

RESSALVA

Atendendo a solicitação do autor, o texto completo desta tese será disponibilizado somente a partir de 18/03/2023.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

ISABELA MALAQUIAS DALTO DE SOUZA

**METODOLOGIAS DE RECOMENDAÇÃO DE USO DE GESSO AGRÍCOLA EM
DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO**

Ilha Solteira

2022

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ISABELA MALAQUIAS DALTO DE SOUZA

METODOLOGIAS DE RECOMENDAÇÃO DE USO DE GESSO AGRÍCOLA EM DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor. Especialidade Sistemas de Produção.

Prof. Dr. Marcelo Andreotti

Orientador

Pesquisador Dr. Wander Luis Barbosa Borges

Coorientador

Ilha Solteira

2022

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

S729m Souza, Isabela Malaquias Dalto de.
Metodologias de recomendação de uso de gesso agrícola em diferentes sistemas de produção / Isabela Malaquias Dalto de Souza. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2022

160 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2022

Orientador: Marcelo Andreotti

Coorientador: Wander Luis Barbosa Borges

Inclui bibliografia

1. Análise multivariada. 2. Fertilidade do solo. 3. Gessassem. 4. Pastagem. 5. Sistema agropastoril. 6. Sistema semeadura direta.


Raiane da Silva Santos

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

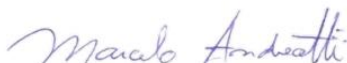
TÍTULO DA TESE: Metodologias de recomendação de uso de gesso agrícola em diferentes sistemas de produção

AUTORA: ISABELA MALAQUIAS DALTO DE SOUZA

ORIENTADOR: MARCELO ANDREOTTI

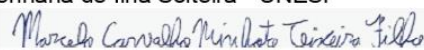
COORDENADOR: WANDER LUÍS BARBOSA BORGES

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA, área: Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:

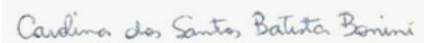


Prof. Dr. MARCELO ANDREOTTI (Participação Virtual)
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Prof. Dr. MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO (Participação Virtual)
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP



Profa. Dra. CAROLINA DOS SANTOS BATISTA BONINI (Participação Virtual)
Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas de Dracena - UNESP



Prof. Dr. CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL (Participação Virtual)
Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu



Prof. Dr. ZIGOMAR MENEZES DE SOUZA (Participação Virtual)
Faculdade de Engenharia Agrícola / Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP



Ilha Solteira, 18 de março de 2022

DEDICO

À minha avó, Vanda Aparecida Malaquias (in memoriam), pelo amor, carinho, atenção e educação dados durante toda a vida e por me guiar e proteger, sempre.

AGRADECIMENTOS

À minha tia, Fernanda Malaquias Mourão, pelo carinho, suporte, apoio, torcida e incentivo durante toda caminhada até aqui.

Ao meu pai, Marco Antônio Dalto de Souza, e avó, Maria Vanilda Dalto de Souza, pelo apoio, torcida e suporte oferecidos.

Aos meus amigos Danielle Bolandim Costa que esteve comigo nos melhores e piores momentos desses quatro últimos anos, Pedro H. Gatto Juliano e Deyvison Asevedo Soares pelo auxílio no desenvolvimento de algumas partes desse trabalho.

Ao pesquisador Dr. Wander Luis Barbosa Borges Pela disponibilidade e disposição em me ensinar e auxiliar em meu crescimento profissional. Sempre foi um grande exemplo como pessoa e profissional.

Ao Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Seringueira e Sistemas Agroflorestais, do Instituto Agronômico de Campinas - IAC, da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios – APTA/SAA-SP por possibilitar a execução deste trabalho.

Aos funcionários e estagiários do Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Seringueira e Sistemas Agroflorestais por todo auxílio prestado no decorrer do experimento.

Aos professores do Programa de Pós Graduação em Agronomia de Ilha Solteira e aos técnicos Carlos e Silvia do Laboratório de Fertilidade do Solo e Marcelo do Laboratório de Nutrição de Plantas.

Aos colaboradores da Seção Técnica de Pós-Graduação, da Biblioteca, da Seção Técnica de Apoio, Ensino, Pesquisa e Extensão e do Gabinete do Diretor, por toda ajuda no decorrer destes anos.

Aos integrantes do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos – DEFERS e aos integrantes da Equipe Andreotti, pelo convívio e apoio.

Ao professor Dr. Antonio Paz-Gonzalez por me receber durante o período de estágio na Universidade da Coruña.

À todos os amigos e familiares pelo incentivo e torcida pelas minhas conquistas.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa de estudos e por todo apoio financeiro concedido (Processo nº 2018/07979-6 e Processo BEPE nº 2020/03951-0) para a realização deste estudo. Este apoio fez toda diferença

para o resultado final do trabalho e também para meu crescimento pessoal e profissional.

Ao meu orientador, prof. Dr. Marcelo Andreotti por, além de ser um grande professor, ser também um excelente orientador, que encoraja, dá voz e espaço, respeita e ensina seus orientados diariamente. Você é um espelho para as novas gerações que, assim como eu, sonham com um ensino de qualidade para todos.

É preciso força pra sonhar e perceber
Que a estrada vai além do que se vê
Marcelo Camelo

RESUMO

O uso de gesso agrícola em sistemas conservacionistas de produção como os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPAs), ainda gera dúvidas em relação a metodologia a ser utilizada. O presente trabalho teve por objetivo avaliar qual dentre as cinco metodologias de recomendação de uso de gesso agrícola em diferentes sistemas sustentáveis de produção agropecuária é o mais eficiente em relação a movimentação do gesso no perfil do solo e correlacionar com a produtividade agrícola de um solo arenoso. Foram utilizadas as metodologias de Sousa, Lobato e Rein (2005), Vitti *et al.* (2008), Demattê (1986), Rajj *et al.* (1996) e Caires e Guimarães (2016), em três sistemas sustentáveis de produção agropecuária: sistema de semeadura direta (SSD), sistema agropastoril (SAP) e pastagem convencional (PAST). Foram realizadas avaliações dos atributos químicos nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40m, em outubro no ano de 2017 e abril de 2018, 2019 e 2020, e dos atributos físicos nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,20 e 0,20-0,40m em outubro de 2017 e abril de 2020, e avaliações das características agronômicas da cultura do milho e da soja, bem como da produtividade de matéria seca da pastagem e da crotalária. As metodologias de Rajj *et al.* (1996), Sousa, Lobato e Rein (2005) e de Caires e Guimarães (2016) foram utilizadas em um projeto paralelo. Para tal, em abril de 2020 foram coletadas amostras de solo na camada de 0-0,10m, nos três sistemas sustentáveis de produção agropecuária, e realizou-se as seguintes avaliações: superfície específica (SE), granulometria a laser (GL), espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e análise elementar. Buscou-se com essa pesquisa atribuir qual das metodologias de recomendação de uso de gesso agrícola é a mais adequada para os sistemas de produção estudados e avaliar qual dentre as metodologias proporciona melhores condições para a textura do solo arenoso na região do Cerrado. Em sistema de semeadura direta (SSD), pelo uso intensivo do solo arenoso e alta exportação de nutrientes, visando a melhoria da fertilidade e agregação do solo, recomenda-se a gessagem com base nas metodologias de Caires e Guimarães (2016) ou de Rajj *et al.* (1996), entretanto, com variabilidade das metodologias quanto à correlação com a produtividade das culturas em rotação. No sistema agropastoril (SAP), pelo maior tempo de pastagem no sistema, não houve uma metodologia que se destacasse quanto a melhoria da fertilidade do solo, contudo na agregação houve destaque para a metodologia de Rajj *et al.* (1996). Entretanto, independentemente da metodologia, a aplicação de gesso foi superior ao

controle sem gessagem, na melhoria física e química do solo. Apenas a metodologia de Vitti *et al.* (2008), destacou-se para incremento da produção de matéria seca do capim Marandu e da soja em sucessão. Em área de pastagem intensiva (PAST), mas em solo arenoso, destacou-se a metodologia de Raij *et al.* (1996) na recomendação de gessagem anual, visando a melhoria e/ou manutenção da fertilidade do solo. Entretanto, na produtividade de matéria seca do capim Marandu, a metodologia de melhor correlação foi a de Souza, Lobato e Rein (2005). Pelo uso da análise multivariada, em SSD, as metodologias de cálculo da necessidade de gessagem de Caires e Guimarães (2016) ou de Raij *et al.* (1996) melhor se correlacionaram com a V% (atributo de melhor correlação da fertilidade do solo). Para o sistema agropastoril (SAP), na análise multivariada, as metodologias de cálculo da necessidade de gessagem que melhor se correlacionaram com redução da acidez e aumento do pH do solo foram as de Souza, Lobato e Rein (2005) e de Raij *et al.* (1996). Numa pastagem de capim Marandu em solo arenoso, pela análise multivariada, a metodologia de cálculo da necessidade de gessagem de Raij *et al.* (1996) apresentou maior correlação com a V%. Nas análises das características do solo em diferentes sistemas de produção depois do uso do gesso agrícola, não houve efeito da gessagem para C, N e relação C/N, e nem para a granulometria do solo. Entretanto, para incremento dos teores de C e N destaca-se o sistema de semeadura direta (SSD), e para melhoria de agregação, a pastagem perene (PAST).

Palavras-chave: análise multivariada; fertilidade do solo; gessagem; pastagem; sistema agropastoril; sistema semeadura direta.

