

MINERALOGIA DA FRAÇÃO ARGILA NA CONSERVAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA E NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

Jorge Willian de Souza dos Santos ¹

Antônio Marcos Azevedo Batista²

Pedro Luan Ferreira da Silva³

João Vitor da Silva⁴

Luany Emanuella Araujo Marcisano⁵

RESUMO

Fatores como material de origem e a vegetação predominante da região influenciam na composição mineralógica do solo. A Mineralogia da fração argila exerce influência nas propriedades do solo, atribuindo características físicas e químicas que definem a aptidão e suas limitações que um solo apresenta em desenvolver atividades agrícolas. Dessa forma, o objetivo desta revisão foi levantar informações atualizadas sobre a composição mineralógica de solos classificados como Chernossolo em diferentes regiões do território brasileiro, e as características que os minerais da fração argila atribuem. As buscas foram realizadas em livros e bases de dados nacionais e internacionais, a exemplo: *SciELO*, *Science Direct*, *Wiley Online Library*, *Google Scholar* e *Agris-FAO*. Chernossolos estão associados a presença de minerais carbonáticos, com a presença de esmectitas e caulinita em sua fração argila. Os minerais influenciam as propriedades físicas e químicas de um solo, afetando formato de agregados, porosidade, infiltração e retenção de água no solo.

Palavras-Chave: Caráter chernozem, minerais expansíveis, argilominerais, propriedades do solo.

ABSTRACT

Factors such as the material of origin and the region's predominant vegetation influence the mineralogical composition of a soil. The mineralogy of the clay fraction influences the properties of a soil, attributing physical and chemical characteristics that define the suitability and limitations of a soil for agricultural activities. The aim of this review was to gather up-to-date information on the mineralogical composition of soils classified as Chernossols in different regions of Brazil, and the characteristics that the minerals in the clay fraction attribute to the soil. The searches were carried out in books and national and international databases, such as SciELO, Science Direct, Wiley Online Library, Google Scholar and Agris-FAO. Chernossols are associated with the presence of carbonate minerals, with smectites and kaolinite in their clay fraction. Minerals influence the physical and chemical properties of a soil, affecting the shape of aggregates, porosity, infiltration and water retention in the soil.

Keywords: Chernozem character, expandable minerals, clay minerals, soil properties.

1. INTRODUÇÃO

Os Chernossolos, são associado à material de origem rico em cálcio e magnésio, são grupo desolos caracterizado pelo acúmulo de

matéria orgânica no horizonte mineral superficial, de cores escuras e alta saturação de bases (PINHEIRO JÚNIOR et al., 2022). Esse grupo de solo apresenta composição

¹ Universidade Estadual de Maringá, Pós-Graduação da UEM, Maringá, Paraná, Brasil. jorge_willian_123@hotmail.com.

² Universidade Estadual de Maringá, Pós-Graduação da UEM, Maringá, Paraná, Brasil. aazevedobatista@gmail.com

³ Universidade Estadual de Maringá, Pós-Graduação da UEM, Maringá, Paraná, Brasil. pedroluanferreira@gmail.com

⁴ Universidade Estadual de Maringá, Pós-Graduação da UEM, Maringá, Paraná, Brasil. jvzanquetta@outlook.com.

⁵ Universidade Estadual de Maringá, Pós-Graduação da UEM, Maringá, Paraná, Brasil. marcianoluany@gmail.com

mineralógica de minerais esmectíticos, e são caracterizados pelo acúmulo de carbonatos secundários (WRB-FAO, 2015). Segundo FAO (IUSS, 2014), os Chernossolos cobrem aproximadamente 230 milhões de hectares da superfície terrestre, ocorrendo em regiões de latitudes médias da Europa, Ásia e América do Norte.

O acúmulo de carbonatos está em geral associado a climas áridos e semiáridos, com drenagem restrita. Os minerais oriundos do material de origem podem ser produzidos de forma secundária ou precipitação carbonática (ZAMANIAN et al., 2016). A formação da composição mineralógica destes solos depende não só da rocha mãe, mas também da paisagem, onde o intemperismo e a dissolução das rochas carbonáticas são controlados por fatores como composição mineral, temperatura, atributos químicos e físicos, modificando os carbonatos mesmo em região tropical (PEREIRA et al., 2013).

