do solo constatou-se que não houve efeito da aplicação de gesso neste atributo para a camada de 0,0 - 0,1 m, 0,1 - 0,2 m e 0,2 - 0,3 m, mas percebem que os maiores valores de DS do solo nesta camada se deve a deformação dos pneumáticos de maquina e implementos agrícolas.

#### **4.1.2 Porosidade total**

De acordo com os resultados na Figura 5 para a porosidade total do solo na camada de 0,0 - 0,1 m e 0,2 - 0,3 m não diferiu significativamente, já para a camada de 0,1 a 0,2 m a diferença foi significativa.

Pode-se observar que os valores calculados de coeficiente de variação para porosidade total do solo foi de  $cv = 4,38\%$  camada de 0,0 - 0,1 m;  $cv = 5,28\%$  camada de 0,1-0,2 m e  $cv = 4,55\%$  camada de 0,2 - 0,3 m. Percebe-se que o coeficiente foi baixo menor que 10% valor considerado baixo e de alta precisão por Pimentel-Gomes, (1985).

Os resultados para a porosidade total do solo evidenciam que na camada de 0,0 a 0,1 m e 0,2 - 0,3 m do solo, os dados demonstram que os resultados dos tratamentos não apresentaram diferenças significativas pelo teste de regressão na análise de variância, mas apresentou diferença na camada de 0,1 - 0,2 m (Figura 5).

Ao analisar os valores de porosidade total para todas as camadas estudadas a média geral foi de 62,34 %, o que demonstra que são solos com bom estado estrutural devido ao espaço poroso. Além disso, o valor encontrado no experimento está acima de 50%, valor que é considerado ideal para os Latossolos, segundo Lima; Pilon e Lima (2007).

De acordo com Andrade e Stone, (2009) o ideal para um solo com uma boa estrutura para a produção agrícola deve apresentar porosidade total com valor próximo ou entorno de 50%.

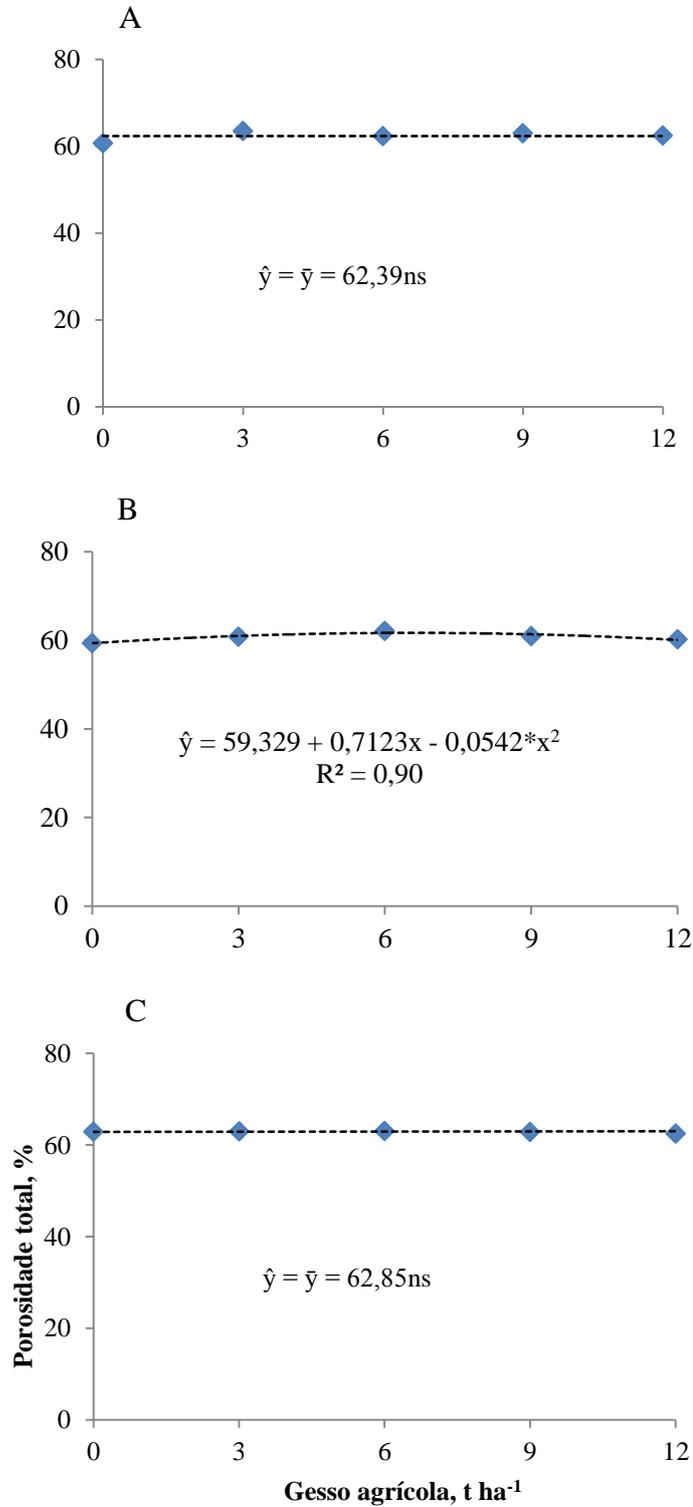


Figura 5. Porosidade total do solo nas camadas de 0,0 - 0,1 (A), 0,1 - 0,2 (B) e 0,2 - 0,3 m (C) em função das doses de gesso agrícola.

### 4.1.3 Macroporosidade

De acordo com os resultados encontrados na Figura 6, para macroporosidade do solo nas camadas de 0,0 - 0,1 m e 0,2 - 0,3 m não houve diferença significativa. Já para a camada de 0,1 a 0,2 m ocorreu diferença significativa.

Os valores calculados de coeficiente de variação para macroporosidade do solo foi de  $cv = 20,73\%$  camada de 0,0 - 0,1 m,  $cv = 21,85\%$  camada de 0,1- 0,2 m e  $cv = 25,12\%$  camada de 0,2 - 0,3 m. Valores entre 15 e 30% apresentam média dispersão.

Macroporos são resultado da disposição dos agregados, da ação da mesofauna e raízes e da expansão e contração da massa do solo. Eles estão relacionados às trocas gasosas de oxigênio e gás carbônico e ao fluxo de água por gravidade: infiltração, drenagem e transporte de solutos (EMBRAPA, 2003).

No presente estudo, observou-se que os valores médios de macroporosidade foram de 16,46% para a camada de 0,0 - 0,1 m e 15,19% para a camada de 0,2 - 0,3 m, valores estes superiores ao considerado crítico ao desenvolvimento das culturas por alguns autores, Vomocil e Flocker (1961), Tormena et al, (1998), Silva, Imhoff e Kay (2004) e Jong Van Lier (2010). Na camada de 0,1 - 0,2 m o valor encontrado foi de 17,79 % e também esta acima do valor considerado crítico.

A macroporosidade do solo tem sua particularidade que é de permitir aeração e água gravitacional, difusão de gases, espaço suficiente para acomodar raízes pelos maiores números de poros e habitat de certos animais do solo.

De acordo com Tormena et al. (1998) o valor considerado crítico para o desenvolvimento dos cultivos agrícolas está em torno de 10% para macroporosidade do solo, Ainda, segundo Vomocil e Flocker (1961) valores de macroporos inferiores a 10% constituem limitação ao crescimento radicular, De acordo com Silva, Imhoff e Kay (2004) e Jong Van Lier (2010) para garantir adequado fluxo de troca gasosa, são necessários no mínimo 10% de macroporos, Desta forma, todos os tratamentos apresentam quantidade adequada de macroporos.

Na concepção de distintos autores 10% de macroporos, normalmente, são o suficiente para suprir a necessidade respiratória do solo, porém quando há compactação o volume de macroporos é substancialmente inferior (KARLEN; ANDREWS; DORAN, 2001).

