



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**GEOVANA ALVES SANTOS CAMPOS**

**DISPERSÃO E ANÁLISE GRANULOMÉTRICA EM LATOSSOLOS SOB PLANTIO  
DIRETO E VEGETAÇÃO NATIVA COM E SEM REMOÇÃO DE MATÉRIA  
ORGÂNICA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA**

**BRASÍLIA/DF**

**OUTUBRO/2021**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**DISPERSÃO E ANÁLISE GRANULOMÉTRICA EM LATOSSOLOS SOB PLANTIO  
DIRETO E VEGETAÇÃO NATIVA COM E SEM REMOÇÃO DE MATÉRIA  
ORGÂNICA**

**GEOVANA ALVES SANTOS CAMPOS**

**ORIENTADOR: TAIRONE PAIVA LEÃO**

**PUBLICAÇÃO:**

**BRASÍLIA/DF  
OUTUBRO/2021**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**DISPERSÃO E ANÁLISE GRANULOMÉTRICA EM LATOSSOLOS SOB PLANTIO  
DIRETO E VEGETAÇÃO NATIVA COM E SEM REMOÇÃO DE MATÉRIA  
ORGÂNICA**

**GEOVANA ALVES SANTOS CAMPOS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-  
GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM AGRONOMIA.**

**APROVADA POR:**

---

**TAIRONE PAIVA LEÃO, Doutor, Professor Associado**  
**(Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – Universidade de Brasília – UnB)**  
**(ORIENTADOR) e-mail: tleao@unb.br**

---

**JADER GALBA BUSATO, Doutor, Professor Associado**  
**(Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – Universidade de Brasília – UnB)**  
**(Examinador Interno) e-mail: jaderbusato@unb.br**

---

**MICHELE RIBEIRO RAMOS, Doutora, Professora Associada**  
**(Universidade Estadual do Tocantins - UNITINS)**  
**(Examinadora Externa) e-mail: micheleribeiroramos2@gmail.com**

**BRASÍLIA/DF, 29 de outubro de 2021**

## FICHA CATALOGRÁFICA

Campos, Geovana Alves Santos

Dispersão e análise granulométrica em Latossolos sob plantio direto e vegetação nativa com e sem remoção de matéria orgânica / Geovana Alves Santos Campos; Orientador: Tairone Paiva Leão - Brasília, 2021.

48 f.; ix.

Dissertação (mestrado) – Universidade de Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2021.

1. Dispersão e análise granulométrica em Latossolos sob 2. Plantio direto e vegetação nativa 3. Com e sem remoção de matéria orgânica

I. LEÃO, T.P. Ph. D.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CAMPOS, G. A. S. **Dispersão e análise granulométrica em Latossolos sob plantio direto e vegetação nativa com e sem remoção de matéria orgânica.** Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2021, 61 p. Dissertação de Mestrado.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Geovana Alves Santos Campos

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: **Dispersão e análise granulométrica em Latossolos sob plantio direto e vegetação nativa com e sem remoção de matéria orgânica.**

GRAU: Mestre

ANO: 2021

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado para única e exclusivamente propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais, de publicação. Nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada a fonte.

-----  
Nome: Geovana Alves Santos Campos

Email: geovanalsan1@gmail.com

*Dedico este trabalho primeiramente a Deus. Aos meus pais, Antônio Carlos e Joana D'Arc; a minha irmã Letícia, ao meu esposo João Campos; a meu cunhado Frederico; e ao meu orientador, Tairone.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me abençoado ricamente durante todo este trabalho.

Ao meu pai Antônio Carlos, à minha mãe Joana D'Arc e à minha irmã Letícia por sempre terem apoiado minha formação, pelo carinho, pelo incentivo, pela atenção, pela motivação, pelo suporte, pela amizade e pelo investimento. Ao meu esposo por ter me acompanhado e auxiliado em todas as coletas, por todo suporte e compreensão. Ao Frederico por ter me auxiliado sempre que necessário e por todo o suporte.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Tairone Paiva Leão, pelos direcionamentos, por ajudar a melhorar a minha escrita, por me estimular a ser mais autônoma no processo da busca do conhecimento e por me dar acesso a parte de sua grande experiência.

À Prof. Dra. Michele Ribeiro Ramos pela grande colaboração durante as coletas, pelo constante incentivo, pelo suporte e por ter acompanhado com muita presteza esta pesquisa.

Aos outros professores da UnB que também contribuíram com excelência para o meu aprendizado. À Prof. Dra. Alessandra Monteiro de Paula por ter cedido o laboratório para realização de parte das análises.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Jader Galba Busato, Prof. Dra. Michele Ribeiro Ramos e Prof. Dra. Alessandra Monteiro de Paula pela disposição em contribuir na elaboração final do trabalho.

Aos proprietários de todas as fazendas em que foram realizadas as coletas, pela disponibilidade e auxílio. Agradeço ao prof. Dr. Danilo e as colegas de curso Thatiane e Ana por toda ajuda.

À Debora pela parceria e amizade. A todos os colegas de disciplinas que de alguma forma me auxiliaram e incentivaram. Ao pesquisador do IAPAR André Luiz Oliveira de Francisco por ter me auxiliado na coleta das amostras do Paraná.

À minha amiga Sara por estar sempre presente. À Maria Eugênia por todo entusiasmo por meus estudos e por ter me auxiliado na revisão de língua portuguesa.

Agradeço também à CAPES pela concessão da bolsa de Mestrado e à FAP-DF pelo auxílio financeiro para realização desta pesquisa.

## ÍNDICE

### CAPÍTULO GERAL

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	1
2	<b>OBJETIVOS</b> .....	4
2.1	OBJETIVO GERAL .....	4
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
3	<b>HIPÓTESE</b> .....	5
4	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	5
4.1	SOLOS NOS TRÓPICOS .....	5
4.2	EVOLUÇÃO DOS TIPOS DE CULTIVO .....	7
4.3	DEGRADAÇÃO ESTRUTURAL DO SOLO NO PLANTIO DIRETO .....	9
4.4	MODIFICAÇÕES NA QUÍMICA DE SUPERFÍCIE .....	10
4.5	ERRO NO CÁLCULO DE TEXTURA .....	14
4.6	TEXTURA DO SOLO E MANEJO AGRÍCOLA .....	16
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	18

## ÍNDICE

### CAPÍTULO ÚNICO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	28
2	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	30
2.1	DESCRIÇÃO DOS LOCAIS DE AMOSTRAGEM .....	30
2.2	PROCEDIMENTOS DE COLETA .....	31
2.3	PREPARO DAS AMOSTRAS .....	32
2.3.1	<b>Oxidação da matéria orgânica</b> .....	32
2.3.2	<b>Análise granulométrica: método por sedimentação (hidrômetro)</b> .....	33
3	<b>RESULTADOS</b> .....	34
3.1	PROPRIEDADES QUÍMICAS E FÍSICAS .....	34
3.2	CLASSIFICAÇÃO E LEVANTAMENTO DO HISTÓRICO DA ÁREA .....	35
3.3	RESULTADO DO EXPERIMENTO DE SEDIMENTAÇÃO .....	36
4	<b>DISCUSSÃO</b> .....	40
5	<b>CONCLUSÕES</b> .....	44
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	46

## ÍNDICE DE TABELAS

### CAPITULO ÚNICO

**Tabela 1** - Propriedades químicas e físicas do solo nas áreas avaliadas..... 34

**Tabela 2** - Principais características e localização dos locais escolhidos para coleta de solo  
..... **Erro! Indicador não definido.**

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPITULO ÚNICO

<b>Figura 1</b> - Indicação dos municípios de coleta das amostras de Latossolos (Adaptado de Santos et al. 2011) .....	31
<b>Figura 2</b> - Curva de sedimentação das amostras de solos sob plantio direto (PD) e sob vegetação nativa (VN) com remoção da matéria orgânica (SMO) e sem remoção (CMO) coletadas no estado da Bahia (BA).....	36
<b>Figura 3</b> - Curva de sedimentação das amostras de solos sob plantio direto (PD) e sob vegetação nativa (VN) com remoção da matéria orgânica (SMO) e sem remoção (CMO) coletadas no estado do Tocantins (TO) .....	37
<b>Figura 4</b> - Curva de sedimentação das amostras de solos sob plantio direto (PD) e sob vegetação nativa (VN) com remoção da matéria orgânica (SMO) e sem remoção (CMO) coletadas no estado de Goiás (GO) .....	37
<b>Figura 5</b> - Curva de sedimentação das amostras de solos sob plantio direto (PD) e sob vegetação nativa (VN) com remoção da matéria orgânica (SMO) e sem remoção (CMO) coletadas no estado do São Paulo (SP).....	38
<b>Figura 6</b> - Curva de sedimentação das amostras de solos sob plantio direto (PD) e sob vegetação nativa (VN) com remoção da matéria orgânica (SMO) e sem remoção (CMO) coletadas no estado do Paraná (PR) .....	39
<b>Figura 7</b> - Médias e desvios padrão do conteúdo de argila, silte e areia para condições avaliadas neste estudo .....	40

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al	Alumínio
Ca	Cálcio
CCC	Concentração Crítica de Coagulação
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
DC	Depois de Cristo
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Esalq	Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz
FAV	Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária
Fe	Ferro
Mg	Magnésio
MO	Matéria Orgânica
N	Nitrogênio
Na	Sódio
NaOH	Hidróxido de Sódio
P	Fósforo
PCZ	Ponto de Carga Zero
PD	Plantio Direto
PIE	Ponto Isoelétrico
RPM	Rotação por Minuto
Si	Silício
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
UnB	Universidade de Brasília
USP	Universidade de São Paulo
VN	Vegetação Nativa

# **DISPERSÃO E ANÁLISE GRANULOMÉTRICA EM LATOSSOLOS SOB PLANTIO DIRETO E VEGETAÇÃO NATIVA COM E SEM REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA**

## **RESUMO**

O conhecimento da granulometria do solo é essencial para o desenvolvimento de diversas atividades, especialmente por sua aplicação direta no uso, no manejo do solo e em análises sobre recursos hídricos em sistemas produtivos. Para se obter acurácia nos resultados de uma análise textural, é necessária a completa dispersão e estabilidade da solução do solo. Nesse sentido, o objetivo desta pesquisa foi comparar a dispersão de horizontes superficiais de solos de cinco estados brasileiros sob plantio direto (PD) e sob condições de vegetação nativa (VN), com e sem remoção da matéria orgânica (MO), a fim de verificar se há diferença no comportamento dispersivo da solução. Para realização das análises, utilizou-se o método hidrômetro com cinco repetições. Nas amostras com a oxidação da MO sob PD, foi observada alta incidência de floculação da massa de suspensão, superestimando assim a quantidade de silte na amostra, caracterizado como pseudossilte. O resultado indica que as modificações causadas pela atividade agrícola, especificamente o PD, tem interferência direta na análise textural quando removida a MO. Além disso, este estudo também foi verificado problemas relacionados ao uso do NaOH como agente dispersante, pois o mesmo não foi capaz de superar os efeitos agregantes e nem mesmo manter a solução dispersa e estável durante a marcha analítica. Esses achados reforçam a necessidade de mais estudos para viabilizar um protocolo de padronização adequado para análise textural de solos altamente intemperizados e sob cultivo em PD.