Solos originados do calcário, geralmente são rasos e apresentam desenvolvimento lento, com capacidade de promover reação neutra ou moderadamente ácida a fortemente alcalinos, com enriquecimento em matéria orgânica (MELO e al., 2017). A mineralogia destes solos é influenciada pelo transporte fluvial de materiais em diferentes estágios de intemperismo, condições climáticas ao longo do tempo com restrições de drenagem, que

consequentemente ocasionou em acúmulos de cátions alcalinos no sistema possibilitando a neoformação e preservação de argilominerais do tipo 2:1 como micas e esmectitas (FURQUIM et al. 2010), com maior potência em ambientes com precipitação menor que evapotranspiração.

Embora, solos com a presença de esmectita, caulinita e montmorilonita, argilominerais do tipo 2:1 podem apresentar limitações físicas como os Vertissolo e Chernossolo, a superfície específica desses minerais desempenham um papel importante na capacidade de troca catiônica dos solos (CTC) e aniônica (CTA), na retenção de água, poluentes e biocidas (Souza Junior et al., 2007).

A composição mineralógica dos solos, tal como suas propriedades eletroquímicas influenciam diretamente sobre as aptidões agricultáveis de um solo, seu entendimento auxilia para tomadas de decisão quanto correção de fertilidade e práticas de manejo e preparo do solo. Nesse sentido, salienta-se que o conhecimento da mineralogia do solo é de importância para o planejamento e manejo do solo, ou até mesmo prever suscetibilidade à erosão e eventos catastróficos.

Diante do exposto, objetivou-se com a revisão levantar informações sobre a composição mineralógica de solos Chernossolo no Brasil e sua influência sobre as propriedades do solo.

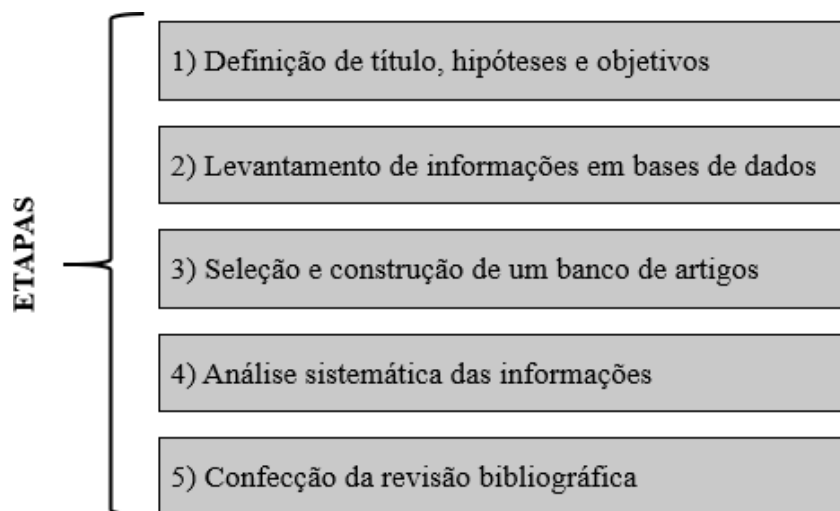
2. MATERIAL E MÉTODOS

Optou-se pela pesquisa de tipo de revisão bibliográfica sistemática (Sampaio; Mancini, 2007), reunindo informações relacionadas à composição mineralógica da fração argila de solos classificados como Chernossolo no Brasil, como também fatores relacionados a formação e a influência dos minerais nas propriedades físicas e químicas do solo. Os termos (palavras-chave) pesquisados foram: mineralogia de

chernossolos, formação mineralógica, propriedades químicas da caulinita, fertilidade de solos com esmectita.

As buscas foram realizadas em livros e bases de dados nacionais e internacionais, a exemplo: *Scielo*, *Science Direct*, *Wiley Online Library*, *Google Scholar* e *Agris-FAO*. A construção da revisão bibliográfica foi realizada seguindo algumas etapas essenciais, conforme apresentado no fluxograma abaixo (Figura 1).