ABSTRACT

The use of gypsum in conservation production systems as croplivestock systems, still generates doubts about the methodology to be used. The present work aimed to evaluate which among the five methodologies of gypsum use recommendation in different sustainable agricultural production systems is the most efficient regarding the movement of gypsum in the soil profile and correlate it with the agricultural productivity of a sandy soil. The methodologies of Sousa, Lobato and Rein (2005), Vitti *et al.* (2008), Demattê (1986), Raij *et al.* (1996) and Caires and Guimarães (2016) were used, in three sustainable agricultural production systems: no-tillage system (SSD), agro-pastoral system (SAP) and conventional pasture (PAST). Evaluations of chemical attributes in the layers 0-0.20 and 0.20-0.40m were carried out in October in the year 2017 and April 2018, 2019 and 2020, and of physical attributes in the layers 0-0.05, 0.05-0.20 and 0.20-0.40m in October 2017 and April 2020, and evaluations of agronomic characteristics of corn and soybean crops, as well as dry matter productivity of pasture and crotalaria. The methodologies of Raij *et al.* (1996), Sousa, Lobato and Rein (2005) and Caires and Guimarães (2016) were used in a parallel project. For this, in April 2020, soil samples were collected in the 0-0.10m layer, in the three sustainable agricultural production systems, and the following evaluations were performed: specific surface area (SE), laser grain size (GL), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and elemental analysis. This research aimed to attribute which of the gypsum recommendation methodologies is the most appropriate for the production systems studied and evaluate which of the methodologies provides better conditions for sandy soil texture in the Cerrado region. In no-tillage system (SSD), by the intensive use of sandy soil and high export of nutrients, aiming to improve soil fertility and aggregation, gypsum is recommended based on the methodologies of Caires and Guimarães (2016) or of Raij *et al.* (1996), however, with variability of methodologies regarding the correlation with the productivity of crops in rotation. In the agro-pastoral system (SAP), due to the longer time of pasture in the system, there was no methodology that stood out regarding the improvement of soil fertility, however in aggregation there was an emphasis on the methodology of Raij *et al.* (1996). However, regardless of the methodology, the application of gypsum was superior to the control without gypsum, in physical and chemical soil improvement. Only the methodology of Vitti *et al.* (2008), stood out for increasing the dry matter production of Marandu grass and soybean in

succession. In an area of intensive pasture (PAST), but on sandy soil, the methodology of Raij *et al.* (1996) stood out in the recommendation of annual gypsum, aiming to improve and/or maintain soil fertility. However, for the dry matter productivity of Marandu grass, the methodology with the best correlation was that of Souza, Lobato and Rein (2005). By the use of multivariate analysis, in SSD, the methodologies for calculating the gypsum requirement of Caires and Guimarães (2016) or of Raij *et al.* (1996) best correlated with V% (best correlated attribute of soil fertility). For the agropastoral system (SAP), in the multivariate analysis, the methodologies for calculating the need for gypsum that best correlated with reduced soil acidity and increased soil pH were those of Souza, Lobato and Rein (2005) and Raij *et al.* (1996). In a pasture of Marandu grass on sandy soil, by multivariate analysis, the methodology for calculating the need for gypsum by Raij *et al.* (1996) showed greater correlation with V%. In the analysis of soil characteristics in different production systems after the use of gypsum, there was no effect of gypsum for C, N and C/N ratio, nor for soil granulometry. However, the no-tillage system (SSD) stands out for increasing C and N contents, and for improving aggregation, the perennial pasture (PAST).

Keywords: multivariate analysis; soil fertility; plaster; pasture; agroforestry system; no-tillage system.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-------------|---|----|
| Figura 1- | Dados de evapotranspiração potencial (ETP), precipitação pluvial e temperatura média mensal em Votuporanga- SP, durante o desenvolvimento do experimento. Fonte: CIIAGRO (2021) | 33 |
| Figura 2- | Disposição dos tratamentos nas áreas experimentais | 38 |
| Figura 3- | Alterações nos teores de Ca e Mg nas profundidades de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m do solo avaliadas nas safras 2017/18, 2018/19 e 2019/20 na área de sistema de semeadura direta (SSP) | 47 |
| Figura 4- | Alterações nos teores de K e S nas profundidades de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m do solo avaliadas nas safras 2017/18, 2018/19 e 2019/20 na área de sistema de semeadura direta (SSD) | 50 |
| Figura 5- | Alterações nos teores de MO e P nas profundidades de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m do solo avaliadas nas safras 2017/18, 2018/19 e 2019/20 na área de sistema de semeadura direta (SSD) | 53 |
| Figura 6- | Alterações no pH e H+Al nas profundidades de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m do solo avaliadas nas safras 2017/18, 2018/19 e 2019/20 na área de sistema de semeadura direta (SSD) | 55 |
| Figura 7- | Alterações no m%, CTC e V% nas profundidades de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m do solo avaliadas nas safras 2017/18, 2018/19 e 2019/20 na área de sistema de semeadura direta (SSD) | 58 |
| Figura 8- | Alterações nos teores de Ca e Mg nas profundidades de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m do solo avaliadas nas safras 2017/18, 2018/19 e 2019/20 na área de sistema agropastoril (SAP) | 67 |
| Figura 9- | Alterações nos teores de K e S nas profundidades de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m do solo avaliadas nas safras 2017/18, 2018/19 e 2019/20 na área de sistema agropastoril (SAP) | 70 |
| Figura 10- | Alterações nos teores de MO e P nas profundidades de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m do solo avaliadas nas safras 2017/18, 2018/19 e 2019/20 na área de sistema agropastoril (SAP) | 72 |
| Figura 11- | Alterações no pH e H+Al nas profundidades de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m do solo avaliadas nas safras 2017/18, 2018/19 e 2019/20 na área de sistema agropastoril (SAP) | 75 |
| Figura 12 - | Alterações no m%, CTC e V% nas profundidades de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m do solo avaliadas nas safras 2017/18, 2018/19 e 2019/20 na área de sistema agropastoril (SAP) | 77 |
| Figura 13- | Alterações nos teores de Ca e Mg nas profundidades de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m do solo avaliadas nas safras 2017/18, 2018/19 e 2019/20 na área de pastagem convencional (PAST) | 85 |
| Figura 14- | Alterações nos teores de K e S nas profundidades de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m do solo avaliadas nas safras 2017/18, 2018/19 e 2019/20 na área de pastagem convencional (PAST) | 87 |
| Figura 15- | Alterações nos teores de MO e P nas profundidades de 0 a 0,20 m e 0,20 a | |

| | | |
|------------|---|-----|
| | 0,40 m do solo avaliadas nas safras 2017/18, 2018/19 e 2019/20 na área de pastagem convencional (PAST) | 90 |
| Figura 16- | Alterações no pH e H+Al nas profundidades de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m do solo avaliadas nas safras 2017/18, 2018/19 e 2019/20 na área de pastagem convencional (PAST) | 92 |
| Figura 17- | Alterações nos valores de m%, CTC e V%, nas profundidades de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m do solo avaliadas nas safras 2017/18, 2018/19 e 2019/20 na área de pastagem convencional (PAST) | 94 |
| Figura 18- | Biplot para a análise dos componentes principais (PCA) atributos químicos do solo na profundidade de 0 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m e produtividade do milho na safra 2017/18 em sistema de semeadura direta (SSD) | 102 |
| Figura 19- | Biplot para a análise dos componentes principais (PCA) atributos químicos do solo na profundidade de 0 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m e produtividade do milho e matéria seca da forragem na safra 2019/20 em sistema de semeadura direta (SSD) | 103 |
| Figura 20- | Biplot para a análise dos componentes principais (PCA) atributos físicos e químicos do solo na profundidade de 0 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m e produtividade do milho e matéria seca da forragem na safra 2019/20 em sistema de semeadura direta (SSD) | 106 |
| Figura 21- | Biplot para a análise dos componentes principais (PCA) atributos químicos do solo na profundidade de 0 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m e produtividade do milho na safra 2017/18 em sistema agropastoril (SAP) . | 109 |
| Figura 22- | Biplot para a análise dos componentes principais (PCA) atributos químicos do solo na profundidade de 0 a 0,20m e 0,20 a 0,40 m e produtividade da soja na safra 2019/20 em sistema agropastoril (SAP) | 111 |
| Figura 23- | Biplot para a análise dos componentes principais (PCA) atributos físicos e químicos do solo na profundidade de 0 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m e produtividade da soja na safra 2019/20 em sistema agropastoril (SAP) | 114 |
| Figura 24- | Biplot para a análise dos componentes principais (PCA) atributos químicos do solo na profundidade de 0 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m e matéria seca da forragem na safra 2017/18 em pastagem convencional (PAST) | 117 |
| Figura 25- | Biplot para a análise dos componentes principais (PCA) atributos químicos do solo na profundidade de 0 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m e matéria seca da forragem na safra 2019/20 em pastagem convencional (PAST) | 119 |
| Figura 26- | Biplot para a análise dos componentes principais (PCA) atributos físicos e químicos do solo na profundidade de 0 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m e matéria seca da forragem na safra 2019/20 em pastagem convencional (PAST) | 121 |
| Figura 27- | Bandas usadas para analisar grupos funcionais orgânicos segundo Parikh <i>et al.</i> 2014 | 125 |
| Figura 28- | Semeadura da forragem na entrelinha do milho em área de SSD | 138 |
| Figura 29- | Desenvolvimento do milho em área de SSD | 138 |
| Figura 30- | Milho em SSD | 138 |