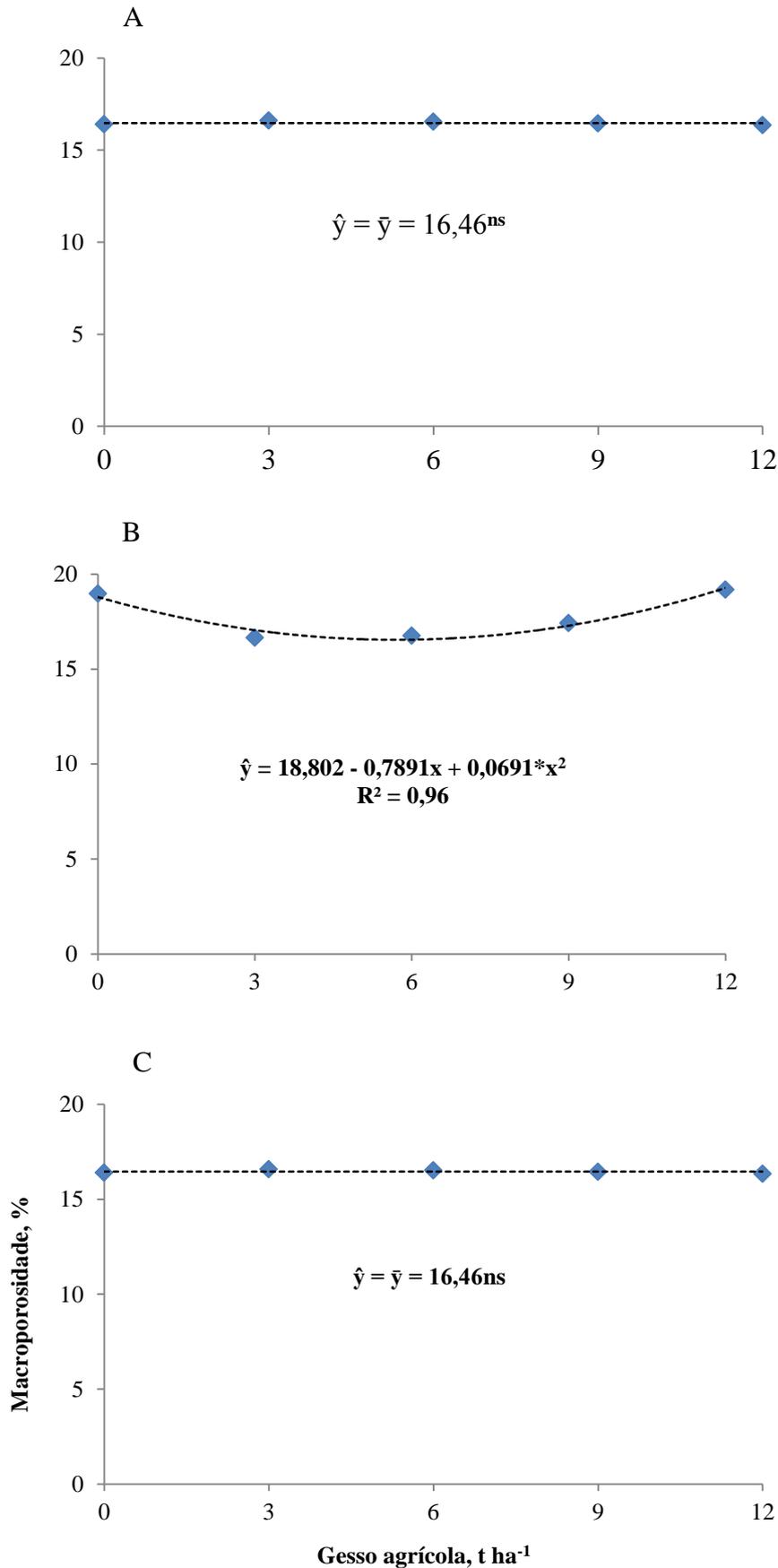


Figura 6. Macroporosidade do solo nas camadas de 0,0 - 0,1 (A), 0,1- 0,2 (B) e 0,2 - 0,3 m (C) em função das doses de gesso agrícola.

#### 4.1.4 Microporosidade

De acordo com os resultados encontrados na Figura 7 a microporosidade do solo nas camadas de 0,0 - 0,1 m e 0,2 - 0,3 m não diferiram significativamente. Já para a camada de 0,1 a 0,2 m houve diferença significativa.

Podemos notar que os valores de  $cv = 16,35\%$  nas camadas de 0,0 - 0,1 m,  $cv = 12,97\%$  nas camadas de 0,1 - 0,2 e para as camadas de 0,2 - 0,3 m, o valor calculado foi de  $cv = 13,41\%$  valores próximos da média, considerado valor médio de dispersão segundo Pimentel-Gomes, (1985).

Os microporos encontram-se intra-agregados e estão relacionados com a retenção de água devido à adesão molecular que prende gases, vapores ou matérias em solução na superfície de corpos sólidos, por adsorção, eles prendem por afinidade molecular a água a maiores tensões e a torna menos disponível para as plantas, os microporos estimulam o desenvolvimento de pêlos absorventes do sistema radicular, a colonização por fungos e bactérias além da difusão de nutrientes. Vale dizer que quanto maior a proporção de micro em relação aos macroporos de um solo, menor é a infiltração de água e pior o arejamento (troca gasosa) (EMBRAPA, 2003).

Com relação à microporosidade os resultados encontrados no experimento evidenciam que na camada de 0,2 - 0,3 m, houve um pequeno aumento em relação às camadas de 0,0 - 0,1 m e 0,1 - 0,2 m e que todas as camadas estudadas os valores para o atributo microporosidade estão próximos da média geral encontrada pela regressão na análise de variância e que não houve significância nas camadas de 0,0 - 0,1 m e 0,2 - 0,3 m. Já para a camada de 0,1 e 0,2 m houve diferença significativa.

Para os volumes de microporosidade (Figura 7), segundo Sanchez (2012), o ideal para as camadas amostradas seria de 40 % e 43 % respectivamente. No presente experimento observou-se o volume de 44,56 % e 47,32 %, valor um pouco acima do encontrado pelo autor que considera o volume ideal dos microporos.

A importância da microporosidade como atributo físico está no fato de este proporcionar o armazenamento e retenção de água por adsorção no solo, Parte desta água armazenada é utilizada pelas plantas para suprir suas necessidades fisiológicas.

Os valores encontrados de macroporosidade e os valores na relação micro/macroporos demonstra em uma boa aeração do solo, o que pode favorecer o desenvolvimento da cultura.