Figura 1: Fluxograma com o passo a passo para a construção da revisão bibliográfica



Fonte: O autor.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DE SOLOS CHERNOSSOLO NO BRASIL

Os Chernossolos são solos não muito intemperizados de desenvolvimento lento, com origem de rochas ricas em cálcio e magnésio, apresentando em sua fração argila minerais esmectíticos que conferem alta atividade de argila e alto acúmulo de carbonato de cálcio, que por sua vez apresentam reação

aproximadamente neutra ou moderadamente ácida a fortemente alcalinos, com enriquecimento em matéria orgânica.

Para os critérios definidos pelo SiBCS (Embrapa, 2006), um chernossolo é caracterizado pela presença de horizonte diagnóstico orgânico e de carbonato de cálcio acima de um horizonte B textural ou com caráter argilúvico e alta atividade de argila.

A formação mineralógica do solo

envolve processos de intemperização como processos químico, hidratação e solução, hidrólise, dentre outros. O intemperismo químico atua na dissolução de minerais resultando de mudança no ambiente de formação original dos minerais e rochas (Melo; Alleoni, 2016). A água ao penetrar os poros, clivagens e fissuras das rochas e dos minerais dissolve os constituintes de alta solubilidade e percolam através do solo transportando as partículas de uma camada para a outra. Com isto, o resíduo com constituintes menos solúveis, podem ser cristalizado e originar novas fases minerais de acordo com as condições ambientais prevalentes (Loughnan, 1969).

No processo de intemperização, nutrientes como P, K, Ca, Mg e Fe, e o Si e alguns elementos-traço, são liberados em solução do solo e influem na fertilidade do solo e, conseqüentemente, na produtividade das culturas e ciclagem do carbono de compostos orgânicos. Segundo Melo et al. (2017), a gênese de solos chernozênicos está associado principalmente ao material de origem rico em cálcio e magnésio e à presença de minerais esmectíticos que conferem alta atividade de argila e acúmulo de carbonato de cálcio.

Fatores como o material de origem calcário e a vegetação predominante da região, influenciam nos atributos químicos e físicos do solo, alterando particularmente os teores de carbonato, mesmo em regiões tropicais (Oliveira et al., 2021).

No sudoeste pantaneiro foram identificados a formação de solos Chernozems associado a presença e intemperismo dos sedimentos carbonáticos e principalmente às partes mais altas da paisagem (Laranjeira, 2017).

A formação mineralógica destes solos, são dependentes de fatores como a natureza sedimentar do material de origem e condições climáticas variadas. São processos que apresentam uma relação direta com o clima, influenciando na formação e transformação de alguns minerais. Além disso, a matéria orgânica predominante nessas regiões ricas em vegetação, possui um papel fundamental na formação do horizonte A superficial.

A mineralização da matéria orgânica proporciona a liberação de compostos orgânicos, que junto à característica química da água, mantêm condições redox do solo, dissolução dos silicatos, contribuindo com a pedogênese de horizontes ricos argila.

Em estudo conduzido no Pantanal, município de Corumbá-MS, Oliveira et al. (2021), observaram a composição mineralógica da fração areia e argila de solos derivados de sedimentos carbonáticos, identificando solos com a presença de óxidos de manganês com predominância de quartzo e vestígios de feldspato na fração areia, enquanto que na fração argila os padrões de difração de raios X indicaram a predominância de illita-esmectita interstratificada e quartzo. Os autores explicam que quando saturado as amostras com potássio e

submetidos ao aquecimento, os picos diminuem de largura, assimetria e intensidade, colapsando para espaçamentos próximo a 1,0 nm, e que quando aquecidos a 550°C picos em 0,36 e 0,72 nm desaparecem, indicando a presença de caulinita.

A formação da caulinita é beneficiada em ambientes de baixo pH e ausência de cátions bases (Na, Ca, Mg, Fe e K) com alta ciclagem de sílica, normalmente distribuídas em posições mais baixas do relevo, em condições de pior drenagem. Estando em consonância com trabalhos descritos por Delvaux *et al.* (1990) e Buhman e Grubb (1991) que observaram a presença de caulinitas-esmectitas sob condições de drenagem restrita, relevo de encosta e pouco intemperizados.