| | | |
|------------|--|-----|
| Figura 31- | Produção de palhada de capim Marandu em SSD | 138 |
| Figura 32- | Desenvolvimento da soja sob palhada de capim Marandu em SAP | 139 |
| Figura 33- | Desenvolvimento do milho em SAP | 139 |
| Figura 34- | Pastagem em SAP | 139 |
| Figura 35- | Pastagem convencional | 139 |
| Figura 36- | Coleta de amostras de forragem | 140 |
| Figura 37- | Coleta de amostras deformadas de solo para avaliação da fertilidade | 140 |
| Figura 38- | Mesa de tensão com anéis volumétricos para análise de porosidade e densidade do solo | 140 |
| Figura 39- | Amostras de solo após passar por peneira de 4mm para avaliação de estabilidade de agregados | 140 |
| Figura 40- | Preparo das amostras de solo + KBr para análise espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) | 141 |
| Figura 41- | Análise de espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) | 141 |
| Figura 42- | Sacos de gesso com doses calculadas de acordo com cada metodologia avaliada | 142 |
| Figura 43- | Distribuição dos sacos com gesso nas subparcelas de acordo com as metodologias avaliadas | 142 |
| Figura 44- | Aplicação de gesso em cada subparcela de acordo com as metodologias avaliadas | 142 |
| Figura 45- | Equipe formada no IAC em dia de aplicação de gesso | 142 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|------------|---|-----|
| Tabela 1- | Tabela 1. Caracterização física e química da área experimental, realizada nas camadas de 0 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m, antes da instalação do experimento, Votuporanga, 2017 | 33 |
| Tabela 2- | Atributos físicos do solo em área de sistema de semeadura direta (SSD), nas profundidades de 0 a 0,05 m, 0,05 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m, em função das metodologias de recomendação da gessagem, Votuporanga- SP, safra 2019/20 | 61 |
| Tabela 3- | Produtividade e características agronômicas das culturas em área de sistema de semeadura direta (SSD) nas safras 2017/18, 2018/19 e 2019/20 | 63 |
| Tabela 4- | Atributos físicos do solo em área de sistema agropastoril (SAP), nas profundidades de 0 a 0,5 m, 0,5 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m, em função das metodologias de recomendação da gessagem, Votuporanga- SP, safra 2019/20 | 80 |
| Tabela 5- | Produtividade e características agronômicas das culturas em área de sistema agropastoril (SAP), após aplicação de gesso por diferentes metodologias, Votuporanga- SP, nas safras 2017/18, 2018/19 e 2019/20 | 82 |
| Tabela 6- | Atributos físicos do solo em área de pastagem convencional (PAST), nas profundidades de 0 a 0,5 m, 0,5 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m, em função das metodologias de recomendação da gessagem, Votuporanga- SP, safra 2019/20 | 97 |
| Tabela 7- | Produtividade de matéria seca da forragem em área de pastagem convencional (PAST), após aplicação de gesso por diferentes metodologias, Votuporanga- SP, nas safras 2017/18, 2018/19 e 2019/20 | 99 |
| Tabela 8- | Análise de componentes principais para atributos químicos do solo nas profundidades de 0 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m e produtividade do milho (PROD) na safra 2017/18 em sistema de semeadura direta (SSD) | 100 |
| Tabela 9- | Análise de componentes principais para atributos químicos do solo na profundidade de 0 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m e produtividade do milho (PRODM) e matéria seca da forragem (PRODF) na safra 2019/20 em sistema de semeadura direta (SSD) | 102 |
| Tabela 10- | Análise de componentes principais para atributos físicos e químicos do solo na profundidade de 0 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m e produtividade do milho (PRODM) e matéria seca da forragem (PRODF) na safra 2019/20 em sistema de semeadura direta (SSD) | 105 |
| Tabela 11- | Análise de componentes principais para atributos químicos do solo nas profundidades de 0 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m e produtividade do milho (PROD) na safra 2017/18 em sistema agropastoril (SAP) | 108 |

| | | |
|------------|--|-----|
| Tabela 12- | Análise de componentes principais para atributos químicos do solo nas profundidades de 0 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m e produtividade de soja (PROD) na safra 2019/20 em sistema agropastoril (SAP) | 110 |
| Tabela 13- | Análise de componentes principais para atributos físicos e químicos do solo nas profundidades de 0 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m e produtividade de soja (PROD) na safra 2019/20 em sistema agropastoril (SAP) | 112 |
| Tabela 14- | Análise de componentes principais para atributos químicos do solo nas profundidades de 0 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m e matéria seca da forragem (PROD) na safra 2017/18 em pastagem convencional (PAST) | 115 |
| Tabela 15- | Análise de componentes principais para atributos químicos do solo nas profundidades de 0 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m e matéria seca da forragem (PROD) na safra 2019/20 em pastagem convencional (PAST) | 118 |
| Tabela 16- | Análise de componentes principais para atributos físicos e químicos do solo nas profundidades de 0 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m e matéria seca da forragem (PROD) na safra 2019/20 em pastagem convencional (PAST) | 120 |
| Tabela 17- | Acúmulo de matéria orgânica, carbono (C) e nitrogênio (N) e relação carbono nitrogênio no solo em diferentes sistemas de produção e metodologias de gessagem | 122 |
| Tabela 18- | Acúmulo de matéria orgânica, carbono (C) e nitrogênio (N) e relação carbono nitrogênio no solo em diferentes sistemas de produção | 123 |
| Tabela 19- | Valores de índice I e índice II em relação aos sistemas de produção | 124 |
| Tabela 20- | Superfície específica do solo em diferentes sistemas de produção e metodologias de gessagem | 125 |
| Tabela 21- | Superfície específica do solo em diferentes sistemas de produção | 126 |
| Tabela 22- | Teores de areia, silte e argila obtidos segundo a teoria do espalhamento de Mie em diferentes sistemas de produção e metodologias de gessagem | 127 |
| Tabela 23- | Teores de areia, silte e argila obtidos segundo a teoria do espalhamento de Mie em diferentes sistemas de produção | 128 |
| Tabela 24- | Teores de areia, silte e argila obtidos segundo a teoria de difração de Fraunhofer em diferentes sistemas de produção e metodologias de gessagem | 128 |
| Tabela 25- | Teores de areia, silte e argila obtidos segundo a teoria de difração de Fraunhofer em diferentes sistemas de produção | 129 |
| Tabela 26- | Resumo estatístico da análise multifractal a partir da dimensão generalizada para granulometria seguindo a teoria de Mie e fisissorção nos três sistemas de produção | 130 |
| Tabela 27- | Parâmetros do espectro de singularidade da granulometria seguindo a teoria de Mie e fisissorção nos três sistemas de produção | 131 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 20 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA | 22 |
| 2.1 | Fertilidade do solo em sistemas de produção na região do Cerrado | 22 |
| 2.2 | Atributos físicos do solo em sistemas de produção na região do Cerrado | 25 |
| 2.3 | Recomendações de uso de gesso agrícola | 28 |
| 2.4 | Uso de gesso agrícola na região do Cerrado | 30 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODOS | 32 |
| 3.1 | Localização e características da área experimental | 32 |
| 3.2 | Histórico e manejo das áreas | 34 |
| 3.2.1 | <i>Sistema de semeadura direta</i> | 34 |
| 3.2.2 | <i>Sistema agropastoril</i> | 36 |
| 3.2.3 | <i>Pastagem convencional</i> | 37 |
| 3.3 | Delineamento experimental e tratamentos | 37 |
| 3.4 | Avaliações | 38 |
| 3.4.1 | <i>Fertilidade do solo</i> | 38 |
| 3.4.2 | <i>Densidade, agregação e porosidade do solo</i> | 38 |
| 3.4.3 | <i>Granulometria a laser (GL)- método de difração a laser</i> | 39 |
| 3.4.4 | <i>Superfície específica (SE)</i> | 39 |
| 3.4.5 | <i>Espectroscopia (FTIR) e dados pré- processados</i> | 40 |
| 3.4.6 | <i>Análise elementar de C, N, e relação C/N</i> | 41 |
| 3.4.7 | <i>Milho</i> | 41 |
| 3.4.8 | <i>Soja</i> | 42 |
| 3.4.9 | <i>Crotalária juncea</i> | 42 |
| 3.4.10 | <i>Pastagem</i> | 42 |
| 3.5 | Análise dos resultados | 43 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 46 |
| 4.1 | Sistema de semeadura direta | 46 |
| 4.1.1 | <i>Fertilidade do solo</i> | 46 |
| 4.1.2 | <i>Física do solo</i> | 60 |
| 4.1.3 | <i>Planta</i> | 62 |
| 4.2 | Sistema agropastoril | 65 |
| 4.2.1 | <i>Fertilidade do solo</i> | 65 |
| 4.2.2 | <i>Física do solo</i> | 79 |
| 4.2.3 | <i>Planta</i> | 81 |
| 4.3 | Pastagem convencional | 83 |
| 4.3.1 | <i>Fertilidade do solo</i> | 83 |
| 4.3.2 | <i>Física do solo</i> | 96 |
| 4.3.3 | <i>Planta</i> | 98 |
| 4.4 | Multivariada | 99 |
| 4.4.1 | <i>Sistema de semeadura direta</i> | 100 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 4.4.2 | <i>Sistema agropastoril</i> | 107 |
| 4.4.3 | <i>Pastagem convencional</i> | 114 |
| 4.5 | Características do solo em diferentes sistemas de produção depois do uso do gesso agrícola (BEPE- La Coruña- Espanha) | 121 |
| 4.5.1 | <i>Matéria orgânica, C, N e relação C/N</i> | 121 |
| 4.5.2 | <i>Espectroscopia FTIR e dados pré-processados</i> | 124 |
| 4.5.3 | <i>Superfície específica (SE)</i> | 125 |
| 4.5.4 | <i>Granulometria a laser</i> | 127 |
| 5 | CONCLUSÕES | 133 |
| 6 | APÊNDICE | 134 |
| | REFERÊNCIAS | 143 |

1 INTRODUÇÃO

A atividade agrícola moderna passou a ser caracterizada por sistemas de produção padronizados e simplificados de monocultura devido ao aumento da demanda por alimentos e a evolução tecnológica na produção, mas, por efeito da elevada demanda por energia e recursos naturais que caracterizam esse sistema, as áreas têm apresentado sinais de saturação (BALBINO *et al.*, 2011) e degradação física, química e/ou biológica do solo e, além disso, áreas com textura arenosa apresentam maiores deficiências de fósforo e matéria orgânica. Isso se deve aos elevados teores de areia em sua composição (em média 70%), fazendo com que eles sejam altamente permeáveis, com baixa capacidade de retenção de água, baixos teores de matéria orgânica e adsorção de íons.