**Palavras-chaves:** análise textural, dispersão, Latossolos, matéria orgânica, plantio direto.

# **DISPERSION AND GRANULOMETRIC ANALYSIS IN OXISOLS UNDER NO-TILL AND NATIVE VEGETATION WITH AND WITHOUT REMOVAL OF ORGANIC MATTER**

**Geovana Alves Santos Campos<sup>1</sup>; Tairone Paiva Leão<sup>2</sup>**

## **ABSTRACT**

The knowledge of soil granulometry is essential for the development of various activities, especially for its direct application in land use, soil management and also in analysis of water resources in productive systems. To obtain accurate results in grain size analysis it is necessary to have a complete dispersion and stability of the soil solution. In this sense, the objective of this research was to compare the dispersion of surface horizons of soils from five Brazilian states under no-till (PD) and under native vegetation (VN) conditions, with and without removal of organic matter (MO), in order to check if there is a difference in the dispersive behavior of the solution. To perform the analysis, the hydrometer method was used. In samples with oxidation of MO under no-till, a high incidence of flocculation of the suspension mass was observed, thus overestimating the amount of silt in the sample, characterized as pseudosilt. The result indicates that the modifications caused by the agricultural activity, specifically the no-till, has direct interference in the textural analysis when the MO is removed. In addition, this study also highlighted issues about the use of NaOH as a dispersing agent, because it could not overcome the aggregating effects and not even keep the solution dispersed and stable during the analytic march. These findings reinforce the need for further studies to enable an adequate standardization protocol for textural analysis of highly weathered soils under no-till cultivation.

**Keywords:** textural analysis, dispersion, Oxisols, organic matter, no-till.

# 1 INTRODUÇÃO

Toda a humanidade depende de maneira direta do solo, visto ser este um recurso fundamental dos ecossistemas naturais e agropecuários. Com o avanço tecnológico e com a inserção de novas técnicas de produção agrícola, que surgiram no decorrer do desenvolvimento da sociedade por meio da pesquisa agropecuária, o estudo e a caracterização dos solos têm atraído cada vez mais atenção devido a sua importância, tanto como recurso natural, quanto como elemento da produção de alimentos.

Conhecer e entender as características físicas e químicas do solo é de extrema importância, tanto para as atividades que o utilizam de forma direta, como a atividade agropecuária, quanto para a preservação dos compartimentos ambientais. No solo, os fatores intempéricos provocam naturalmente, ao decorrer dos anos, alterações físicas, químicas, biológicas e morfológicas. Nesse sentido, muitos pesquisadores referem-se ao solo, em analogia, como um organismo vivo, em constante atividade. Além dos fatores intempéricos, as atividades antrópicas também exercem importante influência sobre o solo e possuem consequências negativas, quando realizadas de maneira incorreta, bem como acarretam processos de degradação mais rápidos do que sua resiliência, contribuindo assim para a perda da qualidade do solo.

Vários fatores interferem nas características texturais do solo e em sua distribuição granulométrica, os quais podem ser citados: os componentes ambientais que são os principais determinantes, visto que primeiramente o material de origem transfere suas características para todo o perfil do solo, (CUNHA *et al.*, 2005). Ademais, outros fatores ambientais como vegetação e relevo, regulam a deposição de sedimentos e também interferem no tempo de exposição à ação do intemperismo dos materiais sob o solo (YOUNG; HAMMER, 2000).

No dicionário, a palavra textura significa disposição das partes de um corpo. Já em ciência dos solos, esse termo, em geral, é associado à distribuição granulométrica, que se baseia na proporção relativa das partículas sólidas inorgânicas encontradas em amostras de terra fina seca ao ar (TFSA) de um determinado solo, e se refere à porcentagem de areia com diâmetro entre 0,050 e 2,00 mm, silte com diâmetro entre 0,002 e 0,050 mm e argila com diâmetro de partículas menor que 0,002 mm (HILLEL, 1998).

Para especificar a granulometria de um determinado solo, é necessário realizar a dispersão e separação das partículas individuais (areia, silte e argila) reunidas em agregados e quantificar as frações texturais. Diversos problemas relacionados à dispersão já foram relatados na

literatura tais como, a existência de agentes cimentantes orgânicos (matéria orgânica e substâncias húmicas), quanto e inorgânicos (óxidos e hidróxidos de ferro, alumínio e carbonatos), de agentes flocculantes na forma de inos (MAURI, 2008). Nas análises de rotina, muitas vezes, não é realizado nenhum pré-tratamento para a remoção desses agentes, que têm resultado em altas proporções de pseudo-silte e também de pseudo-areia, ocasionada pela dispersão incompleta, e assim, interferindo nos resultados da análise granulométrica (DONAGEMMA *et al.*, 2003).

Diante das interferências dos fatores ambientais, a textura do solo é uma característica utilizada para classificação, pois é uma propriedade aproximadamente estática, ou seja, após o processo de formação do solo ele não sofre mudanças drásticas, é também utilizada como marcador de qualidade e a produtividade dos solos, uma vez que influenciam importantes características, como a retenção de água, a permeabilidade, a relação entre as partículas de adesão e coesão, e o índice de resistência do solo à tração (SCOPEL *et al.*, 2012).

No Brasil, o sistema taxonômico de solos em vigor utiliza a distribuição granulométrica como um dos critérios fundamentais para definir as classes de solo (EMBRAPA, 2013). Ter conhecimento sobre a distribuição granulométrica de um determinado solo de interesse é de suma importância, visto que é utilizada na escolha do manejo mais adequado, assim como para realização de estudos para avaliação da qualidade do solo. A textura do solo influencia uma série de processos e propriedades do solo que interferem no crescimento de plantas e por consequência, na produção agrícola, tais como grau de compactação, taxa de infiltração e lixiviação, cálculo de adubação, entre outros. Em adição, ela também interfere diretamente em importantes atributos do solo como, por exemplo, na resistência mecânica à penetração de raízes, na área superficial específica, na capacidade de retenção de cátions e água, na água disponível no solo, na condutividade hidráulica e térmica, em difusão de gases e no transporte de calor, gases e soluções, os quais controlam o comportamento da dinâmica de água e contaminantes no solo (HILLEL, 1998).

Considerando a distribuição granulométrica como uma característica importante, que influenciam direta e indiretamente as atividades agropecuárias, quando sua análise é realizada de forma errônea, pode acarretar a degradação dos recursos naturais, e com isso, causar redução da produtividade no meio rural, contaminação dos recursos hídricos, perdas e prejuízos na produtividade agropecuária, como também problemas relacionados às áreas erodidas e/ou contaminadas, afetando de forma significativa o meio ambiente.

O plantio direto é uma prática conservacionista e entre seus componentes básicos estão a cobertura vegetal morta adicionada ao solo, o não revolvimento, a sucessão de culturas e de nutrição integrada e adequada. Esses componentes devem estar interconectados, ou seja, aplicados de forma concomitante (LAL, 2015). Em áreas sob plantio direto, fertilizantes e corretivos são, muitas vezes, aplicados em superfície, sem a incorporação. Nesse processo, vale destacar a calagem superficial, que pode provocar a formação de uma disposição estratificada da camada de 0-20 cm. A camada mais superficial do solo apresenta melhores índices nutricionais e físicos, favorecendo o desenvolvimento radicular, e na camada 7-20 cm, tem-se observado degradação estrutural, significativa resistência à penetração das raízes, redução da permeabilidade do solo ao ar e à água e menor oferta de nutrientes (NUNES *et al.*, 2015). Uma das possíveis causas desses problemas é a calagem superficial e adubação inadequada, que podem acarretar dificuldades no desenvolvimento sistema radicular e no desenvolvimento da parte aérea. A forma, a quantidade e a frequência de aplicação dos corretivos interferem nos resultados produtivos e também na qualidade estrutural e química do solo (NUNES, 2018).

Tendo em vista as qualidades estrutural e química do solo, é importante ressaltar que o calcário possui natureza dispersiva em Latossolos, altera o pH, torna o  $Al^{+3}$  indisponível na solução do solo por meio da hidrólise e precipitação, suscitando a dispersão da argila em solos intemperizados, podendo acarretar a degradação estrutural (ROTH; PAVAN, 1991; NUNES *et al.*, 2017). A degradação estrutural é o efeito de várias alterações físicas que podem ocorrer com a migração da argila dispersa no perfil do solo (lessivagem), por meio da água de percolação (ETANA; RYDBERG; ARVIDSSON, 2009), como entupimento dos poros, e redução da porcentagem de poros de maior diâmetro. Por consequência, a redução da porosidade total, que está diretamente ligada à umidade de saturação do solo, o aumento da densidade do solo em camadas subsuperficiais, a redução da área superficial específica e ao grau de anisotropia do solo, podem promover redução da taxa de infiltração de água, permeabilidade do solo ao ar, à água e maior resistência à penetração (ROTH; PAVAN, 1991; BUTIERRES, 1980; DANG *et al.*, 2015; NUNES, 2015). Todos esses fatores, além de provocarem degradação do solo, interferem negativamente na capacidade de fornecimento de água e oxigênio para as plantas (BALL; O'SULLIVAN; HUNTER, 1998). Esses aspectos críticos reforçam a importância de aprofundar os estudos e investigações sobre a argila dispersa no solo

De acordo com Leão *et al.* (2013), é provável que o efeito das modificações do pH do horizonte superficial, tipo e carga do cátion no complexo de troca em solos cultivados alterem a dinâmica de dispersão em tropicais, causando problemas na análise granulométrica.