A ocorrência de esmectita é restrita e podem ser formadas durante a pedogênese ou herdadas do material de origem. Esmectitas dioctaedrais (presença de cátions trivalente na folha octaedral) podem ser resultados do intemperismo de outros minerais, enquanto que esmectitas trioctaedrias (cátions bivalentes na folha octaedral), são herdadas do material de origem. Nos solos brasileiros como descrito anteriormente, a ocorrência destes, estão associados ao clima seco, sem excedente hídrico em processo de dessilicação no Nordeste (CORRÊA *et al.*, 2003), no Sul, ao paleoclima seco (Bombim e Klamt, 1974) e no Pantanal, às condições de má drenagem, podendo também estar associados às condições locais específicas

no passado geológico recente.

Processos de bissialitização e monossialitização atuam de fraca a moderada intensidade de lixiviação formando argilominerais do tipo 2:1 e 1:1 (Teske *et al.*, 2013). Esses processos estão diretamente ligados ao clima e sua intensidade espaço temporal, que podem delimitar o nível de transformação de alguns minerais do solo. Zonas que predominam processos de monossialitização ocorre a hidrólise parcial originando argilominerais do tipo caulinita (Si:Al). A bissialitização, localiza-se em zonas temperadas e áridas, nesses ambientes a hidrólise parcial, formam argilominerais do tipo esmectitas.

Condições de interstratificação entre ilitas/esmectitas podem ser oriundas da transformação de ilita em outros minerais por perda parcial de K⁺ entre camadas, menor substituição tetraédrica e maior teor de água nas camadas à medida que avança a degradação, resultando em caulinita. No entanto, características químicas e físicas do perfil de solo restringem o processo de transformação das ilitas, fazendo com que minerais das ilitas-esmectitas podem ser formados através da ilitização das esmectitas e caulinitas detríticas, como descrito pelos autores Barbiero *et al.* (2008), Furquim *et al.* (2010), Oliveira *et al.* (2021).

Maranhão *et al.* (2020) estudando a pedogênese de ambientes cárstico e das rochas calcárias no Norte do Brasil, situado na posição

talude posterior identificou em um perfil de solo classificado como Chenossolo Háplico Carbonático com dominância de quartzo e calcita na fração areia fina e grossa, com predominância da caulinita, ilita e quartzo na fração argila.

A acumulação de carbonato está geralmente associada a climas áridos e semiáridos. Atuando nos efeitos da intemperização a dissolução de rochas calcárias associado ao pH alto e baixo CO₂ favorece a formação de calcita por pedogênese. Períodos de seca intensa, aumento de temperatura e perda de água por evapotranspiração aumenta a concentração iônica na solução do solo (HCO₃⁻ + Ca²⁺) e precipita como CaCO₃ (ZAMANIAN et al., 2016).

Os chernossolos podem conter uma vasta variedade de minerais primários como quartzo, feldspato, mica e outros secundários, podendo variar devido as condições imposta ao ambiente de formação e do seu histórico. Sua composição mineralógica diversificada influencia as características físico-químico do solo podendo afetar a acidez do solo e influenciar a disponibilidade de nutrientes.

3.2 INFLUÊNCIA DOS MINERAIS DA FRAÇÃO ARGILA NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO

A fração mineralógica do solo atribui as características físicas e químicas necessárias para o desenvolvimento de plantas agrícolas.

Estudos apontam que propriedades como densidade do solo, porosidade total e condutividade hidráulica saturada apresentam estreita relação com a textura e a mineralogia do solo (Silva *et al.*, 2005). A presença de argilominerais, carbonatos e óxidos, desempenham um papel significativo em solos chernossolos influenciando em suas propriedades como retenção de água, capacidade de reter íons e estrutura do solo.

A caulinita é favorecida por condições de intenso intemperismo químico e lixiviação dos produtos da dissolução dos minerais (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e Na⁺) onde há ciclagem de sílica. Este mineral, interfere em vários processos físico-químicos do solo: formação de agregados, porosidade, retenção de água, reações de troca, entre outros. A CTC da caulinita depende de cargas dependentes de pH que surgem nas hidroxilas das bordas dos minerais devido à quebra das arestas e a formação de grupos siloxanos e aluminol (Al-OH). Trabalhos como de Ferreira(1999) demonstra como a presença da caulinita no solo reduz a dinâmica de água.