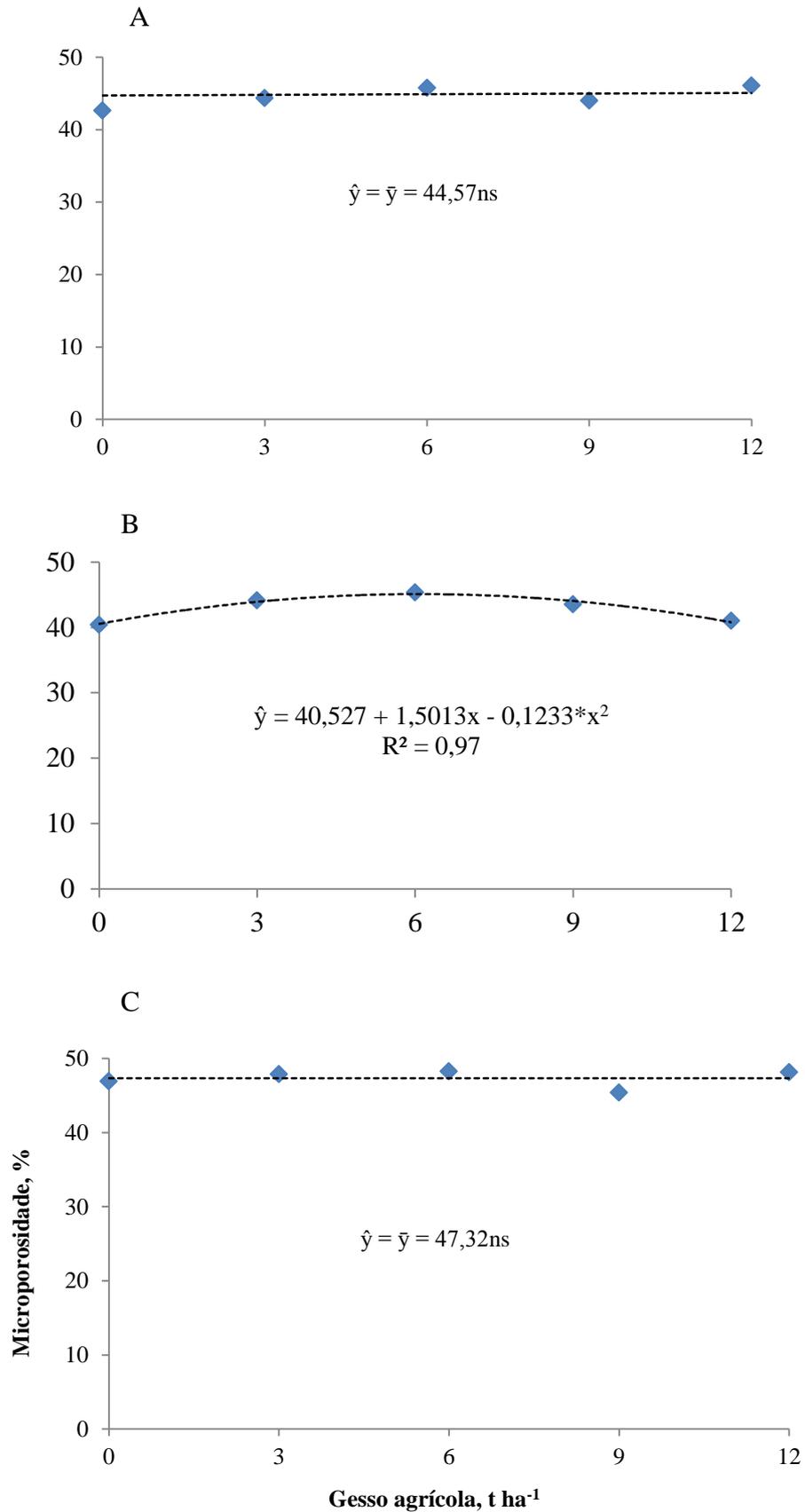


Figura 7. Microporosidade do solo nas camadas de 0,0 - 0,1 (A), 0,1 - 0,2 (B) e 0,2 - 0,3 m (C) em função das doses de gesso agrícola.

#### 4.1.5 Condutividade hidráulica do solo saturado (Ksat)

De acordo com os resultados encontrados na Figura 8 a condutividade hidráulica do solo saturado nas camadas de 0,0 - 0,1 m e 0,2 - 0,3 m não diferiu significativamente. Já para a camada de 0,1 - 0,2 m a diferença foi significativa.

Os valores calculados de coeficiente de variação para condutividade hidráulica do solo foi de  $cv = 67,52\%$  camada de 0,0 - 0,1 m,  $cv = 80,78\%$  camada de 0,1 - 0,2 m e  $cv = 61,20\%$  camada de 0,2 - 0,3 m. Os resultados obtidos para condutividade hidráulica do solo revelam alta dispersão dos dados devido à variação de espaço poroso, e este parâmetro varia bastante de solo para solo e, também, para o mesmo solo em função das variações estruturais.

A condutividade hidráulica saturada do solo (Ksat) devido a sua grande importância para informar sobre a capacidade de transporte de água, solutos e substâncias químicas no solo deve ser bem caracterizada, pois de um modo geral, seu valor é usado nos cálculos de fluxos no solo. Dentre as variáveis que influenciam este fluxo, a condutividade hidráulica do solo (Ksat). Essa variável é um parâmetro que representa a facilidade com que o solo transmite água. O valor máximo de condutividade hidráulica é atingido quando o solo se encontra saturado, e é denominado de condutividade hidráulica saturada, segundo Reichardt (1990).

Há uma possível tendência da condutividade hidráulica do solo (Ksat) aumentar em profundidade (Figura 8). O resultado encontrado no experimento não apresentou diferenças significativas entre as camadas de 0,0 - 0,1 m e 0,2 - 0,3 m, já para a camada de 0,1 - 0,2 m houve diferença significativa.

Observa-se que houve diferença significativa somente para a camada de 0,1 - 0,2 m aplicando regressão na análise de variância. Este maior valor de Ksat está associado ao maior volume de macroporos nesta camada (Figura 6). Cita-se outros autores que ao longo do perfil do solo tende a aumentar a condutividade hidráulica experimentos encontrados resultados semelhantes foram obtidos por Carvalho (2002), num Latossolo Roxo distrófico, e também por Aragão Júnior et al, (1983), em um Podzólico Vermelho-Amarelo.

Para Cadima, Libardi e Klaus Reichardt (1980), em estudo num Latossolo Vermelho Amarelo textura média, salientam que a variabilidade do parâmetro condutividade hidráulica no sentido vertical foi muito pronunciada e reforçam que o uso de valores médios pode trazer erros consideráveis na estimativa de fluxo de água nesse solo. No entanto, esses autores acreditaram que a variabilidade em profundidades maiores deve ser menor por causa da maior homogeneidade das camadas mais profundas.