Devido a estas características, é importante que se faça uma gestão do uso e manejo adequado para estes solos, além de investir na reposição da matéria orgânica e nas práticas conservacionistas, visando tornar essas áreas menos suscetíveis à erosão e aumentar sua aptidão agrícola (BRADY; WEIL, 2013).

Para evitar a degradação e/ou o desgaste dos solos, os sistemas de manejo conservacionistas, como o sistema de semeadura direta (SSD) ou o sistema agropastoril (SAP), vem se expandindo por aumentar o acúmulo de matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes, e portanto, gera vários questionamentos sobre o manejo da fertilidade dos solos.

Nos sistemas agrícolas, de modo geral, o gesso pode ser empregado como fonte de enxofre (S) e de cálcio (Ca) e como condicionador de subsuperfície, promovendo aumentos nos teores de Ca e redução da saturação por alumínio, resultando em maior desenvolvimento do sistema radicular em profundidade no perfil do solo, com conseqüente melhoria na absorção de água e de nutrientes pelas plantas em sucessão (VITTI; PRIORI, 2009).

Na década de 1990, o gesso começou a ser utilizado em SSD para minimizar problemas de acidez, principalmente na redução da toxicidade por Al^{3+} . Nesse processo, o Al^{3+} é precipitado (ZAMBROSI *et al.* 2007) em uma forma menos tóxica ($AlSO_4^+$), além disso, a gessagem aumenta os teores de Ca^{2+} e SO_4^{2-} no subsolo (NEIS *et al.* 2010)

A necessidade de aplicação de gesso é determinada pela análise de solo, em função de vários métodos de recomendação na literatura, e na maior parte deles é

necessária também a determinação do teor de argila. Os principais critérios de recomendação de aplicação de gesso com a finalidade de melhoria de subsuperfície são os baseados na textura do solo (% de argila) (SOUSA; LOBATO, 2004) ou na saturação por bases (V%) e valores de CTC das camadas subsuperficiais (DEMATTE, 1986; VITTI *et al.*, 2008).

As reações do gesso agrícola que ocorrem no subsolo são a dissociação do CaSO_4^0 lixiviado em profundidade, troca iônica entre o Ca^{2+} do gesso e o Al^{3+} adsorvido à CTC e complexação do Al^{3+} pelo SO_4^{2-} e, essas reações melhoram o ambiente radicular, pois promovem o aumento do teor de Ca em profundidade, diminuem a saturação por alumínio (m%) e conseqüentemente a absorção de Al^{3+} pelas raízes, devido à formação do par iônico AlSO_4^+ (VITTI; PRIORI, 2009).

Existem diversas metodologias de recomendação de uso de gesso agrícola no Brasil, o que gera dúvidas quanto à quantidade adequada a ser utilizada e sem correlação direta com a produtividade das culturas em SSD ou SAP nos solos do Cerrado, sendo assim há necessidade de se estabelecer estudos que comprovem sua viabilidade de uso.

O presente trabalho objetivou avaliar qual dentre as cinco metodologias de recomendação de uso de gesso agrícola em diferentes sistemas sustentáveis de produção agropecuária é o mais eficiente em relação a movimentação de nutrientes no perfil do solo e relacionar com a produtividade agrícola em solo arenoso.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, F.; RAWAYFIH, Z. Basalumite and alumite: A possible cause of sulfate retention by acid soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.41, p.686-692, 1977.
- AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 1, p.189-197, 2001.
- AMARAL, L. A.; ASCARI, J.; DUARTE, W.M.; MENDES, I, R, N.; SANTOS, E. S.; JULIO, O. L. L. Efeito de doses de gesso agrícola na cultura do milho e alterações químicas no solo. **Agrarian**, Dourados, v. 10, n. 35, p. 31-41, 2017.
- ANGERS, D. A.; MEHUYS, G. R. Aggregate stability to water. *In*: CARTER, M. R. **Soil sampling and methods of analysis**. Boca Raton: Canadian Society of Soil Science, 2000. p. 529-539.
- BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; SILVA, V. P.; MORAES, A.; MARTÍNEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura pecuária floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 10, p. 1-12, 2011.
- BARBOSA FILHO, M. P.; FAGERIA, N. K.; ZIMMERMANN, F. J. P. Atributos de fertilidade do solo e produtividade do feijoeiro e da soja influenciados pela calagem em superfície incorporada. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 3, p. 507-514, 2005.
- BARRETO, R. F. **Estado nutricional, produtividade do milho e atributos químicos do solo em função da aplicação superficial de gesso e de calcário em sistema de semeadura direta**. 2016. 78 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Chapadão do Sul, 2016.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinamica e função da matéria orgânica. *In*: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metropole, p. 7-18, 2008.
- BERTIN, E. G.; ANDRIOLI, I.; CENTURION, J. F. Plantas de cobertura em pré-safra ao milho em plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, p. 379-386, 2005.
- BERTOL, I.; SCHICK, J.; BANDEIRA, D. H.; FERREIRO, J. P.; VÁZQUEZ, E. V. Multifractal and joint multifractal analysis of water and soil losses from erosion plots: A case study under subtropical conditions in Santa Catarina highlands, Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 287, p. 116–125, 2017.

BILIBIO, W. D.; CORRÊA, G. F.; BORGES, E. N. Atributos físicos e químicos de um latossolo, sob diferentes sistemas de cultivo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 817-822, 2010.

BISWAS, A. P. H.; SI, C. Application of multifractal and joint multifractal analysis in examining soil spatial variation: a review. *In*: QUADFEUL, S. A. (ed.). **Fractal analysis and chaos in geosciences**. 9. ed. [S.l.]: IntechOpen, 2012.

BLOTT, S. J.; PYE, K. A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.26, p. 1237-1248, 2016.

BOENI, M.; BAYER, C.; DIECKOW, J.; CONCEIÇÃO, P. C.; DICK, D. P.; KNICKER, H.; SALTON, J. C.; MACEDO, M. C. M. Organic matter composition in density fractions of cerrado ferralsols as revealed by CPMAS ¹³C NMR: Influence of pastureland, cropland and integrated crop-livestock. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 190, p. 80-86, 2014.

BOER, G. B. J.; WEERD, C.; THOENES, D.; GOOSSENS, H. W. J. Laser diffraction spectrometry: fraunhofer diffraction versus Mie scattering. **Particle & Particle Systems Characterization**, Weinheim, v. 4, p. 14-19, 1987.

BORGES, E. N.; LOMBARDI NETO, F.; CORRÊA, G. F.; COSTA, L. M. Misturas de gesso e matéria orgânica alterando atributos físicos de um Latossolo com compactação simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 21, n. 1, p. 125-130, 1997.

BORGMANN, C. **Movimentação de nutrientes em latossolo argiloso sob sistema de plantio direto**. 2019. 94 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus Cascavel, 2019.

BOSSOLANI, J. W. **Reaplicação superficial de calcário e gesso em sistema plantio direto: efeitos no solo e na sucessão de culturas**. 2018. 131 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2018.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 790 p.

BRASIL, E. C.; CRAVO, M. S.; VIEGAS, I. J. M. (Ed.). **Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2020.

BROCH, D. L.; RANNO, S. K. Fertilidade do solo, adubação e nutrição da cultura do milho safrinha. *In*: ROSCOE, R. *et al.* **Tecnologia e produção: milho safrinha e culturas de inverno**. Curitiba: MIDIOGRAF, 2009.

BRUNAUER, S.; EMMETT, P. H.; TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layers. **Journal of the American Chemical Society**, Washington, v. 60, p. 309-319, 1938.