Nessa direção, este estudo, teve como objetivo investigar a necessidade da realização de pré-tratamento para oxidação da MO e manejo agrícola possuem com o processo de análise de granulométrica, com o propósito de buscar uma redução de erros sistemáticos na análise textural. Estudar os problemas de dispersão de horizontes superficiais de Latossolos cultivados sob plantio direto, visto que o aprimoramento e a acurácia da análise granulométrica acarretarão maior precisão nos cálculos de adubação e calagem, estoques de carbono, irrigação, infiltração de água, entre muitos outros, contribuindo para a conservação de recursos naturais e para a otimização do uso da água.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral deste trabalho é comparar a dispersão de horizontes superficiais de Latossolos sob plantio direto e vegetação nativa, com e sem remoção da matéria.

Verificar a influência da matéria orgânica na dispersão de solos sob plantio direto e vegetação nativa.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- i. Comparar a dispersão de amostras de solos de horizontes superficiais provenientes de cinco estados brasileiros, sob plantio direto e em vegetação nativa;
- ii. Caracterizar quimicamente as amostras em condições nativas e cultivadas, e investigar as diferenças no processo de dispersão;
- iii. Avaliar a influência da matéria orgânica nas análises de granulometria e
- iv. Investigar possíveis interferências do manejo agrícola na dispersão.

### **3 HIPÓTESE**

A matéria orgânica e as modificações eletroquímicas, causadas pelas intervenções antrópicas em horizontes superficiais de solos cultivados alteram a dinâmica de dispersão destes solos, causando erros nas análises granulométricas de rotina.

### **4 REVISÃO DE LITERATURA**

#### **4.1 SOLOS NOS TRÓPICOS**

As regiões tropicais possuem temperaturas médias elevadas e altos índices pluviométricos, com distribuição desuniforme durante o ano. Essas características influenciam diretamente na constituição do solo e da vegetação dessas regiões, que são consideradas ecossistemas altamente vulneráveis às atividades antrópicas, visto que os solos são bastante sujeitos a modificações por meio de uso de técnicas de manejo inadequadas, o que pode conduzir à destruição de ecossistemas, levando a humanidade a um dos problemas mais importantes, neste século: a perda de qualidade física, química e biológica dos solos (TEIXEIRA *et al.*, 2009).

Somados a essas características, o desmatamento, o cultivo inadequado de terras, o uso de defensivos agrícolas e a exploração mineral são atividades que contribuem para geração de impactos negativos aos solos; essas atividades, associadas aos processos naturais de intemperismo, quando são realizadas sem as devidas precauções, podem aumentar os impactos, levando à erosão, à contaminação, à poluição e, finalmente, à degradação do solo (GUERRA; CUNHA, 2004).

Além da degradação provocada pelas ações humanas, há também as alterações que surgem devido a fatores intempéricos. Esses fatores são responsáveis também por diversas características dos solos presentes na superfície terrestre, sendo eles, o material parental, ou seja, a rocha de origem, o clima, a topografia, a biosfera e o tempo. As inúmeras probabilidades de combinações possíveis entre esses fatores são responsáveis pela diversidade de solos encontradas nas diferentes regiões do globo terrestre (TEIXEIRA *et al.*, 2009).

Nas regiões tropicais, como é o caso da maior parte do território brasileiro, exceto parte da região sul e a parte semiárida do nordeste o mecanismo de intemperismo químico dominante na alteração das rochas é a hidrólise que, por sua vez, atua em seus graus de maior intensidade

como a alitização correspondente às áreas de domínio tropical e equatorial, que representa 13 % da superfície continental e a monossilização, correspondente ao domínio tropical subúmido, representando 18% da superfície continental (LEPSCH, 2002).

Devido a sua gênese e localização no globo terrestre, os solos das regiões tropicais são altamente intemperizados; possuem em sua maioria constituição mineralógica da fração argila composta principalmente por argilominerais de grade 1:1 e óxidos, oxi-hidróxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. Em geral esses solos são carentes de grande parte dos micronutrientes essenciais para o bom desempenho agrícola, como por exemplo, o manganês, potássio entre outros (FONTES; CAMARGO; SPOSITO, 2001). Nessas regiões, devido às condições climáticas, ocorre também aceleração dos processos metabólicos e promoção da atividade da comunidade microbiana do solo (BATISTA, 2006).

Na maioria dos solos tropicais, a disponibilidade de fósforo (P) e nitrogênio (N) são naturalmente baixas. Nessas regiões, ocorre frequentemente a fixação de fósforo (P) fase sólida, adsorção, devido às condições fornecidas pelas características físico-químicas dos coloides do solo, o pH, cátions associados ao fosfato (Ca, Al e Fe), e um baixo conteúdo de matéria orgânica (HARRIS, 1972).

Apesar de os solos tropicais possuírem uma mineralogia aparentemente simples, existe uma enorme variabilidade no comportamento e nas características desses minerais que induzem comportamentos diferenciados quanto a importantes reações (FONTES; CAMARGO; SPOSITO, 2001). Para minimizar ou mesmo solucionar esses entraves, são adotados manejos específicos que proporcionam otimização da prática agrícola. Uma dessas práticas é o plantio direto, que visa manter e recuperar a bioestrutura grumosa com constante adição de matéria orgânica, com o objetivo de reduzir a temperatura do solo, proporcionando um microclima para a cultura, além de reter a umidade, complementar a adubação e ajudar a manter os microrganismos fundamentais para uma agricultura sadia (SOANE *et al.*, 2012). Outra prática importante é a realização da adubação mineral equilibrada e aplicada gradativa, com especial atenção para o P, devido a sua baixa mobilidade e alta adsorção. Destaca-se, ainda, que a correção da acidez com periódica aplicação em cobertura de calcário é essencial para o cultivo em solos tropicais, conforme a quantidade determinada pelas análises químicas, o uso de curvas de nível e terraços em área com declive acentuado é de fundamental valor, para evitar a erosão e permitir que a água das chuvas penetre no solo (LEPSCH, 2002).

## 4.2 EVOLUÇÃO DOS TIPOS DE CULTIVO

A agricultura acompanhou e influenciou o desenvolvimento da humanidade ao longo dos tempos, conforme o ditado popular “Onde começa a agricultura, outras artes seguem” (JACK, 1946). Um dos primeiros tipos de cultivo identificado foi o de derrubada-queimada (*slash and burn*), que suportava cerca de 10 a 30 habitantes por quilômetro quadrado, densidades superiores às das dos sistemas de predação. Entre 3.000 e 1.000 a.C., a população mundial dobrou, respaldada pela extensão dos cultivos de derrubada-queimada, também influenciada pela acelerada evolução das grandes sociedades agrárias do Vale do Indo, da Mesopotâmia e do Nilo, que evoluíram para os sistemas de cultivo em várzeas. Com o surgimento dos sistemas irrigados de rizicultura de várzea dos vales e deltas na China, na Índia, e no Sudeste asiático com influência dos povos Olmeca e Maias, a população mundial mais que dobrou, passando de 250 milhões de indivíduos aproximadamente. Nessa progressão, destaca-se a revolução agrícola na Idade Média, entre os séculos XI e XII, marcada pelo desenvolvimento do sistema de cultivo com tração leve e alqueive associado à criação animal nas regiões temperadas da Europa, evoluindo para o cultivo com tração pesada sem alqueive, originários dos tempos modernos nas regiões temperadas, que permitiu triplicar ou mesmo quadruplicar a população europeia. (MAZOYER; ROUDART, 2010).

Já no século XIV, a população é reduzida, mas em seguida no século XVI se reconstruiu, e nos séculos seguintes, uma nova revolução gerou sistemas de cultivo sem a necessidade de pousio. Com isso, a população dobrou novamente, sendo ainda intensificada com o desenvolvimento de sistemas hidrorizícolas, principalmente na Ásia, a partir do ano 1000 DC. Posteriormente, com a primeira revolução agrícola da era moderna e a chegada dos sistemas de cultivos fundamentados na cerealicultura com forrageiras e sem alqueive, houve uma expansão territorial nas regiões temperadas das Américas, África do Sul, Austrália e Nova Zelândia, com um enriquecimento dos tipos de cultivos europeus derivados da inserção de novas espécies no sistema produtivo, como batata e milho. Nesse ínterim, nas regiões tropicais, empreendendo a exportação para os países colonizadores, substituíram-se os sistemas existentes por novos tipos de cultivo, mais especializados, cultivando culturas como cana-de-açúcar, seringueira, café, cacau, palmeiras para extração de óleo, algodão, banana, soja e milho. Essa etapa evolutiva produziu os sistemas mecanizados, motorizados, que contam com o uso de fertilizantes minerais e insumos químicos, tão utilizados nos dias atuais (MAZOYER; ROUDART, 2010).

A agricultura em sistemas com uso de implementos de aração possibilitou o desenvolvimento e evolução de cultivos durante muitos anos, em praticamente todas as regiões produtivas. Esses equipamentos passaram por inúmeras evoluções e modelos, como o arado de madeira, evoluindo para o " arado romano ", com relha de ferro, descrito por Virgílio por volta de 1 DC (FOWLER, 2002), e utilizado na Europa até o século V, que evoluiu, posteriormente, para o arado de inversão, nos séculos 8 a 10 (LERCHE,1994). Nos Estados Unidos da América (EUA), o arado de aiveca foi projetado por Thomas Jefferson em 1784, patenteado por Charles Newfold em 1796 e comercializado em meados de 1830 em ferro fundido, pelo ferreiro chamado John Deere (LAL; REICOSKY; HANSON, 2007). O uso desse implemento expandiu mais rápido ainda com a introdução do "cavalo a vapor", em 1910, e o uso de tratores, que aumentou em 156% a rentabilidade agrícola entre 1939 e 1944 (OLMSTEAD; RHODE, 2001; DANBOM, 2006). O uso indiscriminado dessas máquinas de revolvimento e compactação dos solos acarretou severa erosão generalizada do solo e na degradação ambiental, culminando com a chamada "tempestade de areia" (*dust bowl*) da década de 1930, influenciada pelos impactos causados por esses implementos à estrutura do solo, que aumentou a suscetibilidade deste à formação de crostas (selamento superficial), compactação e erosões (LAL; REICOSKY; HANSON, 2007).