Minerais de argila 2:1 (Esmectita dioctaedrais e trioctaedrais) possuem a capacidade de expansão e contração, atribuindo ao solo características estrutural prismática, influenciando aspectos como taxa de infiltração e menor porosidade. Atributos como conteúdo de água a -1,5 MPa e a CTC possuem estreita relação com o arranjo entre as partículas e da sua área superficial específica (ASE) (Petersen *et*

al., 1996), além disso, a ASE atua na adsorção de substâncias orgânicas que contribuem para o aumento da estabilidade de agregados do solo

(Paritt *et al.*, 1997). Na tabela 1 estão listados filossilicatos e suas respectivas ASE.

Tabela 1. Propriedades físicas de filossilicatos.

Filossilicato	ASE(1) (m ² g ⁻¹)	Tamanho (µm)	Forma da partícula
Caulinita	10-30	0,5-5,0	Placas hexagonais
Mica (Ilita)	70-100	0,2-2,0	Flocos
Vermiculita	550-700	0,1-5,0	Placas, Flocos
Esmectita	620-770	0,01-1,0	Flocos
Clorita	70-100	0,1-2,0	Variável

(1) Área superficial específicaFonte: Brady e Weil (1996).

Minerías 2:1 expansíveis podem expor superfícies entre uma camada e outra, ampliando sua ASE, refletindo em aumento de retenção de íons, e ainda, sua grande ASE e menor tamanho de partícula fazem com que sejam mais pronunciadas suas forças de adesão e coesão no solo, propriedades importantes para o manejo e desenvolvimento de áreas agrícolas (Melo; Alleoni, 2016).

Corroborando com Oliveira *et al.* (2021), que constatou elevadosteores de Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺ e estruturas prismáticas e blocos angulares em chernossolos com presença de esmectita e ilita. Associando a presença destes à consistência dura quando seca e plástica a pegajosa quando úmida, além de fissuras no perfil produzidas pela expansão e contração. Agregados com a presença de esmectita, micas e montmorilonita, podem ainda desempenhar

papel importante para a preservação do ambiente, contribuindo com a fixação do dióxido de carbono (Reeves *et al.*, 2019).

Chernossolos podem apresentar horizontes de caráter vertissol por apresentar argilas expansivas 2:1, apresentando baixa infiltração de água e drenagem reduzida, elevada pegajosidade quando úmido e dureza quando seco, dificultando o preparo do solo e maior gasto de energia do maquinário (Hidalgo *et al.*, 2019). O caráter coeso destes solos afeta negativamente a porosidade do solo elevando sua densidade, dificultando a difusão de gases e água no perfil, além de afetar o crescimento das raízes das plantas (Santos *et al.*, 2020).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A posição paisagem, ambientes áridos e semi-áridos e condições de drenagem restrita influenciam no acúmulo de carbonatos no solo,

consequentemente influenciando na composição mineralógica da formação dos Chernossolos. Minerais com capacidade de expansão e contração atribuem ao solo agregados prismáticos e blocos angulares influenciando em características físicas como: Porosidade total e infiltração; Além da maior retenção de íons pelo aumento de ASE.