- CAIRES, E. F.; GUIMARÃES A. M. Recomendação de gesso para solos sob plantio direto da região sul do Brasil. *In: FERTIBIO*, 2016, Goiânia. **Anais [...]**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 486., 2016.
- CAIRES, E. F.; MASCHIETTO, E. H. G.; GARBUIO, F. J.; CHURKA, S.; JORIS, H. A. W. Surface application of gypsum in low acidic Oxisol under no-till cropping system. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 68, n. 2, p. 209-216, 2011.
- CAIRES, E. F.; JORIS, H. A. W.; CHURKA, S. Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil. **Soil Use and Management**, Chichester, v. 27, n. 1, p. 45-53, 2011.
- CAIRES, E.; GARBUIO, F.; CHURKA, S.; JORIS, H. Use of gypsum for crop grain production under a subtropical no-till cropping system. **Agronomy Journal**, Madison, v. 103 p. 1804-1814, 2011b.
- CAIRES, E. F.; CHURKA, S.; GARBUIO, F. J.; FERRARI, R. A.; MORGANO, M. A. Soybean yield and quality as a function of lime and gypsum applications. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, n. 4, p. 370-379, 2006.
- CAIRES, E. F.; KUSMAN, M. T.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; PADILHA, J. M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p. 125-136, 2004.
- CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 2, p. 275-286, 2003.
- CAIRES, E. F.; FELDHAUS, I. C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da cevada em função da calagem e aplicação de gesso. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 3, p. 213-223, 2001.
- CAMPOS, B. H.; AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; NICOLOSO, R. S.; FIORIN, J. E. Carbon stock and its compartments in a subtropical Oxisol under long-term tillage and crop rotation systems. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, MG, v. 35, p. 805-817, 2011.
- CANIEGO, F. J.; ESPEJO, R.; MARTÍN M. A.; SAN JOSÉ, F. Multifractal scaling of soil spatial variability. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 182, p. 291–303, 2005.
- CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, G. C.; CURI, N.; SEVERIANO, E. C.; ZEVIANI, W. M. Relations of clay fraction mineralogy, structure and water retention in oxidic latosols (oxisols) from the brazilian cerrado biome. *In: VALAŠKOVA, M.; MARTYNKOVA, G. S. (ed.). Clay minerals in nature: their characterization, modification and application. [S.l]: IntechOpen, 2012.*
- CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R.; CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, p. 277:289, 2010.

CARVALHO, D. B.; BELLO, M.; PISSAIA, A.; MORAES, A. de.; PELISSARI, A.; MARQUES, R.; BONA FILHO, A. Fertilidade do solo em integração lavoura-pecuária na região de Guarapuava/PR. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 3, p. 57-65, 2005.

CARVALHO, M. C. S.; RAIJ, B. van. Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoils for root growth. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 192, p. 37-48, 1997.

CASTRO, A. M. C.; RUPPENTHAL, V.; RANDO, E. M.; MARCHIONE, M. S.; GOMES, C. J. A. Calcário e gesso no desenvolvimento do milho cultivado em um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico. **Revista Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 6, n. 1, p. 8-16, 2013.

CASTRO, W. J.; LEMKE-DE-CASTRO, M. L.; LIMA, J. O.; OLIVEIRA, L. F. C.; RODRIGUES, C.; FIGUEIREDO, C. C. Erodibilidade de Solos do Cerrado Goiano. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 4, n. 2, p. 305-320, 2011.

CHEFETZ, B.; Y. HADER, Y. C. Dissolved organic carbon fractions formed during composting of municipal solid waste: properties and significance. **Acta Hydrochimica et Hydrobiologica**, Weinheim, v. 26, p. 172-179, 1998.

CHHABRA, A. B.; JENSEN, R. V. Direct determination of the $f(\alpha)$ singularity spectrum. **Physical Review Letters**, College Park, v. 62, p. 1327-1330, 1989.

CHI, C.; ZHAO, C.; SUN, X.; WANG, Z. Reclamation of saline-sodic soil properties and improvement of rice (*Oriza sativa* L.) growth and yield using desulfurized gypsum in the west of Songnen Plain, northeast China. **Geoderma**, Amsterdam, v. 187, p. 24-30, 2012.

CHIODEROLI, C. A.; MELLO, L. M. M.; GRIGOLLI, P. J.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, J. O. R.; CESARIN, A. L. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, p. 37-43, 2012.

COBUCCI, T.; WRUCK, F. J.; KLUTHCOUSKI, J.; CAVALCANTE, L. M.; MARTHA JUNIOR, G. B.; CARNEVALLI, R. A.; TEIXEIRA, S. R.; POLINÁRIA, A.; TEIXEIRA, M. Opções de integração lavoura pecuária e alguns de seus aspectos econômicos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, p. 64-79, 2007.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento safra brasileira de grãos**, v. 7, safra 2019/20- Décimo segundo levantamento, Brasília, p. 1-33, 2020.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento safra brasileira de grãos**, v. 6, safra 2018/19 - Décimo segundo levantamento, Brasília, p. 1-47, 2019.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento safra brasileira de grãos**, v. 9, safra 2017/19- Nono levantamento, Brasília, p. 1-178, 2018.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K. S. M.; YOKOBATAKE, L.; FERREIRA, J. P.; PARIZ, C. M.; BONINI, C. S. B.; LONGHINI, V. Z. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 39, n. 3, p.852-863, 2015.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M. ULIAN, N. A.; COSTA, B. S.; PARIZ, C. M.; CAVASANO, F. A.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Produtividade da soja sobre palhada de forrageiras semeadas em diferentes épocas e alterações químicas no solo. **Agrária**. Recife, v. 10, n. 1, p. 8-16, 2015.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; ULIAN, N. A.; COSTA, B. S.; PARIZ, C. M.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Acúmulo de nutrientes e tempo de decomposição da palhada de espécies forrageiras em função de épocas de semeadura. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 31, n. 3, p. 818829, 2015a.

COSTA, S. E. V. G. A.; SOUZA, E. D.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; MARTINS, A. P.; KUNRATH, T. R.; CECANO, T.; BALERINI, F. Impact of an integrated no-till crop–livestock system on phosphorus distribution, availability and stock. **Agriculture, ecosystems & environment**, Netherlands, v. 190, p. 43-51, 2014b.

COSTA, K. A. P.; ARAUJO, J. L.; FAQUIM, V.; OLIVEIRA, I. P.; FIGUEIREDO, F. C.; GOMES, K. W. Extração de macronutrientes pela a fitomassa do capim-xaraés “xaraés” em função das doses de nitrogênio e potássio. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p.1162-1166, 2008.

COUTINHO, L. M. **Aspectos do cerrado**: solo. 2000. Disponível em: http://ecologia.ib.usp.br/cerrado/aspectos_solo.htm. Acesso em: 05 nov. 2021.

CREMON, C.; ROSA JÚNIOR, E. J.; SERAFIM, M. E.; ONO, F. B. Análise micromorfométrica de agregados de um Latossolo Vermelho Distroférrico em diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 1, p. 139-146, 2009.

CRUSCIOL, C. A. C.; ARTIGIANI, A. C. C. A.; ARF, O.; CARMEIS FILHO, A. C. A.; SORATTO, R. P.; NASCENTE, A. S.; ALVAREZ, R. C. F. Soil fertility, plant nutrition, and grain yield of upland rice affected by surface application of lime, silicate, and phosphogypsum in a tropical no-till system. **Catena**, Amsterdam, v. 137, p. 87–99, 2016.

CRUSCIOL, C. A. C.; FOLTRAN, R.; ROSSATO, O. B.; McCRAY, J. M.; ROSSETTO, R. Effects of surface application of calcium magnesium Silicate and gypsum on soil fertility and sugarcane yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 38, n. 6, p. 1843-1854, 2014.

CUSTÓDIO, D. P.; OLIVEIRA, I. P. D.; COSTA, K. A. D. P.; SANTOS, R. S. M.; FARIA, C. D. Avaliação do gesso no desenvolvimento e produção do capim-tanzânia. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 6, n. 1, p.27-34, 2006.

DEMATTE, J. L. I. Solos arenosos de baixa fertilidade: estratégia de manejo. *In*: SEMANA AGROINDUSTRIAL, 5, SEMANA “Luiz de Queiroz”, 29, 1986, Piracicaba. **Anais** [...]. Piracicaba: USP/ESALQ, 1986. (Mimeografado).

DIAS, L. E. **Uso de gesso como insumo agrícola**. Seropédica: Embrapa - Centro Nacional de Pesquisa de Biologia - CNPBS, 1992. 6 p. (Comunicado Técnico, 7).

DING, G.; NOVAK, J. M.; AMARASIRIWARDENA, D.; HUNT, P. G.; XING, B. Soil organic matter characteristics as affected by tillage management. **Soil Science Society and America Journal**, Madison, v. 66, p. 421–429, 2002.

EBELING, A. G.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; VALLADARES, G. S.; PÉREZ, D. V. Substâncias húmicas e suas relações com o grau de subsidência em Organossolos de diferentes ambientes de formação no Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 2, p. 225-233, 2013.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Balanço energético nacional 2013, **I Relatório Síntese I ano base 2012**. Disponível em: http://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2013_Web.pdf . Acesso em: 12 set. 2021.

ENGLAND. Malven Instruments Ltd. 1998, 1999. MAN 0247: **Operators Guide**. England, 2003. 108 p.

FAGERIA, N. K. Role of soil organic matter in maintaining sustainability of cropping systems. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, London, v. 43, n. 16, p. 2063-2113, 2012.

FAVARETTO, N.; NORTON, L. D.; JOERN, B. C.; BROUDER, S. M. Gypsum amendment and exchangeable calcium and magnesium affecting phosphorus and nitrogen in runoff. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 70, n. 5, p.1788-1796, 2006.

FAVORETTO, C. M.; GONÇALVES, D.; MILORI, D. M. B.; ROSA, J. A.; LEITE, W. C.; BRINATTI, A. M.; SAAB, S. C. Determinação da humificação da matéria orgânica de um Latossolo e de suas frações organo-minerais. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 8, p. 1994-1996, 2008.

FERREIRA, R. R. M.; TAVARES FILHO, J.; FERREIRA, V. M. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. **Revista Semina: Ciências Agrônomicas**, Londrina, v. 31, p. 913-932, 2010.

FOIS, D. A. F.; LANA, M. C.; VERA, L. R. Q.; ALVAREZ, J. W. R.; ROJAS, C. A. L.; TIECHER, T. Efeito do gesso agrícola na disponibilidade de enxofre e no rendimento da soja e milho safrinha. **Revista Cultivando o Saber**, Cascavel v. 10, n. 3, p. 35 a 47, 2017.