O plantio convencional, envolvendo aração, gradagem e demais atividades de revolvimento do solo, resultou em diversos danos ambientais, entre os quais se destaca o elevado índice de compactação e erosão e, por consequência, assoreamento de corpos hídricos, que também causa o empobrecimento e esterilização do solo, provocada pelas consequências geradas pelas constantes movimentações sob o solo. A transição do sistema de cultivo convencional para outras práticas, em certa medida, menos prejudiciais ao solo, buscando formas de cultivo mais conservacionistas, começou com o desenvolvimento do 2,4-D (ácido diclorofenolacético) após a Segunda Guerra Mundial, bem como o desenvolvimento do *paraquat*, que tornou viável o sistema plantio direto em larga escala (DERPSCH, 1998). Já a última evolução dos tipos de cultivo foi o plantio direto na palha, como o próprio nome indica, a operação de plantio é realizada em cima de restos vegetais, principalmente de culturas anteriores, ou mesmo do plantio na entressafra de culturas específicas para produção de matéria orgânica, que também é deixada sobre o solo, fato que dispensa as atividades de movimento do solo, como aração ou gradagem. Nesse processo, após a colheita, os restos da cultura são triturados e mantidos no solo, o que viabiliza o início de mais um ciclo, sendo necessário

realizar apenas um pequeno sulco para comportar a semente e a adubação de plantio, o que permite revolver o mínimo do solo (SCOPEL *et al.*, 2013).

#### 4.3 DEGRADAÇÃO ESTRUTURAL DO SOLO NO PLANTIO DIRETO

O sistema plantio direto foi a mais recente revolução no método de plantio. Esse método tem sido utilizado em mais de 180 milhões de hectares no mundo, considerando, por exemplo, o ciclo 2015/2016; no Brasil, há mais de 32,9 milhões de hectares de lavoura em que o sistema plantio direto é adotado (IBGE, 2017). O plantio direto baseia-se em uma prática sustentável, que integra diversos preceitos da agricultura conservacionista e agrupa diferentes tecnologias de manejo de solo (KASSAM *et al.*, 2015). O plantio direto por meio da retenção de resíduos, acumula matéria orgânica (MO) e favorece a estabilização de carbono, fortalecendo assim sua fixação e aumentando a atividade enzimática do ciclo do carbono que, posteriormente, resulta em maior quantidade de carbono disponível e atividade biológica no solo à agregação. Inúmeros benefícios são proporcionados pelo plantio direto (SHARMA *et al.*, 2013), aumento da estabilidade dos agregados, que auxilia na prevenção de processos erosivos (BARTHÈS; ROOSE, 2002) e aumenta a capacidade de reter e distribuir água e ar no solo (DAIRON *et al.*, 2017).

Mesmo o plantio direto sendo considerado uma prática conservacionista ainda são encontrados problemas que podem promover a degradação da fertilidade química, física e biológica do solo, o que resulta em deterioração dos recursos naturais (MELO, 2016). Em decorrência de práticas de manejo e fertilização do solo inadequadas, tais como calagem superficial em excesso, tanto em dose quanto em frequência, e a adubação em superfície cíclica, entre outros, estão sendo constatados prejuízos à qualidade estrutural e química destes solos. Alguns estudos apontam áreas em que a camada superficial do solo, de 0 a 20 cm apresenta uma disposição estratificada, em síntese a camada superficial do horizonte A com alta concentração de nutrientes, matéria orgânica e uma região que favorece o crescimento radicular devido as características físicas apresentadas; já na camada subsuperficial, em torno de de 7 a 20 cm, é encontrada uma zona de maior resistência à penetração radicular, de menor permeabilidade do solo ao ar e à água e, por consequência, menor disponibilidade de nutrientes (NUNES *et al.*, 2015).

Essa camada subsuperficial prejudica o aprofundamento do sistema radicular das plantas, concentrando-se na camada mais superficial; sendo assim, as plantas ficam mais sujeitas ao

sofrimento em decorrência das condições de déficit hídrico, prejudicando também o acesso do sistema radicular à água do subsolo, devido a redução da porosidade do solo e menor alcance em profundidade dos nutrientes pode favorecer um aumento da irregularidade e à pior distribuição das raízes em solos compactados (GRZESIAK *et al.*, 2012). Alguns estudos indicam que a calagem superficial em excesso pode resultar na dispersão da argila na camada superficial do solo que, como consequência, pode ainda provocar sua suspensão na solução do solo, ocasionando inúmeras reações indesejáveis, como a formação do selamento superficial no solo, a redução da fertilidade e a poluição de corpos hídricos (ETANA; RYDBERG; ARVIDSSON, 2009).

Segundo Nunes (2018), a argila dispersa pode mover-se no perfil do solo, junto com a água de percolação, promovendo um aumento na densidade do solo nas camadas subsuperficiais. Isso além de entupir os poros, reduz a porosidade total do solo e causa a descontinuidade do sistema poroso do solo. É também apontada redução na porcentagem de poros de menor diâmetro (0,05-0,002 mm) nas camadas onde houve a dispersão de argila, devido ao entupimento dos poros, principalmente microporos, pela argila dispersa, resultando em mudanças na dinâmica da água e dos gases no solo (DÖRNER; HORN, 2006; KLEIN & LIBARDI, 2002), o que por consequência prejudica a capacidade do solo em proporcionar água e oxigênio às plantas (BALL; O'SULLIVAN; HUNTER, 1998).

#### 4.4 MODIFICAÇÕES NA QUÍMICA DE SUPERFÍCIE DO SOLO

As atividades antrópicas realizadas sobre o solo causam várias transformações e modificações físicas, químicas e biológicas. A prática agrícola frequentemente requer algum tipo de intervenção química, como a adubação e o uso de agentes corretivos, que podem modificar a densidade de carga superficial, potencial elétrico de superfície, acidez potencial, ponto de carga zero, eletrólitos, compostos orgânicos e disponibilidade de nutrientes. Essas práticas podem promover tanto a degradação física do solo quanto a química e a biológica, sendo a maior incidência da degradação das características físicas, principal componente da qualidade estrutural do solo (SOUZA *et al.*, 2015). Estes manejos podem interferir também no estado dispersivo das argilas e danificar a estrutura do solo, prejudicando o ambiente físico para o desenvolvimento radicular (MELO, 2016).

A estabilidade e comportamento das partículas de argilas do solo interferem diretamente na estabilidade dos agregados; por exemplo, é influenciada por diversos fatores físicos,

químicos e biológicos. Um exemplo de fator biológico que interfere na variação da estabilidade dos agregados em relação ao teor de água do solo é o crescimento das raízes e biomassa microbiana (BOTTINELLI *et al.*, 2017).

Alterações nas propriedades fundamentais dos solos podem ser avaliadas através do monitoramento dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. É recomendado acompanhar, nesses atributos, principalmente, os indicadores de mudanças de médio e longo prazo, com evidência para: densidade, macro e microporosidade, matéria orgânica, umidade volumétrica, capacidade de infiltração de água, resistência à penetração e densidade de indivíduos da macro e microfauna edáfica (SOUZA *et al.*, 2004).

As frações de areia e silte sofrem diversas modificações durante o processo de formação do solo. Devido às ações intempéricas, uma grande proporção dessas partículas tende a se decompor e a se transformar em argila, partículas consideradas mais estáveis no ambiente (RESENDE *et al.*, 2007), ou seja, após a formação do solo, a textura dele permanece praticamente estática, a menos que ocorram mudanças drásticas, como movimentações tectônicas bruscas ou importantes mudanças climáticas. Por esse motivo, solos mais jovens frequentemente apresentam maiores teores de areia e silte, e essa característica tem sido empregada para distinguir solos muito intemperizados de solos pouco intemperizados no SiBCS (EMBRAPA, 2018).

A calagem também interfere no estado dispersivo da argila, podendo trazer inúmeras modificações, tanto químicas como físicas. A calagem, já por essência e finalidade, acarreta alterações químicas no solo, como elevação do pH, do cálcio e do magnésio, além da neutralização do alumínio trocável (PÖTTKER; BEN, 1998). Contudo, o próprio processo natural de intemperismo favorece a presença de elementos com distintas cargas interfaciais que interferem na dispersão.

Outro fator de importante relevância para a química de solo é o ponto de carga zero (PCZ) (TSCHAPEK *et al.* 1974). Com a elevação do pH do solo, por meio do uso de corretivos de acidez, para valores por volta de 7, há desprotonação da superfície das suas arestas quebradas, aumentando assim a carga elétrica líquida negativa do solo, na camada onde o calcário se concentra. Em decorrência da elevação do potencial eletrostático, as forças de atração entre os óxidos de Fe e Al diminuem, ao passo que as forças de repulsão entre os coloides aumentam (RAMOS; MCBRIDE, 1996), reduzindo a estabilidade da suspensão coloidal (TAN, 1998).

O calcário é comumente aplicado em superfície em áreas sob cultivo em plantio direto, não efetuando a sua incorporação através de implementos agrícolas. O efeito do calcário é concentrado nas proximidades de onde foi depositado ou incorporado, uma vez que o cálcio e magnésio trocáveis possuem movimentação lenta no perfil do solo e apresentam baixa solubilidade e elevada reatividade dos ânions com ácidos existentes (RHEINHEIMER *et al.*, 2000; CAIRES *et al.*, 2006). A mobilidade reduzida do  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , é devido à menor permanência dos ânions acrescentados pelo calcário na solução do solo. O tempo de permanência é também influenciado pela presença na solução do solo de outros ânions, como nitrato, cloreto e sulfatos, em sua maioria advindos da mineralização da matéria orgânica (GONZALEZ-ERICO *et al.*, 1979). Por causa dessa característica, quase todo  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  adicionado no solo via calagem, migra para as cargas negativas criadas pela elevação do pH, e preenchem os sítios de cargas anteriormente ocupadas pelo  $\text{Al}^{3+}$ , e apenas uma pequena fração permanece na solução do solo.

Após a aplicação do calcário em superfície, ocorre um aumento nas cargas elétricas negativas do solo nas camadas superficiais, devido à elevação do pH, e o que provoca adsorção dos cátions de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  trocáveis e favorece a concentração da ação de correção da acidez em subsuperfície no solo (CAIRES *et al.*, 2003). A aplicação em subsuperfície pode acarretar na estratificação química, pois modifica propriedades físico-químicas, reduz a estabilidade dos agregados e eleva a dispersão de argila em solos argilosos. Esses fatores podem provocar a movimentação da argila no perfil do solo e assim aumentar a densidade e resistência à penetração das raízes (NUNES, 2018).