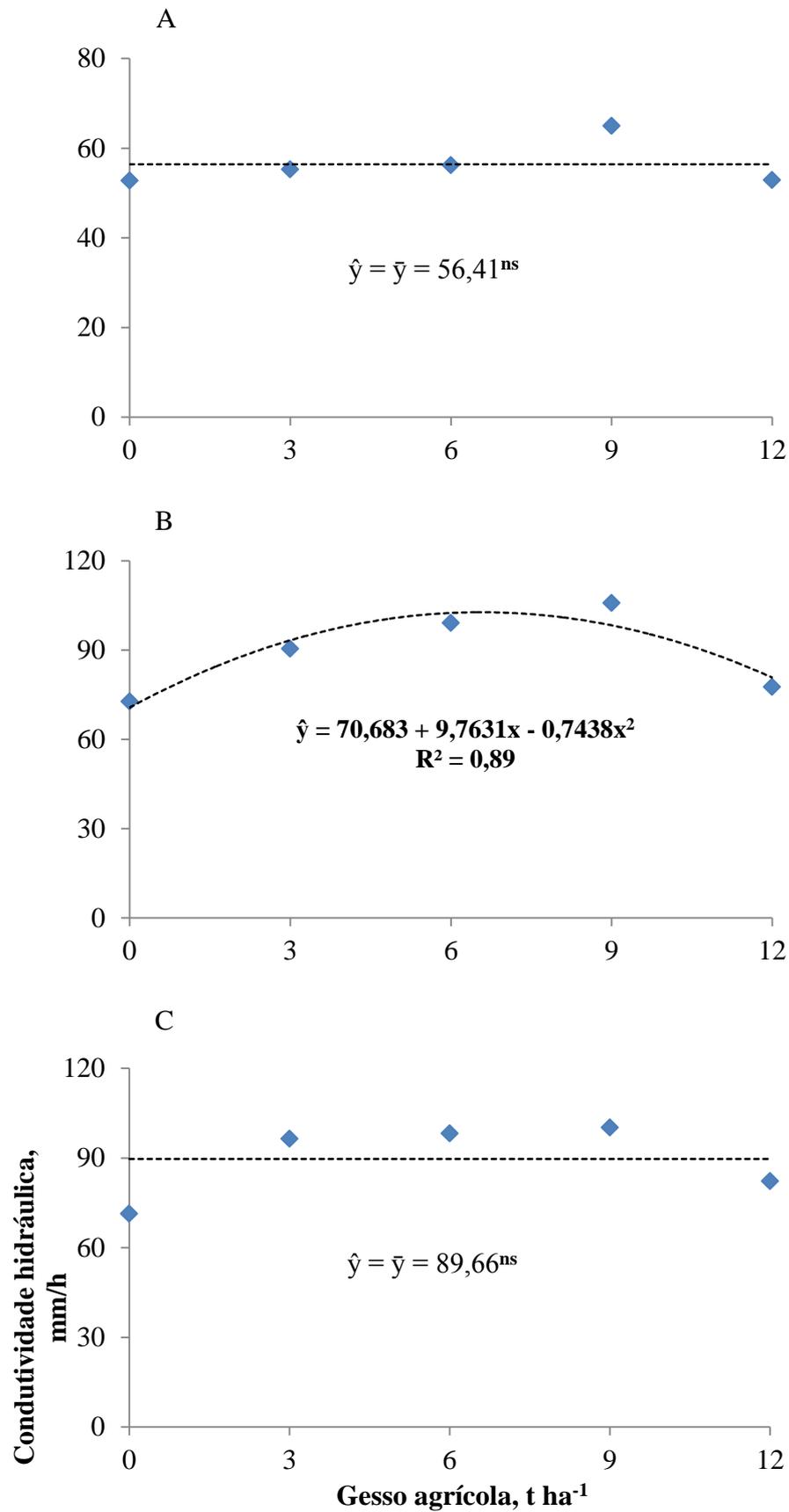


Figura 8. Condutividade hidráulica do solo nas camadas de 0,0 - 0,1 (A), 0,1 - 0,2 (B) e 0,2 - 0,3 m (C) em função das doses de gesso agrícola.

Jury e Gardner. (1991) mostraram que em seu experimento o coeficiente de variação para a condutividade hidráulica em solo saturado variou de 48 a 320%. Abreu et al. (2003) acharam o valor de 62,7 % para o coeficiente de variação da condutividade hidráulica no solo saturado. Então é um parâmetro que varia de solo para solo e mesmo solo em função da sua estrutura.

Portanto, o parâmetro condutividade hidráulica do solo tem sido justificado por Khan, Tahir e Yule (2001) que em se tratando de plantio direto, a presença de palha na camada superficial aliado com uma rede de macroporos contínuos no perfil do solo proporcionam um acréscimo da percolação de água (PINHEIRO; TEIXEIRA; KUAFMANN, 2009).

#### **4.2 CRESCIMENTO LATERAL E VERTICAL DAS RAÍZES DE SOJA EM FUNÇÃO DAS DOSES DE GESSO**

Na Figura 9 A e B, encontram-se os valores de crescimento lateral e vertical das raízes de soja em função das doses de gesso agrícola.

No que se refere ao crescimento radicular da planta foi realizada avaliação da raiz no estágio R8 (maturação plena) para as respostas da dose de gesso, em que se constatou ausência de resposta positiva em relação ao crescimento radicular vertical e lateral em funções das aplicações de doses de gesso agrícola na cultura da soja (Figura 9).

Podemos observar que a média geral calculada foi 43,20 cm para crescimento radicular lateral. Em relação ao crescimento radicular lateral os valores calculados ficaram próximos da media geral como mostra o gráfico A da Figura 9. Sendo para o maior valor médio de 47,50 cm com a aplicação de 9 t ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola. Já para o menor valor médio encontrado para o crescimento radicular lateral foi de 38,50 cm com aplicação de 12 t ha<sup>-1</sup> gesso, mesmo apresentando uma diferença de 9 cm entre os valores médios nas medidas das raízes não foi significativo o resultado encontrado.

Para o crescimento radicular vertical o menor valor médio encontrado foi para a testemunha (dose 0) de 20,50 cm, ou seja, sem aplicação de gesso, e o maior valor médio foi de 30,45 cm com a aplicação de 12 t ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola e a diferença entre os valor maior e menor foi de 9,95 cm, não diferindo significativamente entre si pois a media geral calculado foi de 24,33 cm pela análise de regressão.

Caires et al, (2001) explica que a ausência de resposta da soja à aplicação de gesso pode estar relacionada ao fato de o crescimento do sistema radicular da soja, na ausência de

déficit hídrico (Figura 2), não ser influenciado pela redução da saturação por Al na subsuperfície do solo.

Todavia, de acordo com Raij (2008) a aplicação de gesso agrícola permite condições mais adequadas ao subsolo, e de modo relativo, pode reduzir a compactação do solo, ambiente que, normalmente, é pouco favorável às raízes.

Por fim, considerando que a soja é de suma relevância para a região Sul do Brasil, segundo Sousa e Lobato (1996) é importante que a saturação por base esteja em torno de 50%, haja vista que nestas condições obtêm-se as maiores produtividades.

De acordo com Gregory, (1992) os valores de 70 a 80% da massa das raízes de soja distribuem-se nos primeiros 15 cm do solo.

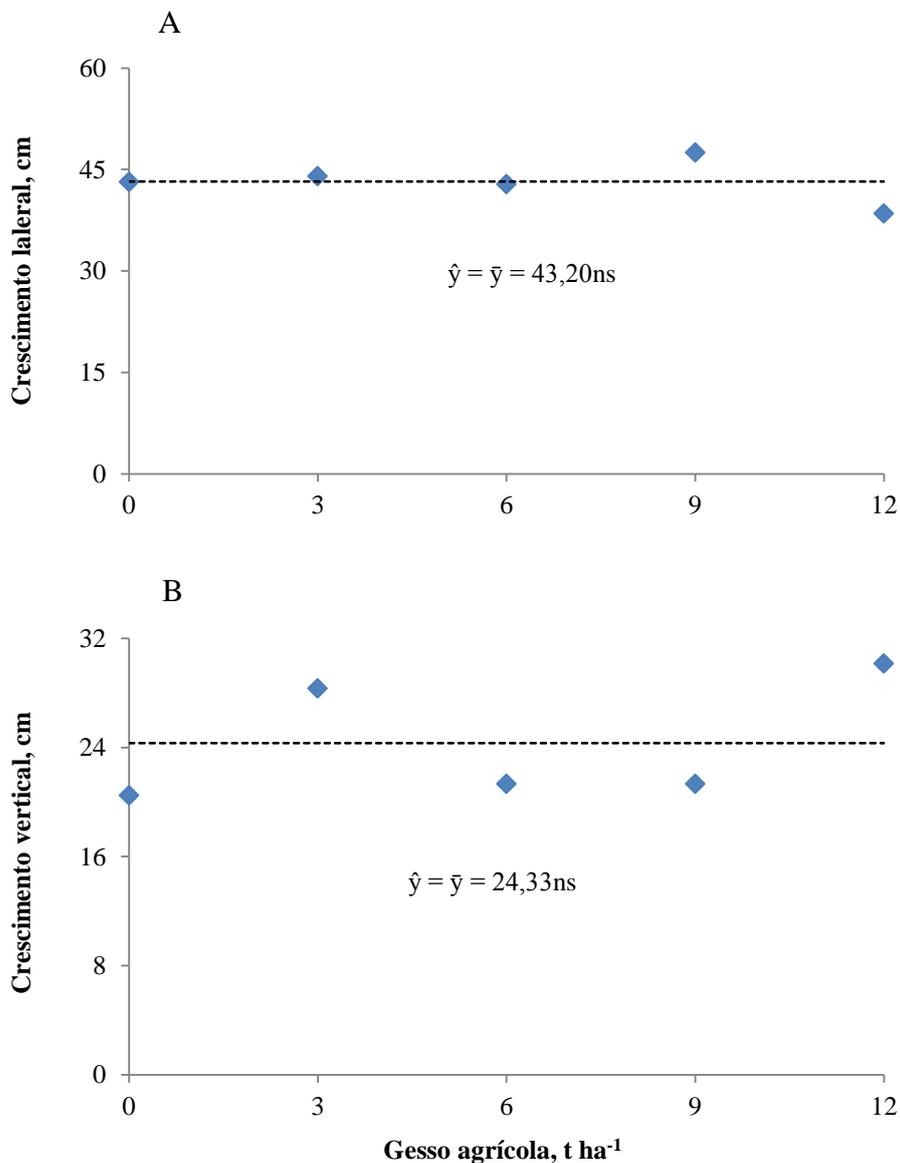


Figura 9. Crescimento lateral e vertical das raízes de soja em função das doses de gesso agrícola.