- FONSECA, G. C.; CARNEIRO, M. A. C.; COSTA, A. R.; OLIVEIRA, G. C.; BALBINO, L. C. Atributos físicos, químicos e biológicos de Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado sob duas rotações de cultura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 1, p.22-30, 2007.
- FONTANA, A.; SILVA, C. F.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; BRITO, R. J.; BENITES, V. M. Avaliação dos compartimentos da matéria orgânica em área de Mata Atlântica. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 3, p. 545-550, 2011.
- FONTANELI, R. S.; AMBROSI, I.; SANTOS, H. P.; IGNACZAK, J. C.; ZOLDAN, S. M. Análise econômica de sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno, em sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 11, p. 2129- 2137, 2000.
- FRANCHINI, J. C.; HOFFMANN-CAMPO, C. B.; TORRES, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, A. Organic composition of green manure during growth and its effect on cation mobilization in an acid oxisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 34, p. 2045–2058, 2003.
- FRAZAO, L. A.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado mato-grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, p. 641- 648, 2008.
- FUENTES, M.; GOVAERTS, B.; DE LEÓN, F.; HIDALGO, C. O.; SAYRE, K. D.; ETCHEVERS, J.; DENDOOVEN, L. Fourteen years of applying zero and conventional tillage, crop rotation and residue management systems and its effect on physical and chemical soil quality. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 30, n. 3, p. 228–237, 2009.
- GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; FLORES, J. P. C. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, p. 691-699, 2007.
- GAZOLLA, P. R.; GUARESCHI, R. F.; PERIN, A.; PEREIRA, M. G.; ROSSI, C. Q. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 2, p. 693-704, 2015.
- GOEDERT, W. J.; OLIVEIRA, S. A. Fertilidade do solo e sustentabilidade da atividade agrícola. *In*: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V.; V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 991-1017.
- GRIFFITHS, P. R.; HASETH, J. A. **Fourier transform infrared spectrometry**. 2. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2007.
- GUAN, X.; YANG, P.; LI, Y. Analysis on spatial variability of soil properties based on multifractal theory. **Journal of Basic Science and Engineering**, New York, v. 19, p. 712–720, 2011.

GUELFY, D. R.; FAQUIN, V.; SOUZA, M. A. S.; OLIVEIRA, G. C.; SANTOUCY, S. G.; BASTOS, C. E. A. Características estruturais e produtivas do capim-marandu sob efeitos de corretivos da acidez, gesso e compactação do solo. **Interciencia**, Venezuela, v. 38, n. 9, p. 681-687, 2013.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 82, p. 121-145, 2005.

HENTSCHEL, H. G. E.; PROCACCIA, I. The infinite number of generalized dimensions of fractals and strange attractors. **Physica D**, Amsterdam, v. 8, p. 435-444, 1983.

HSU, J. H.; LO, S. L. Chemical and spectroscopic analysis of organic matter transformations during composting of pig manure. **Environmental Pollution**, Oxford, v. 104, p. 189-196, 1999.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A.; FERREIRA, L. R.; SILVA, A. F.; FREITAS, F. C. L. Manejo de plantas daninhas no consórcio de milho com capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*). **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 22, p. 553-560, 2004.

JAMALA, G. Y.; OKE, D. O. Humic substances and Mineral-Associated soil organic carbon as influenced by land use in Southeastern Adamawa State, Nigeria. **Journal of Environmental Science**, Orissa, v. 5, n. 5, p. 59-70, 2013.

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H.; COBUCCI, T. Opções e vantagens da integração lavoura-pecuária a produção de forragens na entressafra. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, p.16-29, 2007.

KOZIŁOWSKI, M.; KOMISAREK, J. Textural diversity in selected Retisols in the catena of the Opalenica Plain (western Poland). **Soil Science Annual**, Philadelphia, v. 68, p. 11-18, 2017.

LEÃO, M. G. A.; MARQUES JUNIOR, J.; SOUZA, Z. M.; SIQUEIRA, D.; PEREIRA, G. T. Terrain forms and spatial variability of soil properties in an area cultivated with citrus. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, p. 644-651, 2011.

LEBRON, I.; SUAREZ, D.L.; YOSHIDA, T. Gypsum effect on the aggregate size and geometry of three sodic soils under reclamation. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 66, p. 92-98, 2001.

LILAND, K. **Extended multiplicative signal correction. package “EMSC”, Date 2016- 04-24. Repository CRAN.** Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/EMSC/index.html>. Acesso em: 15 dez. 2021.

LILAND, K. H.; MEVIK, B. H. **Baseline**: baseline correction of spectra. Disponível em: URL [https:// CRAN. R-project. org/package=baseline](https://CRAN.R-project.org/package=baseline). R package version: 1.2-1. 2015. Acesso em: 12 ago. 2021.

LIMA, R. C.; MELO, L. M. M.; YANO, E. H.; SILVA, J. O. R.; CESARIN, A. L. Modalities for soil preparation and gypsum application in ultisol: system productivity of sugar cane. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 6, p. 1180-1190, 2013.

LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A.; SILVA, J. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado em plantio direto. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 44, p.16-23, 2013.

LOPES, E. E. S. **Aplicação superficial de calcário e gesso em solos arenosos: atributos químicos do solo e qualidade da pastagem *Urochloa brizantha* cv. Piatã**. 2020. 57 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2020.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. A. G. **Solos sob cerrado: manejo da fertilidade para a produção agropecuária**. 2. ed. São Paulo: ANDA, 1994. 62 p. (Boletim técnico, 5).

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 10, p. 1269-1276, 2011.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em diferentes sistemas de produção orgânica. **Idesia**, Chile, v. 29, n. 2, p. 11-19, 2011.

LUZ, L. R. Q. P.; PAZ GONZÁLEZ, A.; VIDAL VÁZQUEZ, E.; FERREIRO, J. P.; DORTZBACH, D. Superfície específica de solos do sul do Brasil. *In*: CONGRESSO SOBRE USO E MANEJO DO SOLO, 7, 2016, Coimbra. **Livro de Resumos [...]**. Coimbra: [s.n.], 2016. p. 19.

MAIRHOFER, S.; ZAPPALA, S.; TRACY, S. R.; STURROCK, C.; BENNETT, M.; MOONEY, S. J.; PRIDMORE, T. RooTrak: Automated recovery of three-dimensional plant root architecture in soil from X-ray microcomputed tomography images using visual tracking. **Plant Physiology**, Rockville, v. 158, p. 561-569, 2012.

MALAVOLTA, E. **Efeitos de doses e fontes de enxofre em culturas de interesse econômico. I- Capim colônia. II- Colza. III- Sorgo Sacarino**. São Paulo: Centro de Pesquisa e Promoção de Sulfato de Amônio, 1984. 60 p. (Boletim técnico, 3).

MALVERN INSTRUMENTS. **Sample dispersion & refractive index guide**. Spring Lane South: Malvern Instruments, 1996.

MASCHIETTO, E. H. G. **Gesso agrícola na produção de milho e soja em solo de alta fertilidade e baixa acidez em subsuperfície em plantio direto**. 2009. 56 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2009.

MENDONÇA, V. Z.; MELLO, L. M. M.; ANDREOTTI, M.; PARIZ, C. M.; YANO, E. H.; PEREIRA, F. C. B. L. Liberação de nutrientes da palhada de forrageiras

consoiciadas com milho e sucessão com soja. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 39, p. 183 - 193, 2015.

MENDONÇA, V. Z.; MELLO, L. M. M.; ANDREOTTI, M.; PEREIRA, F. C. B. L.; LIMA, R. C.; VALÉRIO FILHO, W. V.; YANO, E. H. Avaliação dos atributos físicos do solo em consórcio de forrageiras e milho em sucessão com soja em região de cerrados **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 37, n. 1, p. 251-9, 2012.

MICHALOVICZ, L.; MÜLLER, M.M.L.; FOLONI, J.S.S.; KAWAKAMI, J.; NASCIMENTO, R.; KRAMER, L.F.M. Soil fertility, nutrition and yield of maize and barley with gypsum application on soil surface in no-till. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 38, p. 1496-1505, 2014.

MILORI, D. M. B. P.; PÉREZ, M. G.; BAGNATO, V. S.; MELO, W. J.; MARTINETO, L. Aplicação de fotoluminescência para determinação da humificação da matéria orgânica em solos sob plantio direto e manejo convencional. **Revista Pesquisa em Andamento**, São Carlos, n. 30, p. 1-10, 1999. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/29706/aplicacao-de-fotoluminescencia-para-determinacao-do-grau-de-humificacao-da-materia-organica-em-solos-sob-plantio-direto-e-manejo-convencional>. Acesso em: 11 maio 2022.

MODA, L. R.; BORGES, B. M. M.; FLORES, R. A.; SANTOS, C. L. R.; PRADO, R. M.; SOUSA, J. I. Gessagem na cultura da soja no sistema de plantio direto com e sem adubação potássica. **Revista Agroambiente On-line**, [Roraima], v. 2, n. 7, p. 129-135, 2013.

MORETI, D.; ALVES, M. C.; VALÉRIO FILHO, W. V.; CARVALHO, M. P. Atributos químicos de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo, adubações e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, p. 167-175, 2007.

MÜLLER, M. M. L.; TORMENA, C. A.; GENUÍ, A. M.; KRAMER, L. F. M.; MICHALOVICZ, L.; CAIRES, E. F. Structural quality of a no-tillage red latosol 50 months after gypsum application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 36, p. 1005-1014, 2012.