A maior parte dos estudos a respeito das modificações ocorridas em decorrência da aplicação superficial de corretivos, mostra elevação de pH somente da camada de 0-2 cm para próximo de 7,0 e apontam uma pequena reatividade do calcário abaixo dos locais de aplicação (PÖTTKER; BEN, 1998; RHEINHEIMER *et al.*, 2000). No entanto, alguns autores demonstraram elevação do pH em camadas bem abaixo daquelas onde o calcário foi aplicado (QUAGGIO; DECHEN; RAIJ, 1982; MORELLI *et al.*, 1992). Essas diferenças de modificações encontradas estão, provavelmente, relacionadas ao tamponamento dos solos em que, em sua maioria, a matéria orgânica é a responsável.

Ernani e Barber (1993) abordaram a mobilidade vertical de íons no solo, relatando que, em decorrência da forma que a aplicação de sulfato de cálcio (gesso) é realizada, a solubilidade do produto apresenta limites diferentes de mobilidade. Quando o calcário é incorporado em maiores profundidades, ou seja, com auxílio de aração, a mobilidade de  $\text{Ca}^{2+}$  e de  $\text{Mg}^{2+}$  tem

sido observado em alguns solos em profundidades superiores a 40 cm (QUAGGIO; DECHEN; RAIJ, 1982; MORELLI *et al.*, 1992). Outros fatores também influenciam a mobilidade dos íons, como o número de cargas elétricas negativas constituintes da CTC e a quantidade de matéria orgânica, que além de interferir nas cargas elétricas afetam o número de ânions existentes na solução do solo (SOUZA *et al.*, 2004). Tanto as influências naturais como as interferências provenientes das atividades da nossa sociedade provocam diversas modificações nas propriedades do solo, que podem acarretar inúmeras consequências, com possibilidade de interferir negativamente na conservação do solo.

Outra modificação na química da superfície do solo se dá pela utilização de fertilizantes nitrogenados amoniacais, o que influencia na mineralização de resíduos orgânicos, provenientes dos restos vegetais presentes na superfície do solo, advindos do sistema de plantio direto, reduz o pH na camada superficial; entretanto, não modifica a saturação por bases como também não aumenta o alumínio tóxico, provavelmente devido à elevada quantidade de compostos orgânicos (SALET, 1994). Já as substâncias húmicas reduzem o PCZ e elevam a quantidade de cargas negativas presentes no solo (STEVENSON, 1994).

Nos solos tropicais, são encontrados predominantemente coloides de cargas variáveis, cujas modificações nos valores de pH e na quantidade de carbono no solo influenciam no tipo de coloide presente e esses, por sua vez, influenciam no ponto de carga zero (PCZ) (RHEINHEIMER *et al.*, 1998). Isso reforça que as modificações ocorridas no solo são inúmeras e diversas, provenientes de fatores naturais ou provocados pelo homem.

É importante citar que os óxidos e oxi-hidróxidos de ferro e alumínio também possuem grande representatividade e importância em solos no Brasil, em especial, hematita, goethita e gibbsita. Esses óxidos são encontrados na fração argila do solo, diferindo entre si pelo arranjo das estruturas, fator que interfere diretamente em atributos físicos do solo, pois quanto mais pontos de contato entre as partículas constituintes, maior é a estabilidade de agregação. Essa característica é inversamente proporcional ao tamanho dos poros do solo e difere também em relação às ligações entre si. Ademais, tratam-se de indicadores pedogenéticos, utilizados como critérios em diagnósticos para compreender a gênese do solo e indicar o ambiente de formação do solo e dos processos ocorridos durante a gênese de determinado solo (AZEVEDO; BONUMÁ, 2004).

A presença desses minerais no solo interfere em características químicas e físicas como pH, adsorção específica de metais pesados e ânions. Estes minerais também atuam fortemente na cimentação dos agregados na fração argila. Vale destacar que nos solos tropicais óxidos de

ferro e alumínio possuem papel importante como agentes estabilizadores da estrutura, pois estão relacionados a uma alta estabilidade aos agregados, determinada pela resistência do solo à desagregação quando sofre a ação de alguma força externa, visto que, quando precipitados e desidratados, raramente se reidratam ou entram novamente em suspensão (SPOSITO, 2008). Segundo Oades *et al.* (1987), devido ao caráter anfótero de grupos funcionais presentes nas superfícies dos óxidos de ferro, é alta a interação com os grupos carboxílicos provenientes em material orgânico, formando assim complexos organo-minerais.

#### 4.5 ERRO NO CÁLCULO DE TEXTURA

Ter conhecimento sobre a distribuição granulométrica do solo é fator importante para diversas atividades como, por exemplo, para entendimento do comportamento das propriedades hidráulicas de meios porosos, para avaliação de materiais para fundações, aterros e outras construções e caracterização e classificação de solos para manejo agrícola (GEE; OR, 2002). Os métodos mais usuais para realização das análises granulométrica são os do hidrômetro, da pipeta e densímetro. Esses métodos são fundamentados na lei de Stokes, que se refere às forças exercidas pelo fluido em uma esfera em queda, em meio viscoso. Para a aplicação da lei de Stokes, é admitido que as partículas sejam esféricas, mesmo tamanho, não carregadas eletrostaticamente, e que as partículas não tenham contato entre si no decorrer da sedimentação (GEE; OR, 2002; RAMASWAMY, 2001).

Para realização da dispersão química em solos tropicais altamente intemperizados, com maior concentração de caulinita e óxidos de Fe e Al na fração argila, é utilizado o hidróxido de sódio (NaOH) (RODRIGUES; OLIVEIRA; SILVEIRA, 2011). Nesses solos, a análise granulométrica é mais complexa devido à existência de ponto de carga zero (PCZ) ou ponto isoelétrico (PIE) pelo caráter anfótero dos óxidos presentes no solo. A existência de PCZ interfere na solubilidade da solução, devido à variação de sinal e número de cargas, influenciando nas forças de atração e repulsão (APPEL *et al.*, 2003; HE; WAN; TOKUNAGA, 2008).

Rocha e Cassoli (1993), identificaram diferenças entre os resultados das análises texturais de um mesmo solo, encontrando teores de argila distintos, fator que relacionaram a problemas na dispersão das amostras durante as análises. Resultados equivocados do teor de argila no solo podem acarretar diversos erros como classificação e caracterização que, por sua vez, podem

gerar consequências negativas quanto ao uso e ao manejo (TAVARES-FILHO; MAGALHÃES, 2008).

Outra parte importante para a química do solo são os coloides, que correspondem à fração de argila fina. Em situação de dispersão, eles possuem baixa difusibilidade e solubilidade em comparação a outras substâncias, possuem diâmetros entre  $10^{-8}$  e  $10^{-5}$  m (EVERETT, 1988). Quando dispersos, os sistemas coloidais sofrem diversas interações com o meio, pois a maior parte das partículas de argila tem carga residual negativa, fator que, por sua vez, afeta a coagulação de dispersões pois age no balanço entre as forças de atração, fazendo com que as partículas interajam e sofram sedimentação (SPOSITO, 1984).

Outro fator que interfere diretamente na dispersão é a concentração crítica de coagulação (CCC) do agente dispersante utilizado para a realização de análises, pois o CCC que depende da valência do contra-íon, da força iônica e do pH, que é influenciado pelo tipo e concentração da solução do agente dispersante (SPOSITO, 1984). Em tese, se a concentração da solução do agente dispersante for abaixo da CCC, as partículas encontrar-se-iam em suspensão por bastante tempo; caso estivessem acima da CCC, as partículas deveriam sedimentar com relativa rapidez, teoria que torna problemática a aplicação para análise de sedimentação, especialmente em solos com alto teor de argila. Entretanto, as técnicas usualmente empregadas não consideram a CCC e a taxa de sedimentação para realização das análises, pois normalmente é aferida pela frequência de colisões e pela probabilidade de coesão nas colisões (EVERETT, 1988). Além da dispersão química para a realização da análise granulométrica, é realizada agitação mecânica da amostra de solo, por meio de equipamento de agitação, para aumentar a taxa de dispersão das partículas, e posteriormente, é realizada agitação manual e esperada a sedimentação com aferições constantes das partículas em suspensão (GEE; OR, 2002).

A análise granulométrica que tem os cálculos baseados na lei de Stokes é problemática, tanto para as partículas coloidais quanto para as partículas grosseiras (fração areia). O modelo de equação mais encontrado na literatura para fins de análise granulométrica é (GEE; OR, 2002):

$$v_s = [2(D_p - D_l)gr^2]/9\mu \quad (1)$$

Em que  $v_s$  é a velocidade de sedimentação ( $m\ s^{-1}$ ),  $D_p$  é a densidade das partículas ( $kg\ m^{-3}$ ),  $D_l$  é a densidade do líquido ( $kg\ m^{-3}$ ),  $g$  é a gravidade ( $m\ s^{-2}$ ),  $r$  é o raio da partícula (m) e  $\mu$  é a viscosidade dinâmica ( $N\ s\ m^{-2}$ ). Para as frações coloidais, o tamanho das partículas favorece o movimento browniano que deve dificultar a determinação da verdadeira distribuição das partículas do solo por métodos de sedimentação. Já para as frações grosseiras, devido ao

raio das partículas, o movimento não é laminar, interferindo na sedimentação por movimento turbulento completamente desenvolvido, sendo o fluxo laminar válido para partículas com diâmetro menor que 0,075 mm aproximadamente. Sendo assim, a lei de Stokes, aplicada corriqueiramente nas análises granulométrica, só é válida para as partículas entre silte e areia fina, ignorando a não validade da lei para partículas em contato (LEÃO et al., 2013).

#### 4.6 TEXTURA DO SOLO E MANEJO AGRÍCOLA

A análise textural é um procedimento que permite conhecer a proporção das frações de areia, silte e argila do solo, ou seja, a distribuição das partículas unitárias menores que 2,0 mm. Para obter resultados confiáveis por meio da análise textural, é necessário promover a completa dispersão das partículas do solo, mantendo-a estável durante todo o processo de análise, independentemente de qual seja o método de análise granulométrica usado (RESENDE; CURI; LANI, 1999).