Estudos sobre a composição mineralógica dos solos se tornam imprescindíveis para auxiliar em decisões de preparo e manejo para atividades agrícolas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABÜHMANN, C., GRUBB, P. L. C. A kaolin-smectite interstratification sequence from a red and black complex. *Clay Minerals*, v. 26, n. 3, p. 343-358.
- BARBIERO, L.; REZENDE FILHO, A.; FURQUIM, S. A. C.; FURIAN, S.; SAKAMOTO, A. Y.; VALLES, V.; NETO, J. Q. Soil morphological control on saline and freshwater lake hydrogeochemistry in the Pantanal of Nhecolândia, Brazil. *Geoderma*, v. 148 n. 1, p. 91-106, 2008.
- CORRÊA, M. M.; KER, J. C.; MENDONÇA, E. S.; RUIZ, H. A.; BASTOS, R. S. Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região de várzeas de Souza (PB). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, n. 2, p. 311-324, 2003.
- DELVAUX, B.; HERBILLON, A. J.; VIELVOYE, L.; MESTDAGH, M. M. Surface properties and clay mineralogy of hydrated halloysite soil clays. II: evidence for the presence of halloysite/smectite (H/Sm) mixed-layer clays. *Clay Minerals*, v. 25, n. 2, p. 141-160, 1990.
- FURQUIM, S. A. C.; BARBIERO, L.; GRAHAM, R. C.; NETO, J. P. Q., FERREIRA, R. P. D.; FURIAN, S. Neof ormation of micas in soils surrounding an alkaline-saline lake of Pantanal wetland, Brazil. *Geoderma*, v. 158, n. 3-4, p. 331-342, 2010.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. *World Reference Base for Soil Resource WRB*. 4th ed., Rome: FAO. 2015, 234p.
- HIDALGO, C.; MERINO, A.; OSORIO-HERNÁNDEZ, V.; ETCHEVERS, J. D.; FIGUEIROA, B.; LIMON, A.; AGUIRRE, T. Physical and chemical process determining soil organic matter dynamics in a managed Vertisol in a tropical dryland area. *Soil and Tillage Research*, v. 194, n. 1-9, p. 104348, 2019.
- LARANJEIRA, L. T. **Caracterização de solos desenvolvidos de sedimentos carbonáticos da Formação Pantanal**. 2017. [Dissertação de Mestrado em Agronomia] – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Campus Chapadão do Sul, Chapadão do Sul, 2017.
- MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. **Química e mineralogia do solo**. 1. Ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016, 1381p.
- MELO, A. F. D.; SOUZA, C. M. M.; REGO, L. G. S.; LIMA, R. N. S.; MOURA, I. N. B. M. Pedogênese de Chernossolos derivados de diferentes materiais de origem no Rio Grande do Norte, Brasil. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v. 13, n. 3, p. 229-235, 2017.
- OLIVEIRA, N. S.; SCHIAVO, J. Á.; SOUZA, A. C.; LARANJEIRA, L. T.; MORAES, E. M. V.; PEREIRA, M. G. Mineralogy and genesis in an alkaline soil system in the southern Pantanal wetland, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 111, n. 1, p. 103456, 2021.
- PEREIRA, M. G.; SCHIAVO, J. A.; FONTANA, A.; NETO, A. H. D.; MIRANDA, L. P. M. Caracterização e classificação de solos

em toposequência de calcário na Serra da Bodoquena, MS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v, 36, n. 2, p. 199-209, 2013.

PINHEIRO JUNIOR, C. R.; TAVARES, T. R.; OLIVEIRA, F. S.; SANTOS, O. A. Q.; DEMATTÊ, J. A. M.; GARCÍA, A. C.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G. Black soils in the Araripe basin, Northeast Brazil: Organic and inorganic carbon accumulation in a Chernozem-Kastanozem-Phaeozem sequence. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 116, n. 1p. 103789, 2022.

SANTOS, H. G.; ZARONI, M. J.; CLEMENTE, P. **Solos tropicais: caráter coeso**. 2020. Disponível em: <www.agencia.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 12 ago. 2024.

SOUZA JÚNIOR, I. G. S.; COSTA, A. C. S.; SAMBATTI, J. A.; PETERNELE, W. S.; TORMENA, C. A.; MONTES, C. R.; CLEMENTE, C. A. Contribuição dos constituintes da fração argila de solos subtropicais à área superficial específica e à capacidade de troca catiônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1355-1365, 2007.

TESKE, R.; ALMEIDA, J. A.; HOFFER, A.; LUNARDI NETO, A. Caracterização mineralógica dos solos derivados de rochas efusivas no Planalto Sul de Santa Catarina. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 12, n. 1, p. 187-198, 2013.

REEVES, S. H.; SOMASUNDARAM, J.; WANG, W. J.; HEENAM, M. A.; FINN, D.; DALAL, R. C. Effect of soil aggregate size and long-term contrasting tillage, stubble and nitrogen management regimes on CO₂ fluxes from a Vertisol. **Geoderma**, v. 337, n. 1, p. 1086-1096, 2019.

ZAMANIAN, K.; PUSTOVOYTOV, K.;

KUZYAKOV, Y. Pedogenic carbonates: Forms and formation process. **Earth-Sciences Review**, v. 167, n. 1, p. 1-17, 2016.