NAVA, G.; ERNANI, P. R.; SÁ, A. A.; PEREIRA, A. J. Soil Composition and nutritional status of apple as affected by long-term application of gypsum. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 36, n. 1, p. 215-222, 2012.

NEIS, L.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PINTO, F. A. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 2, p. 409-416, 2010.

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

OLIVEIRA, M. P.; ROQUE, C. G.; PIATI, G. L.; GODINHO, O. L.; TEODORO, P. E. Plantas de cobertura e efeito residual do calcário e gesso nos atributos físicos do solo em subsuperfície. **Research, Society and Development**, Itabira, v. 9, p. 1-18, 2020.

OLIVEIRA, I. P.; COSTA, K. A. P.; FAQUIN, V.; MACIEL, G. A.; NEVES, B. P.; MACHADO, E. L. Efeitos de fontes de cálcio no desenvolvimento de gramíneas solteiras e consorciadas. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 33, n. 2, p. 592-598, 2009.

OLIVEIRA, P. S. R.; FITTIPALDI, W. L. S. L.; OLIVEIRA JÚNIOR, P. R.; GUALBERTO, R.; GUIMARÃES, A. M. Efeitos de tipos de preparo do solo e uso de gesso agrícola sobre as características químicas e produtividade de milho e braquiária em cultivo consorciado. **Scientia Agraria Paranaensis**, Cascavel, v. 6, n. 1, p. 53-65, 2007.

PACHECO, L. P.; PIRES, F. R.; MONTEIRO, F. P.; PROCOPIO, S. O.; ASSIS, R. L.; CARMO, M. L.; PETTER, F. A. Desempenho de plantas de cobertura em sobressemeadura na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, p. 815-823, 2008.

PACHECO, L. P.; LEANDRO, W. M.; ALMEIDA-MACHADO, P. L. O. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 1, p. 17-25, 2011.

PACHECO, L. P.; BARBOSA, J. M.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O. A.; ASSIS, R. L. DE; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura e produtividade de soja e arroz em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 48, n. 9, p.1228-1236, 2013.

PARIZ, C. M.; ANDEOTTI, M.; BUZETTI, S.; BERGAMASCHINE, F. A.; ULIAN, N. A.; FURLAN, L. C.; MEIRELLES, P. R. L.; CAVASANO, F. A. Straw decomposition of nitrogen-fertilized grasses intercropped with irrigated maize in an integrated crop livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, p. 2029 - 2037, 2011.

PAULETTI, V.; PIERRI, L.; RANZAN, T.; BARTH, G.; MOTTA, A. C. V. Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 38, p. 495-505, 2014.

PAVAN, M. A. **Comportamento do gesso nos solos ácidos das regiões tropicais e subtropicais**. Piracicaba: POTAFOS - Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. 3 p. (Informações Agronômicas, 35).

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

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T. Toxicity of aluminum to coffee seedlings grown in nutrient solution. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 46, p. 993-997, 1982.

- PELLEGRINI, B. D. **Adsorção máxima de sulfato como critério de gessagem e lixiviação de Íons em Solos contrastantes**. 2012. 60 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2012. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/areadoinstitutoposgraduacao/repositorio/storage/pb00007.pdf>. Acesso em: 11 maio 2022.
- PORTES, T. A.; CARVALHO, S. I. C.; OLIVEIRA, I. P.; KLUTHCOUSKI, J. Análise do crescimento de uma cultivar de braquiária em cultivo solteiro e consorciado com cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, p. 1349-1358, 2000.
- RAIJ, B. van. **Gesso na agricultura**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008. 233 p.
- RAIJ, B. van.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 284 p.
- RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. 285 p. (Boletim técnico, 100).
- RAIJ, B. van. **Reações de gesso em solos ácidos**. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 2, 1992, p. 106- 119, 1992.
- RAMOS, B. Z.; TOLEDO, J. P. V. F.; LIMA, J. M. D.; SERAFIM, M. E.; BASTOS, A. R. R.; GUIMARÃES, P. T. G.; COSCIONE, A. R. Gypsum applications to coffee: influence on calcium, magnesium and potassium contents and pH of the solution of a dystrophic Red Latosol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 37, n. 4, p. 1018-1026, 2013.
- RAMPIM, L.; LANA, M. C.; FRANDOLOSO, J. F. Fósforo e enxofre disponível, alumínio trocável e fósforo remanescente em Latossolo Vermelho submetido ao gesso cultivado com trigo e soja. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 4, p. 1623-1638, 2013.
- RAMPIM, L.; LANA, M. C.; FRANDOLOSO, J. F.; FONTANIVA, S. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 5, p. 1687-1698, 2011.
- RASHID, M.; IQBAL, M. N.; AKRAM, M.; ANSAR, M.; HUSSAIN, R. Role of gypsum in wheat production in rainfed areas. **Soil Environment**, Dordrecht, v. 27 p. 166-170, 2008.
- REEVE, N. G.; SUMNER, M. E. Amelioration of subsoil acidity in Natal Oxisols by leaching of surface-applied amendments. **Agrochimica**, Pretoria, v. 4, p. 1-6, 1972.
- RESENDE, H. O. **Efeito residual da gessagem e adubação fosfatada na cultura do milho segunda safra**. 2018. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2018.

- RIBEIRO, M. R.; OLIVEIRA, L. B.; ARAÚJO FILHO, J. C. Caracterização morfológica do solo. *In: KER, J. et al. (ed.). Pedologia: fundamentos*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. p. 47-79.
- RODRIGUES, J. C.; CARMO, D. L.; NANNETTI, D. C.; MARQUES, H.; PEREIRA, R. A. Relação Ca/Mg no solo e produtividade do cafeeiro em função de elevadas doses de gesso agrícola. *In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 9, 2015, Curitiba. Anais [...]. Curitiba: [s.n.], 2015.*
- ROSA JUNIOR, 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. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 36, n. 1, p. 37-44, 2007.
- ROSA JUNIOR, E. J.; VITORINO, A. C. T.; VITORINO P. F. P. G. Efeito da calagem, gessagem e adubação fosfatada sobre algumas características físicas de um Latossolo Roxo Distrófico de Dourados - MS. **Revista Científica**, v. 1, n. 1, p. 5-12, 1994.
- ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIACOMO, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Frações húmicas da matéria orgânica do solo cultivado com soja sobre palhada de braquiária e sorgo. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 3, p. 622-630, 2011.
- ROTH, C. H.; PAVAN, M. A.; CHAVES, J. C. D.; MEYER, B.; FREDE, H. G. Efeito das aplicações de calcário e gesso sobre a estabilidade de agregados e infiltrabilidade de água em um Latossolo Roxo cultivado com cafeeiros. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 10, n. 2, p. 163-166, 1986.
- ROZANE, D. E.; CENTURION, J. F.; ROMUALDO, L. M.; TANIGUCHI, C. A. K.; TRABUCO, M.; ALVES, A. U. Estoque de carbono e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho distrófico, sob diferentes manejos. **Bioscience Journal**, Uberlândia v. 26, p. 24-32, 2010.
- SÁ, J. C.; TIVET, F.; LAL, R.; SANTOS, J. B. Long-term tillage systems impacts on soil C dynamics, soil resilience and agronomic productivity of a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 136, p. 38-50, 2014.
- SALDANHA, E. C. M.; ROCHA, A. T.; OLIVEIRA, E. C. A.; NASCIMENTO, C. W. A.; FREIRE, F. J. Uso do gesso mineral em Latossolo cultivado com cana-deaçúcar. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 20, n. 1, p. 36-42, 2007.
- SALTON, J. C.; TOMAZI, M. **Sistema radicular de plantas e qualidade do solo**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2014. (Comunicado Técnico, 1980).
- SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAUER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, M. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 1, p. 11-21, 2008.

SAN JOSÉ MARTÍNEZ, F.; CANIEGO, J.; GUBER, A.; PACHEPSKY, Y.; REYES, M. Multifractal modeling of soil microtopography with multiple transects data. **Ecological Complexity**, Amsterdam, v. 6, p. 240–245, 2009.

SANTOS, E. L.; MARONEZE, L. P.; TONSIC, D. H.; ARMACOLO, N. M.; GUIMARÃES, M. F.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.; BALBINO JR, A. A. Distribuição de raízes, resistência tênsil e friabilidade de agregados em solo com diferentes sistemas de manejo. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 16, p. 19-28, 2020.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SANTOS, D. C.; LIMA, C. L. R.; KUNDE, R. J.; CARVALHO, J. S.; ABEIJON, L. M.; PILLON, C. N. Agregação e proteção física da matéria orgânica em planossolo háptico sob diferentes sistemas de manejo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, p. 54-63, 2012.

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T.; DREON, G. Fertilidade e teor de matéria orgânica do solo em sistemas de produção com integração lavoura e pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 3, p.474-482, 2011.

SANTOS, L. N. S.; PASSOS, R. R.; SILVA, L. V. M.; OLIVEIRA, P. P.; GARCIA, G. O.; CECÍLIO, R. A. Avaliação de alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho amarelo sob diferentes coberturas vegetais. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, p. 940-947, 2010.

SANTOS, G. G.; SILVEIRA, P. M.; MARCHÃO, R. L.; BECQUER, T.; BALBINO, L. C. Macrofauna edáfica associada a plantas de cobertura em plantio direto em um latossolo vermelho do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, p. 115-122, 2008.