Desta forma, se explica que nos períodos entre 2015 e 2016 que as condições climáticas aliadas às práticas de manejo adequado no sistema plantio direto, com camada superficial rica em matéria orgânica, e um ano com distribuição de chuva durante todo ciclo vegetativo da cultura, sem restrição mecânica, estrutura do solo em condições físicas satisfatórias, por ter uns maiores números de espaço poroso permitiu que o sistema radicular explorasse as camadas do solo avaliadas, Assim é possível um bom desenvolvimento da cultura sem efeito na aplicação do gesso agrícola.

#### 4.3 RENDIMENTO DE GRÃO DA SOJA EM FUNÇÃO DAS DOSES DE GESSO AGRÍCOLA

Observa-se que não houve diferenças significativas entre os tratamentos para os rendimentos de grãos (Figura 10).

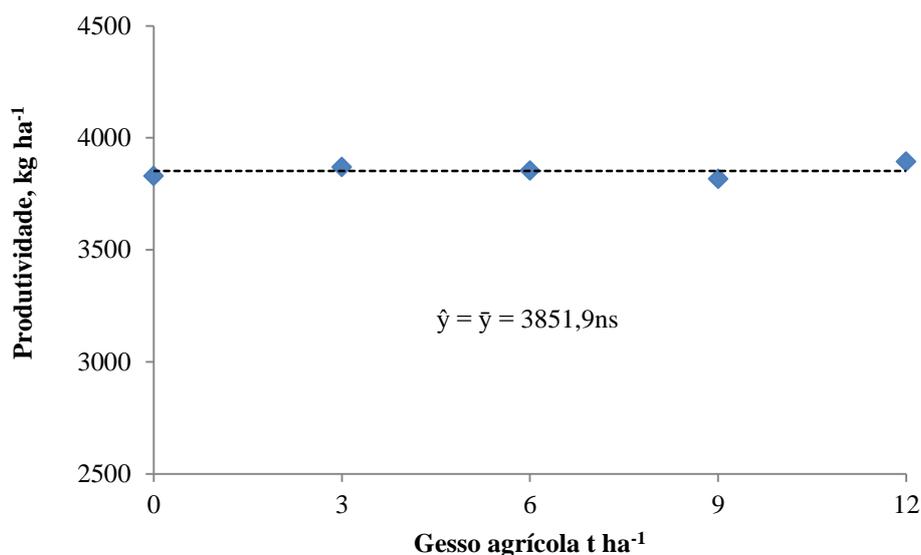


Figura 10. Produtividade de grão em relação às dosagens de gesso agrícola aplicado na cultura da soja.

Observou que as médias de rendimentos de grãos da soja por doses de gesso agrícola aplicados no experimento, os valores calculados estão bem próximos da média geral para todos os tratamentos analisados.

Possivelmente não ocorreram diferenças significativas entre as doses de gesso para a variável rendimento de grãos da soja, devido a condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento da cultura, bem como às boas condições de fertilidade, estruturais do solo, distribuição de chuva, e presença de matéria orgânica sob o sistema plantio direto.

O resultado encontrado da media geral foi de 3851,9 kg ha<sup>-1</sup> e para o coeficiente de variação CV% = 3,15 percebe-se que o valor calculado foi baixo, quando menor que 10% valor é considerado baixo e de alta precisão por Pimentel-Gomes, (1985).

Observou que os resultados obtidos no tratamento não apresentaram variação entre as médias para o rendimento de grão em função da aplicação das doses de gesso agrícola. Ademais, outros autores também não encontraram efeito no rendimento de grão em comparação com as doses de gesso a exemplo dos trabalhos de Caires et al, (2003) e Quaggio et al, (1993). Como as condições foram favoráveis para o desenvolvimento da soja, e o solo no sistema plantio direto normalmente possui boa estrutura, matéria orgânica e a cultura da soja é tolerante ao alumínio fator que possivelmente tenha ajudado na ausência do efeito do gesso como demonstra o trabalho citado por Rampim (2008).

De modo consoante Caires et al, (2003) não obtiveram aumento de produtividade de grãos na cultura da soja com a aplicação de 9 t ha<sup>-1</sup> de gesso em um Latossolo Vermelho distrófico com textura argilosa, tanto em sistema de plantio direto quanto em plantio convencional, Outrossim, ausência de resposta também encontrada por Quaggio et al. (1993).

Pois, constatou-se que a boa distribuição de chuva foi benéfica na cultura da soja (Figura 2) atingindo a produtividade satisfatória, visto que proporcionou água e nutrientes suficientes para o desenvolvimento do grão ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura, Outra possível explicação para este fato se deve às boas condições de fertilidade e estruturais do solo que condicionaram condições de crescimento da cultura.

## 5. CONCLUSÕES

1. Somente para a camada de 0,1 - 0,2 m ocorreu diferença estatística para todos os atributos físicos do solo avaliados no experimento, possivelmente devido a concentração das cargas impostas pelo tráfego de máquinas e implementos agrícolas e não devido as doses de gesso agrícola;
2. Não houve incremento significativo no rendimento de grãos e no crescimento radículas da soja com a aplicação de doses de gesso agrícola aplicadas, possivelmente devido às boas condições climáticas durante todo o ciclo de desenvolvimento da soja, aliado as boas condições químicas e físicas do solo.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, S. L. et al. Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas do solo, da produtividade e da qualidade de grão de trigo em Argissolo Franco Arenoso sob plantio direto. **Ciência Rural**, v. 33, n. 2, p. 275-282, 2003.
- ALCORDO, I. S.; RECHCIGL, J. E. Phosphogypsum in agriculture: a review. **Advances in Agronomy**, New York, v. 118, p. 49-55, 1993.
- ALVA, A. K. et al. An evaluation of aluminum indices to predict aluminum toxicity to plants grown in nutrient solutions. **Communications in Soil Science e Plant Analysis**, v. 17, n. 12, p. 1271-1280, 1986.
- ALVAREZ, V. H. V. et al. Uso de Gesso Agrícola. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V. V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 289 p.
- AMADO, T. J. C.; PONTELLI, C. B.; SANTI, A. L. S. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 08, p. 1101-1110, 2007.
- ANDRADE, R, S.; STONE, L. F. Índice S como indicador da qualidade física de solos, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.13, n. 4, p. 382-388, 2009.
- ARAGÃO JÚNIOR, T. C. A.; DE MAGALHAES, C. A.; DE CASTRO, P. T. Determinação da condutividade hidráulica em um solo podzólico-Vermelho-Amarelo em condições de campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 18, n. 7, 1983.
- ARAUJO, G. K. D. **Determinação e mapeamento de início do ciclo para culturas de verão no estado do Paraná por meio de imagens de satélite e dados de precipitação**. 2010. 157f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual Paulista – UNICAMP, Campinas.
- AWAD, M.; CASTRO, P. R. C. **Introdução à fisiologia vegetal**. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1992. 177p.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO<sub>2</sub>. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 599-607, 2000.
- BENITES, V. M. et al. Potássio, cálcio e magnésio. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP S. R. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2010. p. 137-191.
- BERNARDI, A. C. C. et al. Doses e formas de aplicação da adubação potássica na rotação soja, milho e algodão em sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 2, p. 158-167, 2009.

- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 7, p. 849-856, 2003.
- BORGES, E. N. et al. Misturas de gesso e matéria orgânica alterando atributos físicos de um Latossolo com compactação simulada. *Revista Brasileira Ciência Solo*, v. 21, p.125-130, 1997.
- BLAINSKI, E. et a. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 975-983, 2008.
- BRADY, N. C. **Natureza e propriedades do solo**. 6. ed. Rio de Janeiro: Freitas, 1983. 647p.
- BRANDÃO, A. S. P.; REZENDE, G. C.; MARQUES, R. W. C. Crescimento agrícola no período 1999/2004: a explosão da soja e da pecuária bovina e seu impacto sobre o meio ambiente. **Economia Aplicada**, v. 10, n. 2, p. 249-266, 2006.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Sistema Plantio Direto**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/plantio-direto>> Acesso em: 21 jun. 2016.
- BRITO, L.; ALMEIDA, A. B. **Manejo Ecológico Do Solo E Práticas Conservacionistas**. Botucatu: UNESP, 2011.
- BROCH, D. L. et al. Influência no Rendimento de Plantas de Soja pela Aplicação de Fósforo, Calcário e Gesso em um Latossolo Sob Plantio Direto. **Revista Ciências Exatas e Naturais**. v. 10, n. 2, p. 211-220, 2008.
- BROCH, D. L. Produtividade da soja no cerrado influenciada pelas fontes de enxofre. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 3, p. 791-796, 2011.
- BUCHTER, B. P. O. Soil spatial variability along transects. **Soil technology**, v. 4, n. 3, p. 297-314, 1991.
- CADIMA, Z. A.; LIBARDI, P. L.; REICHARDT, K. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica em um Latossolo Vermelho-Amarelo textura média, no campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 4, p. 63-66, 1980.
- CAIRES, E. F. Produtividade da soja MA e qualidade em função da aplicação de calcário e gesso. **Scientia Agricola**, v. 63, p. 370-379, 2006a.
- CAIRES, E. F.; FELDHAUS, I. C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da cevada em função da calagem e aplicação de gesso. **Bragantia**, v. 60, n. 2, p. 213-223, 2001.
- CAIRES, E. F. et al. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p. 275-286, 2003.
- CAIRES, E. F. et al. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 1, p. 125-136, 2004.

CAIRES, E. F. et al. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 4, p. 1029-1040, 2001.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 2, p. 315-327, 1999.

CAIRES, E. F. et al. Soybean yield and quality a function of lime and gypsum applications. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 4, p. 370-379, 2006b.

CAMARGO, M. B. P. **Exigências Bioclimáticas e estimativa da produtividade para quatro cultivares de soja no estado de São Paulo**. 1984. 96f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz” – Escola Superior de Agricultura, Piracicaba, 1984.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, São Paulo, 1997. 132p.

CAMARGO, O. A. et al. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas: Instituto Agronômico, 2009. 77p. (IAC. Boletim técnico, 106).

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C. Nitrogênio e enxofre na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. e; VITTI, G. C. (Eds.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI, 2007. p.355-412.

CARDOSO, J. A. E.; PERES, G. C. M.; LAMBERT, R. A. Influência da aplicação de calcário e gesso na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill), **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 10, n. 18, p. 1980-1987, 2014.

CARDUCCI, C. E. et al. Gypsum effects on the spatial distribute on of coffee roots and the pores system in oxidic Brazilian Latosol. **Soil and Tillage Research**, v. 145, p. 171-180, 2015.

CARVALHO, L. A. **Condutividade hidráulica do solo no campo: simplificações do método do perfil instantâneo**. 2002, 89f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

CARVALHO, L. C. T. **Análise comparativa entre diferentes metodologias utilizadas para recomendação de gesso agrícola em solos cultivados com lavoura de café na região sul de Minas Gerais**. 2008, 39f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Cafeicultura) - Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho, Muzambinho, 2008.

CARVALHO, M. C. S.; RAIJ, B. Van calcium sulphate, phosphogypsum. and calcium carbonate in the amelioration of acid soils for root growth. **Plant and soil**, v. 192, p 37-47, 1997.

CAVIGLIONE J. H. et al. D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000. CD-ROM.

CINTRA, F. L. D.; MIELNICZUK, J. Potencial de algumas espécies vegetais para a recuperação de solos com propriedades físicas degradadas, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 7, p. 197 - 201, 1983.

COLEMAN, N. T.; THOMAS, G. W. The basic chemistry of soil acidity. In: PEARSON, R. W.; ADAMS, F., (Eds). **Soil acidity and liming**. Madison: American Society of Agronomy, 1967. p. 1-41.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**: Safra 2014/15, décimo primeiro levantamento, jan. 2015. Brasília: CONAB, 2015. 86 p.

COSTA, M. J. et al. Gesso e calcário como condicionadores de atributos de um Latossolo sob cultivo de soja-milho. **Cerrados Revista de Ciências Agrárias**, v. 2/4, p. 45-50, 1999/2006.

CNA (Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil). **Agropecuária Brasileira**. 2005. Disponível em: <[www.cna.org.br](http://www.cna.org.br)> Acesso em: 21 de jan. 2015.

CORSINI, P. C. Modificações de características físico-hídricas em perfis de série Jaboticabal e Santa Tereza, ocasionadas pelo cultivo intensivo. *Científica*, v. 2, n. 2, p. 49-161, 1974.

COSTA, F. S. et al. Atributos físicos de um Latossolo sendo influenciado pelo manejo do solo e efeito da gessagem. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 29, p. 701-708, 2007.

COSTA, M.J et al Atributos químicos e físicos de um Latossolo sendo influenciados pelo manejo do solo e efeito da gessagem. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá v.29, p.701-708, 2007.

CURI, N. et al. **Vocabulário da ciência do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993, 90p.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2ª ed. Brasília, DF: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2009a.

\_\_\_\_\_. Usos do gesso agrícolas nos solos do cerrado. Circular técnica 32. Planaltina, DF: Embrapa cerrados 2005. Disponível em: < [www.cpac.embrapa.br/download/15/t](http://www.cpac.embrapa.br/download/15/t)> Acesso em 17 de Nov 2016.

\_\_\_\_\_. **Sistema de Produção - Cultivo de soja no cerrado de Roraima**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2009b.

\_\_\_\_\_. Tecnologias de Produção de Soja – Região Central do Brasil 2012 e 2013. **Sistemas de Produção**, n. 15, p. 84-88, 2011. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/download/SP15-VE.pdf>> Acesso em: 29 de out. 2014.

\_\_\_\_\_. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1979. 1v. Disponível em <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/> Acesso em 16 de Nov 2016.

\_\_\_\_\_. Tecnologias de Produção de Soja na Região Central do Brasil 2003. **Sistemas de Produção**, Londrina, n. 1, 2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Soja/SojaCentralBrasil2003/cultivares.htm> > Acesso em: 29 out. 2014.

\_\_\_\_\_. **Usos da soja**. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-geral/Usos+da+soja> > Acesso em: 3 de abr. 2016.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Planta, 2006. 401p.

FARIAS, J. R. B. Zoneamento agroclimático delimita áreas de risco para soja. **Visão Agrícola**, v. 5, p. 70-72, 2006.

FARIAS, C. M. B.; COSTA, N. D.; FARIA, A. F. Ação de calcário e gesso sobre características químicas do solo e na produtividade e qualidade do tomate e melão. **Horticultura Brasileira**, v. 21, p. 615-619, 2003.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da Soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 9p. (Circular Técnica, 48).

FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. **Exigências climáticas**. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA - SECA: soja em carência de água. Londrina: Embrapa Soja, 2015. Disponível em: <<http://bioinfo.cnpso.embrapa.br/seca/index.php/clima>>. Acesso em: 15 jun. 2015

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas: o estudo que está por trás do que se vê**. 2. ed. Passo Fundo: UFP, 2004. 536p.

FERREIRA, A. O. et al. Mudança no conteúdo de carbono e cálcio em latossolo melhorado por gesso e calcário no Rio Grande do Sul. **Ciencia del suelo**, v. 31, p. 1-13, 2013.

FUKUSHIMA, D.; HASHIMOTO, H. Oriental soybean foods. **In: Processing of World Soybean Research Conference**, Colorado: Westview Press, p. 729-743, 1980.