Conforme relatado por Donagemma *et al.* (2003), alguns Latossolos, especialmente aqueles enriquecidos em óxidos, podem apresentar dificuldades ou até mesmo problemas na dispersão (FERREIRA; FERNANDES; CURI, 1999), ocasionados pela presença de microagregados de elevada estabilidade, pois nem sempre são totalmente desfeitos pela dispersão química e mecânica, situação que pode comprometer a análise granulométrica da amostra de solo (MITCHELL; FARMER; MCHARDY, 1964).

Além da análise granulométrica, existem outras análises que são importantes para avaliar as condições estruturais do solo; dentre elas, podemos destacar a análise da argila dispersa em água (ADA) (IGWE; ZAREI; STAHR, 2006; TAVARES FILHO; TESSIER, 2009). A determinação da quantidade de argila dispersa em água na prevenção dos riscos pertinente à erosão hídrica (LIMA *et al.*, 1990; CALERO; BARRON; TORRENT, 2008). A ADA é de fundamental importância, principalmente para solos de regiões semiáridas, por apresentarem excesso de sódio trocável (PANAYIOTOPOULOS; BARBAYIANNIS; PAPTOLIOS, 2004).

Uma série de estudos, desenvolvidos sob condição de campo, indicam que a calagem excessiva pode resultar na redução da estabilidade da estrutura do solo, ou mesmo causar a dispersão de argila em solos altamente intemperizados, como os Latossolos (PEELE; BEALE; LATHAM, 1938; CASTRO; LOGAN, 1991; SOPRANO, 2002; NUNES, 2016). Quando a argila se encontra dispersa na camada superficial do solo, tornando-se suspensa em água, pode

acarretar inúmeros problemas indesejáveis, podendo ainda se movimentar no perfil do solo, pela água de percolação (JACOBSEN *et al.*, 1997; ETANA; RYDBERG; ARVIDSSON, 2009), provocando elevação da densidade do solo nas camadas subsuperficiais, bem como o entupimento dos poros, ocasionando a redução da porosidade total e aumento da resistência à penetração, redução da área superficial específica e o grau de anisotropia, além da possibilidade de provocar a formação de crosta superficial, reduzir a fertilidade do solo e poluir corpos d'água (NUNES *et al.*, 2018).

A garantia de resultados coerentes e confiáveis na análise textural está na dependência de alcançar suspensões de solo em que suas partículas se mostrem realmente individualizadas e se conservem assim até sua separação e quantificação final (MEDINA, 1972).

## REFERÊNCIAS

- ALLEONI, L. R. F. *et al.* Acidity and aluminium speciation as affected by surface liming in tropical no-till soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 74, p. 1010- 1017, 2010.
- APPEL, C. *et al.* Point of zero charge determination in soils and minerals via traditional methods and detection of electroacoustic mobility. **Geoderma**, v. 113, p. 77-93, 2003.
- AZEVEDO, A.C. & BONUMÁ, A.S. Partículas coloidais, dispersão e agregação em Latossolos. **Ciência Rural**, 34:609- 617, 2004.
- BALL, B. C.; O'SULLIVAN, M. F.; HUNTER, R. Gas diffusion, fluid flow and derived pore continuity indices in relation to vehicle traffic and tillage. **Journal of Soil Science**, v. 39, n. 3, p. 327-339, 1998.
- BARTHÈS, B.; ROOSE, E. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion; validation at several levels. **Catena**, v. 47, n. 2, p. 133-149, 2002.
- BATISTA, K. **Nitrogênio e enxofre na implantação do capim marandu em substituição ao capim-braquiária em degradação num solo com baixa matéria orgânica**. 2006. Tese (Doutorado em Agricultura) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- BOTTINELLI, N. *et al.* Tillage and fertilization practices 117 affect soil aggregate stability in a humic Cambisol of northwest France. **Soil and Tillage Research**, v. 170, p. 14-17, 2017.
- BUTIERRES, M.F.M. Efeito do calcário e fosfato de potássio no ponto de zero carga (PZC) e grau de floculação de três solos do Rio Grande do Sul. Santa Maria, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1980. 59p. (Tese de Mestrado).
- CAIRES, E. F. *et al.* Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p. 275-286, 2003.
- CAIRES, E. F. *et al.* Surface lime application and black oat cover preceding corn and soybean crops under no-till system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 1, p. 87-98, 2006.
- CALERO, N.; BARRON, V.; TORRENT, J. Water dispersible clay in calcareous soils of Southwestern Spain. **Catena**, v. 74, n. 1, p.22-30, 2008.
- CASTRO, C.; LOGAN, T. J. Liming effects on the stability and erodibility of some Brazilian Oxisols. **Soil Science Society of America Journal**, v. 55, n. 5, 1991.
- CUNHA, P. *et al.* Superfícies geomórficas e atributos de Latossolos em uma seqüência arenítico-basáltica da região de Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 1, p. 81-90, 2005.

DAIRON, R. *et al.* Long-term impact of reduced tillage on water and pesticide flow in a drained context. **Environmental Science and Pollution Research International**, v. 24, n. 8, p. 6866–6877, 2017.

DANBOM, D. B. **Born in the Country**: A history of rural America. Baltimore: John Hopkins University Press, 2006.

DANG, Y. P. *et al.* Strategic tillage in no-till farming systems in Australia's northern grain-growing regions: II. Implications for agronomy, soil and environment. **Soil and Tillage Research**, v. 152, p. 115-123, 2015.

DERPSCH, R. Implications of No-tillage Versus Soil Preparation on Sustainability of Agricultural Production. Catena Verlag, *Advances in GeoEcology* 31. 1175-1186, 1998.

DONAGEMMA, G. K. *et al.* Dispersão de Latossolos em resposta à utilização de pré-tratamentos na análise textural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p. 765-772, 2003.

DÖRNER, J.; HORN, R. Anisotropy of pore functions in structured Stagnic Luvisols in the weichselian moraine region in Germany. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 169, n. 2, p. 213-220, 2006.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Embrapa Solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília, 2018.

ERNANI, P. R.; BARBER, S. A. Composição da solução do solo e lixiviação de cátions afetadas pela aplicação de cloreto e sulfato de cálcio em um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, n. 1, p. 41- 46, 1993.

ETANA, A.; RYDBERG, T.; ARVIDSSON, J. Readily dispersible clay and particle transport in five Swedish soils under long-term shallow tillage and mouldboard ploughing. **Soil and Tillage Research**, v. 106, n. 1, p. 79–84, 2009.

EVERETT, D. H. **Basic Principles of Colloid Science**. London: Royal Society of Chemistry, 1988.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 3, p. 515-523, 1999.

FONTES, M. P. F.; CAMARGO, O. A.; SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. **Scientia Agricola**, vol. 58, n.3, p. 627-646, 2001.

FOWLER, P. **Farming in the First Millennium AD**: British Agricultura entre Júlio César e Guilherme, o Conquistador. Cambridge: Cambridge University Press, 2002.

GEE, G. W.; OR, D. Particle-size analysis. *In*: DANE, J. H.; TOPP, G. C. (Ed.). *Methods of soil analysis*. Part 4. **Physical methods**. Madison: SSSA Book Series, No. 5, p. 255-293, 2002.

GONZALEZ-ERICO, E. *et al.* Effect of depth of lime incorporation on growth of corn on an Oxisol of Central Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 43, n. 6, p. 1155- 1158, 1979.

GRZESIAK, S. *et al.* Changes in root system structure, leaf matric potential and gas exchange of maize and triticale seedlings affected by soil compaction. **Environmental and Experimental Botany**, v. 88, p. 2–10, 2012.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 5. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

HARRIS, C. R. Factors influencing the effectiveness of soil insecticides. **Annual review of entomology**, v. 17, p. 177-198, 1972.

HE, Y. T.; WAN, J.; TOKUNAGA, T. Kinetic stability of hematite nanoparticles: the effect of particle sizes. **Journal of Nanoparticle Research**, v. 10, p. 321-332, 2008.

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. 1. ed. California: Academic Press, 1998.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapeamento de Recursos Naturais do Brasil**. Documentação Técnica Geral, 2017.

IGWE, C. A.; ZAREI, M.; STAHR, K. Clay dispersion of hardsetting Inceptisols in southeastern Nigeria as influenced by soil components. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 37, n. 5, p. 751-766, 2006.

JACOBSEN, O. H. *et al.* Particle transport in macropores of undisturbed soil columns. **Journal of Hydrology**, v. 196: p. 185-203, 1997.

JACK, W.T. *The Furrow and Us*. Dorrance and Co., Philadelphia, 158 p, 1946.

KASSAM, A. *et al.* Overview of the worldwide spread of conservation agriculture. **Field Actions Science Reports**. v. 8, 2015.

LAL, R. A system approach to conservation agriculture. **Journal Soil Water Conservation**, v. 70, n. 4, p. 82A-88A, 2015.

LAL, R.; REICOSKY, D. C.; HANSON, J. D. Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. **Soil and Tillage Research**, v. 93, n. 1, p. 1-12, 2007.

LEÃO, T.P. *et al.* On critical coagulation and grain size analysis of oxisols. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, p. 1955–1964, 2013.

LEPSCH, I. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos. p. 177, 2002.

LERCHE, G. Ploughing Implements and Tillage Practices in Denmark from the Viking Period to About 1800: Experimentally Substantiated. Commission for Research on the History of Agricultural Implements and Field Structures. **Royal Danish Academy of Sciences and Letters**, v. 8, 1994.

LIMA, J. M. *et al.* Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.85-90, 1990.

MAURI, J. **Dispersantes químicos na análise granulométrica de Latossolos**. Dissertação (Mestrado em Fertilidade do solo e nutrição de plantas; Gênese, Morfologia e Classificação, Mineralogia, Química,). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. **História das agriculturas no mundo: do Neolítico à crise contemporânea**. São Paulo: Editora UNESP; Brasília, DF: NEAD/MDA, 2010.

MEDINA, H. P. **Constituição física**. In: MONIZ, A. C., coord. Elementos de pedologia. São Paulo, EDUSP. 1972.

MELO, T.R. **Estabilidade estrutural e dispersão de argila de um Latossolo Vermelho afetadas por cama de frango**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

MITCHELL, B. O.; FARMER, V. C.; MCHARDY, W. J. Amorphous inorganic materials in soils. **Advances Agronomy**, v. 16, p. 327-383, 1964.

MORELLI, J. L. *et al.* Calcário e gesso na produtividade da cana-de-açúcar e nas características químicas de um latossolo de textura médio alíco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 1992.