SANTOS, A. B.; FAGERIA, N. K.; ZIMMERMANN, F. J. P. Atributos químicos do solo afetado pelo manejo da água e do fertilizante potássico na cultura de arroz irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 12-16, 2002.

SATO, J. H. **Métodos para determinação do carbono orgânico em solos do Cerrado**. 2013. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2013.

SCHLUETER, S.; VOGEL, H. J. Analysis of soil structure turnover with garnet particles and X-Ray microtomography. **Plos One**, San Francisco, v. 11, p. 1-17, 2016.

SEGNINI, A.; CARVALHO, J. L. N.; BOLONHEZI, D.; MILORDI, D. M. B. P.; SILVA, W. T. L.; SIMÕES, M. L.; CANTARELLA, H.; MARIA, I. C.; MARTIN-NETO, L. Carbon stock and humification index of organic matter affected by sugarcane

straw and soil management. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 70, n. 5, p. 321- 326, 2013.

SÉQUARIS, J. M. Modeling the effects of Ca^{2+} and clay-associated organic carbon on the stability of colloids from topsoils. **Journal of Colloid and Interface Science**, Philadelphia, v. 343, p. 408-414, 2010.

SERAFIM, M. E.; LIMA, J. M.; LIMA, V. M. P.; ZEVIANI, W. M.; PESSONI, P. T. Alterações físico-químicas e movimentação de íons em Latossolo gibbsítico sob doses de gesso. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 1, p. 75-81, 2012.

SHAINBERG, I.; SUMNER, M. E.; MILLER, W. P.; FARINA, M. P. W.; PAVAN, M. A.; FEY, M. V. Use of gypsum on soils: a review. **Advances in Soil Science**, New York, v. 9, p. 1-111, 1989.

SILVA, Ê. F. F., TOMILLO, A. G.; SOUZA, D. H. S.; VIDAL-VÁZQUEZ, E., SIQUEIRA, G. M., GONZÁLEZ, A. P. Multifractal and joint multifractal analysis of soil micronutrients extracted by two methods along a transect in a coarse textured soil. **European Journal of Soil Science**, West Sussex, v. 36, 2020.

SILVA, F. A.; FREITAS, F. C. L.; ROCHA, P. R. R.; CUNHA, J. L. X. L.; DOMBROSKI, J. L. D.; COELHO, M. E. H.; LIMA, M. F. P. Milho para ensilagem cultivado nos sistemas de plantio direto e convencional sob efeito de veranico. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 1, p. 327-340, 2015.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 21, p. 313-319, 1997.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A History of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 79, p. 7-31, 2004.

SOARES, G. F. **Gesso e fósforo na sucessão soja/milho safrinha**. 2016. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2016.

SOBRAL, L. F.; CINTRA, F. L. D.; SMYTH, T. J. Lime and gypsum to improve root depth of orange crop in an Ultisol of the Coastal Tablelands. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 836-839, 2009.

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

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**, Viçosa, MG, v. 32, n. 2, p. 675-688, 2008.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes pela aveia-preta em função da aplicação de calcário e gesso em superfície na

implantação do sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 928-935, 2008.

SOUSA, D. M. G.; NUNES, R.S.; REIN, T.A.; SANTOS JUNIOR, J. D.G.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção na região do cerrado. *In*: FLORES, R. A.; CUNHA, P. P. (ed.). **Práticas de manejo do solo para adequada nutrição de plantas no cerrado**. Goiânia: Gráfica UFG, 2016. Cap. 5, p. 124-190.

SOUSA, D. M. G.; REIN, T. A.; ALBRECH, J. C. Resposta a gesso pela cultura do algodão cultivada em sistema de plantio direto em um Latossolo de Cerrado. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DO CERRADO, 9. 2008, Brasília, DF. **Anais [...]**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. **Uso do gesso agrícola nos solos do cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2005. (Circular Técnica, 32). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/568533/1/cirtec32.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2022.

SOUSA, D. M. G.; VILELA, L.; LOBATO, E.; SOARES, W. V. **Uso de gesso, calcário e adubos para pastagens no cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. (Circular Técnica, 12).

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Cerrados, 2004. 416 p.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P. DOS; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Atributos físicos de um Hapludox em função de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP), sob plantio direto. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 1, p. 37-44, 2010a.

SUMNER, M. E.; SHAHANDEH, H.; BOUTON, J.; HAMMEL, J. Amelioration of an acid soil prolife through deep liming an surface application of gypsum. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 50, p. 1254-1278, 1986.

TABATABAI, M. A.; HANWAY, J. J. Sulphur fractions and carbonnitrogenphosphorus-sulphur relationship in same Brazilian and Iowa soils. **Soil Science Society American Proceeding**, Madison, v. 39, n. 1, p. 51-55, 1975.

TEIXEIRA, M. B.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PIMENTEL, C. Decomposição e liberação de nutrientes da parte aérea de plantas de milho e sorgo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, p. 867-876, 2011.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.

TOMASI, C.; INDA, A. V.; DICK, D. P. Substâncias húmicas em Latossolo subtropical de altitude sob usos e manejos distintos. **Revista Ciencia Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 12, p. 2180- 2184, 2012.

TOMILLO, A. G.; DIAS, R. S.; VÁZQUEZ, E. V.; VILA, I. V.; ARMESTO, M. V.; DAFONTE, J. D.; GONZÁLEZ, A. P. Multifractal and joint multifractal description of available nutrients concentrations extracted by two methods along short transects. **Archives of Agronomy and Soil Science**, Abingdon, v. 66, p. 236–249, 2019.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; FABIAN, A. J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 3, p. 421-428, 2008.

VEUM, K.; GOYNE, K.; KREMER, R.; MILES, R.; SUDDUTH, K. Biological indicators of soil quality and soil organic matter characteristics in an agricultural management continuum. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 117, p. 81–99, 2014.

VIDAL-VÁZQUEZ, E.; CAMARGO, O. A.; VIEIRA, S. R.; MIRANDA, J. G. V.; MENK, J. R. F.; SIQUEIRA, G. M.; MIRÁS-AVALOS, J. M.; PAZ GONZÁLEZ, A. Multifractal analysis of soil properties along two perpendicular transects. **Vadose Zone Journal**, Madison, v. 12, n. 3, p. 1-13, 2013.

VILAS-BOAS, P. R.; ROMANO, R. A.; FRANCO, M. A. M.; FERREIRA, E. C.; FERREIRA, E. J.; CRESTANA, S.; MILORI, D. M. B. P. Laser-induced breakdown spectroscopy to determine soil texture: A fast analytical technique. **Geoderma**, Amsterdam, v. 263, p. 195-202, 2016.

VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G. B.; MACEDO, M. C. M.; MARCHÃO, R. L.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; PULROLNIK, K.; MACIEL, G. A. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 10, p. 1127-1138, 2011.

VILELA, L.; MACEDO, M. C. M.; MARTHA JÚNIOR, G. B.; KLUTHCOUSKI, J. Benefícios da integração lavoura-pecuária. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa, 2003. p. 145-170.

VILELA, L.; SOAREA, W. V.; SOUSA, D. M. G.; MACEDO, M. C. M. **Calagem e adubação para pastagens na região do Cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2000. 15 p. (Circular técnica/ Embrapa Cerrados, 37).

VITAL, A. F. M.; SANTOS, R. V.; CAVALCANTE, L. F.; SOUTO, J. S. Comportamento de atributos químicos de um solo salino-sódico tratado com gesso e fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 30-36, 2005.

VITTI, G. C.; PRIORI, J. C. **Calcário e gesso: os corretivos essenciais ao plantio direto**. 2009. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/VA9-Fertilidade01.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2022.

VITTI, C. G.; LUZ, P. H. C.; MALAVOLTA, E.; DIAS, A. S.; SERRANO, C. G. E. **Uso do gesso em sistemas de produção agrícola**. Piracicaba: GAPE, 2008. 104 p.

WANG, F.; WANG, J.; WANG, Y. Using multi-fractal and joint multi-fractal methods to characterize spatial variability of reconstructed soil properties in an opencast coal-mine dump in the Loess area of China. **Catena**, West Midlands, v. 182, p. 104-111, 2019.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONCA, E. S.; ALVARENGA, R. C. Organic-matter pools of soil under pines and annual cultures. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 41, p. 1707-1722, 2010.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, n. 5, p. 487-494, 2005.

WIDOMSKI, M. K.; STEPNIIEWSKI, W.; POLAKOWSKI, C. Molding water content of clay soils and hydraulic properties of mineral liners of waste landfills. **Ecological Chemical Engineering**, Opole, v. 22, p. 251-263, 2015.

YODER R. E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of the American Society of Agronomy**, Madison, v. 28, n. 5, p. 337-357, 1936.

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. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, n. 37, v. 1, p. 110-117, 2007.

ZANDONÁ, R. R.; BEUTLER, A. N.; BURG, G. M.; BARRETO, C. F.; SCHMIDT, M. R. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, p. 128-137, 2015.

ZELEKE, T. B.; SI, B. C. Characterizing scale-dependent spatial relationships between soil properties using multifractal techniques. **Geoderma**, Amsterdam, v. 134, p. 440-452, 2006.

ZERZGUI, H.; GERBA, C. P.; BROOKS, J. P.; PEPPER, I. L. Long-term effects of land application of class b biosolids on the soil microbial populations, pathogens, and activity. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 39, p. 402-408, 2010.

ZINN, Y. L.; LAL, R.; BIGHAM, J. M.; RESCK, D. V. S. Edaphic controls on soil organic carbon retention in the Brazilian Cerrado: soil texture and mineralogy. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 71, p. 1204-1214, 2007b.