FUKUSHIMA, D. Recent Progress in Research and Technology on Soybeans. **Food Science and Technology Research**, v. 7, n. 1, p. 8-16, 2001.

GELAIN, E. et al. Fixação biológica de nitrogênio e teores foliares de nutrientes na soja em função de doses de molibdênio e gesso agrícola. **Ciências Agrotécnicas**, v. 35, n. 2, p. 259-269, 2011.

GOOGLE EARTH. Google Earth 7.0. Disponível em: <<http://earth.google.com.br/>> Acesso em: 20 de mar. 2015.

GREGORY, P. J. Crecimiento y funcionamiento de las raíces. In: WILD, A. (Coord.). **Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russel**. Madrid: Mundi-Prensa, 1992. p.121-175

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. 4, p. 769-774, 2008.

GUARIZ, H. R. et al. A. Variação da Umidade e da Densidade do Solo sob Diferentes Coberturas Vegetais. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Cruz Alta, v.4, n. 2, p. 3293-3296, 2009.

GUEDES, G. A. A. et al. **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA: FAEPE, 2001. 252 p

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Calcário e gesso na melhoria das condições químicas do solo para o cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em formação. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 19, p. 7-16, 1995.

HARTWIG, I. et al. Mecanismos associados à tolerância ao alumínio em plantas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 28, n. 2, p. 219-228, 2007.

HOUSE, M. L. et al. Spatial analysis of machine-wheel traffic effects on soil physical properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, n. 5, p. 1376-1384, 2001.

IAPAR (Instituto Agrônômico do Paraná). **Cartas Climáticas do Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000.

ISHAQ, M. et al. Subsoil compaction effects on crops in Punjab, Pakistan: II. **Root growth and nutrient uptake of wheat and sorghum**. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 60, n. 1, p. 153-161, 2001.

JESUS, C. P. de. Atributos físicos do solo e produtividade da soja após um ano de integração lavoura-pecuária em área sob plantio direto. 2006. 46f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Centro de Ciências Agro veterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, 2006.

JIMENEZ, R. L. et al. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 2, p. 116-121, 2008.

JONES, U. S. Gypsum. Publishing: **Fertilizers and soil fertility**. In: Reston, Reston Publishing, 1979. Cap 3. p, 92-7.

JONG VAN LIER, Q. de. **Física do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. 298 p.

JURY, W. A.; GARDNER, W. R. Soil physics. New York: John Wiley and Sons, 1991.

KARLEN, D. L.; ANDREWS, S. S.; DORAN, J. W. Soil quality: Current concepts and applications. **Advances Agronomy**., San Diego, v. 74, p.1-40, 2001.

KHAN, F. U. H.; THAHIR, A. R.; YULE, I. J. Intrinsic implication of different tillage practices on soil penetration resistance and crop growth. **International journal of agriculture and Biology**, v. 1, p. 23-26, 2001.

KORNDÖRFER, G. H. **Gesso Agrícola**. Instituto de Ciências Agrárias / Universidade Federal de Uberlândia, 2008. Disponível em: <[www.dpv24.iciag.ufu.br/new/dpv24/Apostilas/Transp.-%20S+GESSO%2010.pdf](http://www.dpv24.iciag.ufu.br/new/dpv24/Apostilas/Transp.-%20S+GESSO%2010.pdf)>. Acesso em: 15 de set. 2014.

KUSS, R. C. R. Populações de plantas e estratégias de irrigação na cultura da soja. Dissertação de Mestrado/Universidade Federal de Santa Maria – Área de Concentração em Engenharia de Água e Solo. Santa Maria – RS, 2006.

LIMA, C. L. R; PILLON, C. N.; LIMA, A. C. R. **Qualidade física do solo**: indicadores quantitativos. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007. 25p (Documentos, 196).

LOPES, A. S. et al. **Sistema plantio direto**: bases para o manejo da fertilidade do solo. São Paulo, 2004.

MACHADO, P. L. O. A.; FREITAS, P. L. No till farming in Brazil and its impact on food security and environmental quality. In: LAL, R.; HOBBS, P.; UPHOFF, N.; HANSEN, D. **Sustainable agriculture and the rice-wheat system**. Marcel Dekker, New York. p. 291-310. 2004.

MACHADO, A. M. M.; FAVARETTO, N. Atributos físicos do solo relacionados ao manejo e conservação dos solos. In: LIMA, M. R. et al. **Diagnóstico e recomendações de manejo do solo**: aspectos teóricos e metodológicos. Curitiba: UFPR/Setor de Ciências Agrárias, 2006, p. 234-254.

MALAVOLTA, E. **ABC da Adubação**. 5. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1989.

MALAVOLTA, E. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p

MARSH, B. H.; GROVE, J. H. Surface and subsurface soil acidity: soybean root response to sulfate-bearing spent lime. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, n. 4, p. 1837-1842, 1992.

MAPFUMO, E.; CHANASYK, D. S.; BARON, V. S. Forage growth and yield components as influenced by subsurface compaction. **Agronomy Journal, Madison**, v. 90, n. 4, p. 805-812, 1998.

MATIELLO, J. B.; GARCIA A. W. R.; ALMEIDA, S. R. **Adubação racional na lavoura cafeeira**. Varginha: Bom Pastor, 2008.

MECKE, M.; WESTMAN, C. J.; ILVESNIEMI, H. Prediction of near-saturated hydraulic conductivity in three podzolic boreal forest soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, n. 2, p. 485-492, 2000.

MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 963-969, mai-jun, 2004.

MILANI, D. I. C. **Variabilidade espacial da infiltração de água e de atributos físicos em um Latossolo sob sistema plantio direto**. 2005. 124f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2005.

MORAES, J. F. L. et al. A. Efeito de doses de calcário e de gesso na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Carioca-80. **Scientia Agrícola**, v. 55, n. 3, p. 438-447, 1998.

MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. **Soja: fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos**. Porto Alegre: Departamento de Plantas de Lavouras da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Evangraf, 2005. 31p.

NAKANO, K.; MIYAZAKI, T. Predicting the saturated hydraulic conductivity of compacted subsoils using the non-similar media concept. **Soil and Tillage Research**, v. 84, n. 2, p. 145-153, 2005.

NOGUEIRA, M. A.; MELO, W. J. Enxofre disponível para a soja e a atividade de arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 655-663, 2003.

NUERNBERG, N. J.; RECH, T. D.; BASSO, C. **Usos do gesso agrícola**. 2.ed. Florianópolis: Epagri, 2005. 36p. (Epagri. Boletim Técnico, 122).

OATES, K. M.; CALDWELL, A. G. Use of by-product gypsum to alleviate soil acidity. **Soil Science Society of America Journal**, v. 49, n. 4, p. 915-918, 1985.

OLIVEIRA, G. C. et al. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 2, p. 327-336, 2002.

OLIVEIRA, F. H. T. et al. Fertilidade do solo no sistema plantio direto. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v. 2, p.393-486, 2002.

OLIVEIRA, G. C. et al. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 291-299, 2003.

OLIVEIRA, L. F. C. et al. Influência da condutividade hidráulica na altura do lençol freático, espaçamento de drenos e na produtividade do milho. **Bioscience Journal**, v. 19, n. 3, 2006.

PAULETTI, V. et al. Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** [online], v. 38, n. 2, p. 495-505, 2014.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium, and aluminum following lime or gypsum applications to a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, v. 48, n. 1, p. 33-38, 1984.