NUNES, D. P. **Avaliação da Nutrição de Arroz Irrigado Cultivado em Solos com Diferentes Texturas e seu Efeito na Sanidade e Produtividade de Grãos**. Dissertação (Mestre em Melhoramento Genético Vegetal) - Fundação Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2016.

NUNES, M. R. **Estrutura de solos altamente intemperizados cultivados sob sistema de plantio direto**. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018.

NUNES, M. R. *et al.* Mitigation of clayey soil compaction managed under no-tillage. **Soil Tillage Research**, 2015.

NUNES, M. R. *et al.* Soil Chemical management drives structural degradation of Oxisol under a no till cropping system. **Soil Research**, v. 55, p. 819-831, 2017.

OADES, J. M. *et al.* Characterization of organic matter in particle size and density fractions from a red-brown earth by solid-state <sup>13</sup>C N.M.R. **Australian Journal Soil Research**, v. 25, p. 71-82, 1987.

OLMSTEAD, A. L.; RHODE, R. W. Remodelando a paisagem: O impacto e difusão do trator na agricultura americana, 1910-1960. **J. Economy History**. v. 61, p. 663-698, 2001.

PANAYIOTOPOULOS, K. P.; BARBAYIANNIS, N.; PAPTOLIOS, K. Influence of electrolyte concentration, sodium adsorption ratio and mechanical disturbance on dispersed

clay particle size and critical flocculation concentration in Alfisols. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.35, p.1415-1434, 2004.

PEELE, T. C.; BEALE, O. W.; LATHAM, E. E. Effect of lime and organic matter on the erodibility of Cecil clay. **Soil Science Society of America Journal**. v. 3, p. 289-295, 1938.

PÖTTKER, D.; BEN, J. R. Calagem para uma rotação de culturas no plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 675-684, 1998.

QUAGGIO, J. A.; DECHEN, A. R.; RAIJ, B. V. Efeito da aplicação do calcário e gesso sobre a produção de amendoim e lixiviação de bases no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.6, n. 3, p.189-194, 1982.

RAMASWAMY, S. Issues in the statistical mechanics of steady sedimentation. **Advances Physics**. v. 50, p. 297-341, 2001.

RAMOS, A. C. H.; MCBRIDE, M. B. Goethite dispersibility in solutions of variable ionic strength and soluble organic matter content. **Clays Clay Mineral**, v. 44, p. 286-296, 1996.

RESENDE, M.; CURI, N.; LANI, J. L. Tropical soils: implications on sustainable development. In: SCIENCE for Sustainable Development in Latin America and the Caribbean. Rio de Janeiro, **Academia Brasileira de Ciências**, 1999.

RESENDE, M. *et al.* **Pedologia**: base para distinção de ambientes. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2007.

RHEINHEIMER, D. S. *et al.* Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, 2000.

RHEINHEIMER, D. S. *et al.* Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 1998.

ROCHA, G. C.; CASSOLI, A. R. **Estudo comparativo de métodos de análise granulométrica de solos**. (Informe Técnico, 1) - Londrina, Universidade Estadual de Londrina, p. 15, 1993.

RODRIGUES, C.; OLIVEIRA, V. A.; SILVEIRA, P. M. Chemical dispersants and pretreatments to determine clay in soils with different mineralogy. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1589-1596, 2011.

ROTH, C. H.; PAVAN, M. A. Effects of lime and gypsum on clay dispersion and infiltration in sample of Brazilian Oxisol. **Geoderma**, v. 48, n. 3-4, p. 351-361, 1991.

SALET, R. L. **Dinâmica de íons na solução de um solo submetido ao sistema plantio direto**. Dissertação (Mestrado). Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p. 110, 1994.

SANTOS, H.G. *et al.* Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2013. 353 p.

SCOPEL, E. *et al.* Conservation agriculture cropping systems in temperate and tropical conditions, performances and impacts. **Review Agronomy Sustainable Development**. v. 33, p. 113–130, 2013.

SCOPEL, I. *et al.* **Neossolos Quartzarênicos órticos das áreas de areais do sudoeste do Rio Grande do Sul**: características físicas e morfológicas. In: SUERTEGARAY, D. M. A.; SILVA, L. A. P. da; GUASSELLI, L. A. (Org.). *Arenização: natureza socializada*. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura: Imprensa Livre, 2012.

SHARMA, S. B., SAYYED, R. Z., TRIVEDI, M. H., & GOBI, T. A. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. *SpringerPlus*, 2(1), p 587, 2013.

SOANE, B. D. *et al.* No-till in northern, western and southwestern Europe: a review of problems and opportunities for crop production and the environment. **Soil Tillage Research**, v. 118, p. 66-87, 2012.

SOPRANO E. Stability of aggregates and clay dispersion as function of liming. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2002.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J. & PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28:937-944, 2004.

SOUZA, G. S. *et al.* Controlled traffic and soil physical quality of an oxisol under sugarcane cultivation. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.72, n.3, p.270-277, 2015.

SPOSITO, G. **The surface chemistry of soils**. Oxford: Oxford University Press, 1984.

SPOSITO, G. **The surface chemistry of soils**. 2<sup>nd</sup> ed. Oxford: Oxford University Press, 2008.

STEVENSON, F.J. *Humus Chemistry. Genesis, Composition, Reactions* Wiley, New York. 496 p., 1994.

TAN, K. H. **Principles of soil chemistry**. 3. ed. New York: Marcel Dekker, 1998.

TANG, C. *et al.* Responses of wheat and barley to liming on a sandy soil with subsoil acidity. **Field Crops Research**, v. 80, p. 235–244, 2003.

TAVARES-FILHO, J.; MAGALHÃES, F. S. Dispersão de amostras de Latossolo Vermelho eutroférico influenciadas por pré-tratamento para oxidação da matéria orgânica e pelo tipo de agitação mecânica. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, 2008.

TAVARES FILHO, J.; TESSIER, D. Characterization of soil structure and porosity under long-term conventional tillage and no-tillage systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1837-1844, 2009.

TEIXEIRA, W. *et al.* **Decifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

TSCHAPEK, M.; TCHEICHVILI, L.; WASOWSKI, C. The point of zero charge (PCZ) of kaolinite and SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mixtures. **Clay Minerals**. v. 10, p. 219-229, 1974.

YOUNG, F. J.; HAMMER, R. D. Defining geographic soil bodies by landscape position, soil taxonomy, and cluster analysis. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 989-998, 2000.

## **CAPÍTULO ÚNICO**

# **DISPERSÃO E ANÁLISE GRANULOMÉTRICA EM LATOSSOLOS SOB PLANTIO DIRETO E VEGETAÇÃO NATIVA COM E SEM REMOÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA**

**Geovana Alves Santos Campos<sup>1</sup>; Tairone Paiva Leão<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Estudante de mestrado em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília – FAV-UnB, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Instituto Central de Ciências Ala Sul, Brasília, DF, geovanalsan1@gmail.com.

<sup>2</sup>Professor Associado da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília – FAV-UnB.

## **RESUMO**

O conhecimento da granulometria do solo é essencial para o desenvolvimento de diversas atividades, especialmente por sua aplicação direta no uso e manejo desse recurso como também em análises sobre corpos hídricos em sistemas produtivos. Para se obter acurácia nos resultados de uma análise de granulometria, é necessária a completa dispersão e estabilidade da solução do solo. Nesse sentido, o objetivo desta pesquisa foi comparar a dispersão de amostras de cinco horizontes provenientes de cinco estados brasileiros sob plantio direto (PD) e sob condições de vegetação nativa (VN), com e sem remoção da matéria orgânica (MO), a fim de verificar se há diferença no comportamento dispersivo da solução. Para realização das análises, utilizou-se o método hidrômetro. Nas amostras com a oxidação da MO sob PD, foi observada alta incidência de floculação da massa de suspensão, superestimando assim a quantidade de silte na amostra, caracterizado como pseudossilte. O resultado indica que as modificações causadas pela atividade agrícola, especificamente o PD, tem interferência direta na análise textural quando removida a MO. Além disso, este estudo também foi verificado problemas relacionados ao uso do NaOH como agente dispersante, pois o mesmo não foi capaz de superar os efeitos agregantes e nem mesmo manter a solução dispersa e estável durante a marcha analítica. Esses achados reforçam a necessidade de mais estudos para viabilizar um protocolo de padronização adequado para análise textural de solos altamente intemperizados e sob cultivo em PD.

**Palavras-chaves:** análise textural, dispersão, Latossolos, matéria orgânica, plantio direto.

# **DISPERSION AND GRANULOMETRIC ANALYSIS IN OXISOLS UNDER NO-TILL AND NATIVE VEGETATION WITH AND WITHOUT REMOVAL OF ORGANIC MATTER**

**Geovana Alves Santos Campos<sup>1</sup>; Tairone Paiva Leão<sup>2</sup>**

## **ABSTRACT**

The knowledge of soil granulometry is essential for the development of various activities, especially for its direct application in land use, soil management and also in analysis of water resources in productive systems. To obtain accurate results in grain size analysis it is necessary to have a complete dispersion and stability of the soil solution. In this sense, the objective of this research was to compare the dispersion of surface horizons of soils from five Brazilian states under no-till (PD) and under native vegetation (VN) conditions, with and without removal of organic matter (MO), in order to check if there is a difference in the dispersive behavior of the solution. To perform the analysis, the hydrometer method was used. In samples with oxidation of MO under no-till, a high incidence of flocculation of the suspension mass was observed, thus overestimating the amount of silt in the sample, characterized as pseudosilt. The result indicates that the modifications caused by the agricultural activity, specifically the no-till, has direct interference in the textural analysis when the MO is removed. In addition, this study also highlighted issues about the use of NaOH as a dispersing agent, because it could not overcome the aggregating effects and not even keep the solution dispersed and stable during the analytic march. These findings reinforce the need for further studies to enable an adequate standardization protocol for textural analysis of highly weathered soils under no-till cultivation.