- PELLEGRINI, A. **Sistemas de cultivo da cultura do fumo com ênfase às práticas de manejo e conservação do solo**. 2006. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.
- PEREIRA, C. A. S.; OLIVEIRA, F. B. **Soja, alimento e saúde: valor nutricional e preparo**. Viçosa: UFV, 2004. 102 p.
- PEREIRA, L. M. P. et al. Determinação do início e término da estação chuvosa no Estado do Paraná. **Revista Geografar**, Curitiba, v. 3, n. 2, p. 1-12, 2008.
- PIMENTEL-GOMES, F. Curso de Estatística Experimental. 12. ed. Piracicaba: **Livraria Nobel**, 1985. 467p.
- PINHEIRO, A.; TEIXEIRA, L. P.; KUAFMANN, V. capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e praticas de manejos agrícolas. *Ami-agua*, Taubaté, v. 4, n. 2, p. 188-189, 2009.
- QUAGGIO, J. A. et al. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 28, n. 3, p. 375-383, 1993.
- RAIJ, B. V. **Gesso na agricultura**. Campinas: Instituto Agrônômico/Fundação IAC, 2008. 233 p.
- RAIJ, B. V. Uso do Gesso na Agricultura. **Informações Agronômicas**, Campinas, n. 117, 2007.
- RAMPIM, L. **Atributos químicos de um latossolo vermelho eutroférico submetido a gessagem e cultivado com trigo e soja em semeadura direta**. 2008. 81 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2008.
- RAMPIM, L. et al. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 35, p. 1687-1698, 2011.
- REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Editora Manoele Ltda, 1990. 188 p.
- RICHARDT, A. et al. Compactação de solo: Causas e efeitos. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 3, p. 321-344, 2005.
- REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência Ambiental**, v. 27, p. 29-48, 2003.
- REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades físicas do solo**. Universidade Federal de Santa Maria, 2006a. 18p.
- REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo: protótipos e teste. **Ciência Rural**, v. 36, n. 6, p. 1930-1935, 2006.

REZENDE, P. M. et al. Enxofre aplicado via foliar na cultura da soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 5, p. 1255-1259, 2009.

RIOS, DE MATOS, T. S. et al. Lixiviação de cálcio, magnésio e potássio em colunas de um Latossolo Amarelo distrófico textura média, de Luis Eduardo Magalhães - BA em resposta as doses de óxido de magnésio combinadas com gesso. **In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO DE CONSERVAÇÃO DOS SOLOS E DA ÁGUA**, 17. 2008. Rio de Janeiro, RJ. Anais... Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais. Rio de Janeiro, RJ: SBCS: Embrapa Solos: Embrapa Agrobiologia, 2008. (CD ROOM).

ROSA JÚNIOR, E. J.; MARTINS, R. M. G.; ROSA, Y. B. C. J., CREMON, C. Calcário e gesso como condicionantes físico e químico de um solo de cerrado sob três sistemas de manejo. *Pesq. Agropec. Tropical*, v. 36, p.37-44, 2006.

ROSOLEM, C. A.; ALMEIDA, A. C. S; SACRAMENTO, L. V. S. Sistema radicular e nutrição da soja em função da compactação do solo. **Bragantia**, p. 259-266, 1994.

SANCHEZ, E, **Propriedades físicas do solo e produtividade de soja em sucessão a plantas de cobertura de inverno**. 2012. 59. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2012.

SANTOS, R. D.; FERRARI, R. A. Extração aquosa enzimática de óleo de soja. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, p. 132-138, 2005.

SANTOS, L. N. S. et al. **Avaliação de atributos físicos de um latossolo sob diferentes coberturas vegetais em ALEGRE (ES)**. Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 2, p. 140-149, mai/ago, 2009.

SECCO, D. et al. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 797-804, 2004.

SENTELHAS, P. C.; ANGELOCCI, L. R. **Evapotranspiração - definições e conceitos**. ESALQ/USP, 2009. Disponível em: < <http://www.lce.esalq.usp.br/aulas/lce306/Aula8.pdf>> Acesso em: 12 nov. 2016.

SFREDO, G. J. **Calagem e Adubação da Soja**. EMBRAPA, 2008. (Circular Técnica 61).

SHAINBERG, I. et al. Use of gypsum on soils: A review. In: **Advances in soil science**. Springer US, 1989. p. 1-111.

SILVA, A. A. et al. Efeitos de relações  $\text{CaSO}_4 / \text{CaCO}_3$  na mobilidade de nutrientes no solo e no crescimento do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 451-457, 1998,

SILVA, A. P.; IMHOFF, S.; KAY, B. Plant response to mechanical resistance and air-filled porosity of soils under conventional and no-tillage system. **Scientia Agricola**, v. 61, n. 4, p. 451-456, 2004.

SIQUEIRA, T. V. O ciclo da soja: desempenho da cultura da soja entre 1961 e 2003. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 20, p. 127-222, set., 2004.

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

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Correção do solo e adubação da cultura da soja**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1996. 30p. (Circular Técnica 33)

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. **Uso de gesso agrícola nos solos do Cerrado**. Planaltina, DF: EMBRAPA Cerrados, 2005.

SOUZA, F. R. et al. Morphology and stability of aggregates of an Oxisol according to tillage system and gypsum application. **Revista Ceres**, v. 59, p. 859-866, 2012.

SUMNER, M. E. et al. Amelioration of an acid soil prolife through deep leming an sunface aplication of gypsum. **Soil Science Society of America Journal**, v. 50, p 1254-1278, 1986.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre, Artmed, 2009. 819 p.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 301-309, 1998.

VIEIRA, L. S.; SANTOS, P. C. T. C. dos; VIEIRA, N. F. **Solos: propriedades, classificação e manejo**. Brasília: MEC/ABEAS, 1988.

VIEIRA, S. R.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Spatial variability of field-measured infiltration rate. **Soil Science Society of America Journal**, v. 45, n. 6, p. 1040-1048, 1983.

VITTI, C. G. et al. E. **Uso do gesso em sistemas de produção agrícola**. Piracicaba, SP. GAPE, 2008. 104 p.

VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: FERNANDES, M.S., ed. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 299-326.

VOMOCIL, J. A.; FLOCKER, W. J. Effect of soil compaction on storage and ovement of soil air and water. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v.4, p.242-246, 1961.

WARD, R. C.; ROBINSON, M. **Principles of hydrology**. Mc.Graw Hill, 1990, 365p.

YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira. In: **Simpósio Sobre Nitrogênio e Enxofre na Agricultura Brasileira, 2007**, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: IPNI Brasil, 2007.

ZAMBROSI, F. C. B.; ALLEONI, L. R. F.; CAIRES, E. F. Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 37, n. 1, 2007.

ZAMBROSI, F. C. B.; ALLEONI, L. R. F.; CAIRES, E. F. Liming and ionic speciation of an Oxisol under no-till system. **Scientia Agricola**, v. 65, n. 2, p. 190-203, 2007.

ZANDONÁ, R. R. et al. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical** (Agricultural Research in the Tropics), v. 45, n. 2, p. 128-137, abr./jun. 2015.

ZHANG, X. C.; NORTON, L. D. Effect of exchangeable Mg on saturated hydraulic conductivity, disaggregation and clay dispersion of disturbed soils. **Journal Hydrology**, v. 260, p. 194-205, 2002.

**APÊNDICE A - Demonstração do comprimento radicular da soja no período R7. 3 com 102 dias DAE desfolha e maturação normal de grãos plena maturação**



Figura 1. Trincheira aberta com quadro P1, P2 e P3 para as avaliações do crescimento radicular.



Figura 2. Trincheira aberta com quadro P4, P5 e P6 para a avaliação do crescimento radicular.



Figuras 3. Trincheira aberta com quadro P7, P8 e P9 para as avaliações do crescimento radicular.



Figuras 4. Trincheira aberta com quadro P10, P11 e P12 para as avaliações do crescimento radicular.



Figuras 5. Trincheira aberta com quadro P13, P14, P15 e P16 para as avaliações do crescimento radicular.



Figuras 6. Trincheira aberta com quadro P17, P18, P19 e P20 para as avaliações do crescimento radicular.



Figuras 7. Trincheira aberta com quadro P21, P22 e 23 para as avaliações do crescimento radicular.



Figuras 8. Trincheira aberta com quadro P24, P25 e 26 para as avaliações do crescimento radicular.



Figuras 9. Trincheira aberta com quadro P27, P28, P29 e P30 para as avaliações do crescimento radicular.