**Keywords:** textural analysis, dispersion, Oxisols, organic matter, no-till.

## 1 Introdução

A formação de Latossolos é oriunda de intenso e contínuo intemperismo químico. Estes solos apresentam tonalidades que variam entre as cores vermelho, amarelo e bruno, e estão presentes em regiões tropicais e subtropicais, representando 25-30% do solo dessas regiões (Schaefer, 2001; Soil Survey Staff, 2014; Lal, 2002). No Brasil, a formação de Latossolos corresponde a aproximadamente 8,5 milhões de km<sup>2</sup>, em torno de 40% do território brasileiro (Andrade et al., 2005). O Brasil concentra a maior parte de seu território entre os trópicos, assim predominando o clima tropical no país, onde a atuação de fatores intempéricos tende a ser mais intensa. O intemperismo químico, ocorre por meio de reações como dissolução, lixiviação, oxidação e provocam mudanças na composição química do solo e em suas características físicas. Como por exemplo, o processo de hidrólise provoca a decomposição de minerais que gera perda de cátions polivalentes, como Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Si<sup>4+</sup>, resultando assim em acumulação de hidróxidos de Fe<sup>3+</sup> e Al<sup>3+</sup> (Boul e Eswaran, 1999).

Os Latossolos são produto de intensa ferralitização, resultando na perda de silicatos e acúmulo de óxidos e hidróxidos de Fe<sup>3+</sup> e Al<sup>3+</sup> (Van Breemen e Buurman, 2002). Os óxidos e hidróxidos de ferro por sua vez atuam como cimentantes dos microagregados do solo provocando aglutinação dos minerais (Cornell e Schwertmann, 2006).

Cátions (*e.g.*, Fe<sup>3+</sup> e Al<sup>3+</sup>) e ânions (*e.g.*, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> e Cl<sup>-</sup>) presentes no solo atuam também no balanço de cargas e um dos pré-requisitos para que haja agregação de partículas é que as cargas presentes estejam em equilíbrio. Em Latossolos, o balanço de cargas é normalmente próximo de zero, fator que favorece a floculação (Martinez e Souza, 2020). O balanço de cargas está diretamente ligado à formação pedogenética do solo e suas interações físico-químicas. Em condições naturais, o cátion que mais contribui para o balanço de cargas no solo é o Al<sup>3+</sup>, pois é pouco lixiviado (Bartoli et al., 1992b). A maior parte dos minerais de argila presentes nos Latossolos, argilominerais de grade 1:1 e óxidos, esses últimos caracterizados por cargas dependentes de pH. Geralmente os Latossolos possuem ponto de carga zero (PCZ) na faixa de pH, que corresponde ao valor de pH em que a soma de cargas positivas e negativas é igual a zero, na faixa de pH entre 4,5 e 5,5 em horizonte A em condições naturais (Martinez e Souza, 2020).

A maioria dos óxidos e hidróxidos presentes possuem PCZ muito mais alto que o PCZ encontrado naturalmente em Latossolos, como gibbistita = 7,8; goethita = 8,6; hematita = 7,9 (Kaise e Guggenberger, 2003). Em solos cultivados, é empregada a calagem, ou seja, a adição de calcário para reduzir a acidez do solo, o que provoca a precipitação do Al<sup>3+</sup>, que é tóxico às

plantas cultivadas. A calagem pode também alterar a natureza dos cátions na solução e os seus sítios de superfície que, em algumas condições, pode dificultar a dispersão química realizada para a análise granulométrica (Leão et al., 2013). Além de alcalizar/aumentar o pH do solo, a calagem disponibiliza  $\text{Ca}^{2+}$ , que é um cátion polivalente e que tem ação floculante.

Por sua vez, os compostos presentes na matéria orgânica do solo, geralmente contendo grupos carboxílicos, são normalmente ionizados em pH acima de 4,7. Assim, do ponto de vista do equilíbrio de cargas, são capazes de ligar-se à maioria dos minerais de argila, que contém óxidos e hidróxidos de  $\text{Fe}^{3+}$  e  $\text{Al}^{3+}$ . A MO influencia na gênese de microagregados em Latossolos no horizonte A, nos horizontes mais profundos do perfil do solo, o teor de MO tende a reduzir, assim aumentando o PCZ do solo e, por consequência, reduzindo sua interação com os agregados (Kleber et al., 2015).

O conteúdo de MO é fator importante no processo de dispersão do solo, podendo assim interferir na análise granulométrica, reduzindo a dispersão da fração argila, pois aumenta as forças coesivas entre as partículas (Bartoli et al., 1992a). Essa tendência pode estar ligada tanto a propriedades químicas, onde a MO se liga aos minerais de argila por meio de ligações catiônicas, como a propriedades físicas, em que a MO atua como agente cimentante unindo as partículas minerais (Bartoli et al., 1992b). Segundo Melo et al. (2021), as ligações mediadas por compostos orgânicos aumentam a quantidade de microagregados estáveis em água. Portanto, a MO é fator importante no processo de dispersão do solo, podendo assim interferir na análise granulométrica (Donagemma, 2017). Por outro lado, a não dispersão das amostras analisadas podem subestimar a proporção de argila no solo.

Para realização da análise granulométrica, é utilizado um agente dispersante, normalmente o hidróxido de sódio (NaOH). O uso desse agente tem como objetivo promover a total dispersão da amostra (Teixeira et al. 2017). A hidroxila ( $\text{OH}^-$ ) presente no hidróxido de sódio provoca desprotonação da superfície e aumento de pH, já o sódio ( $\text{Na}^+$ ) é um cátion dispersante que se liga as partículas minerais provocando repulsão de cargas. Quando usado como agente químico de dispersão, aumenta o pH da solução, com o intuito de distanciar o pH da solução do PCZ dos colóides presentes, para favorecer a dispersão (Leão et al. 2013).

A análise granulométrica, além de permitir a obtenção das frações texturais em um determinado solo, também é utilizada para classificar e mapear solos, realizar estudos, propor recomendações para o uso conservacionista do solo, fazer cálculos de aplicação de fertilizantes químicos, avaliações hidrológicas e ambientais, entre outras finalidades. Consequentemente, erros nas análises granulométricas podem gerar impactos econômicos e socioambientais.

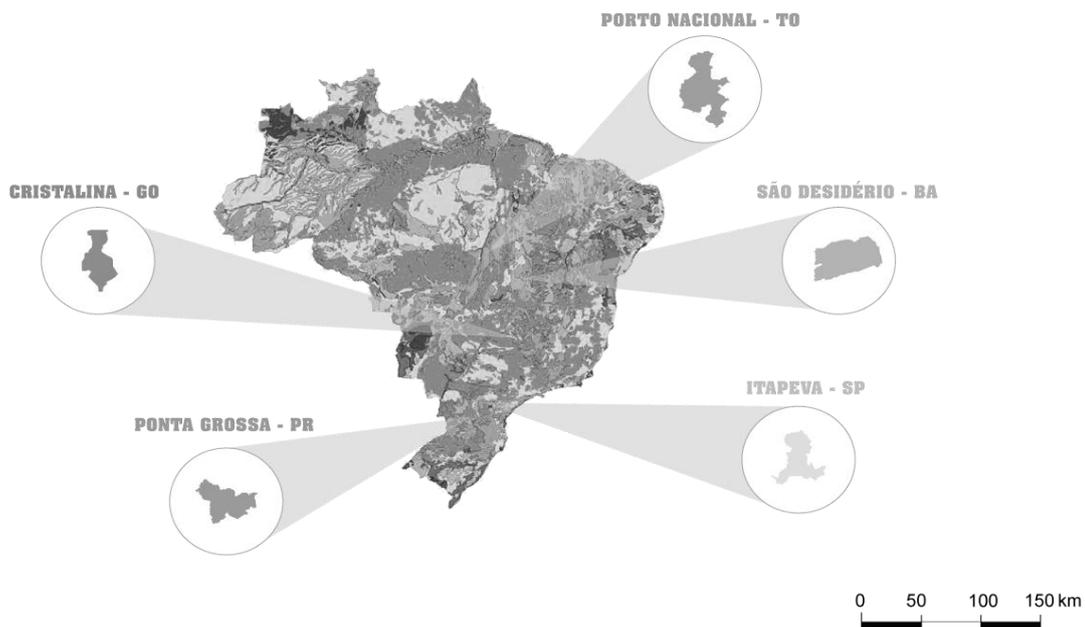
Considerando a importância dessa análise, o objetivo deste estudo foi comparar a dispersão de horizontes superficiais de solos sob plantio direto e sob condições de vegetação nativa, investigando também o papel da matéria orgânica na dispersão dos solos estudados.

## **2 Material e métodos**

### **2.1 Descrição dos locais de amostragem**

O experimento foi realizado no laboratório de Física de solo da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, da Universidade de Brasília, em Brasília, DF, em 2021. Utilizaram-se amostras de solos provenientes de cinco estados brasileiros, nos municípios Porto Nacional – TO, São Desidério – BA, Cristalina – GO, Itapeva – SP e Ponta Grossa – PR. Conforme a classificação climática de Köppen, o clima em Porto Nacional é Tropical (Aw), em São Desidério é Tropical com chuvas de verão (BSh), em Cristalina é Tropical de altitude (Cwa), em Itapeva é Subtropical úmido (Cfa) e em Ponta Grossa é Subtropical úmido (Cfa).

As áreas em que as amostras foram coletadas consistem em propriedades rurais com histórico de no mínimo 5 anos de sistema plantio direto (PD) consolidado, e uma área sob vegetação nativa (VN) preservada com distância máxima de 500 m com objetivo de reduzir as chances de variação do tipo de solo, verificado por meio de tradagens, sistemáticas confirmando o mesmo tipo de solo. A Figura 1 apresenta os municípios brasileiros em que as amostras foram coletadas.



**Figura 1** - Indicação dos municípios de coleta das amostras de Latossolos (Adaptado de Santos et al. 2011)

## 2.2 Procedimentos de coleta

As amostras foram coletadas aleatoriamente, com auxílio de trado holandês, na profundidade de 0-20 cm, foram cinco amostras sob área em cultivo em PD e cinco amostras em uma área adjacente sob VN, foram também coletados três pontos em profundidade, para realização de análises químicas, físicas para fins de comparação, como também para auxiliar na classificação e enquadramento no Sistema Brasileiro de Classificação de solos - SiBCS (Embrapa, 2018), esses pontos foram subdivididos nas seguintes profundidades: 0-20 cm, 40-60 cm e 60-80. A caracterização química e física das amostras foi realizada pelo Laboratório de Solos da ESALQ – USP.

As amostras coletadas na profundidade 0-20 cm foram utilizadas para os experimentos de análise textural com e sem pré-tratamento, para oxidação da matéria orgânica (MO). Os tratamentos consistiram em cinco amostras coletadas sob PD com pré-tratamento para oxidação da MO, e cinco sem oxidação, cinco amostras coletadas sob VN com pré-tratamento para oxidação da MO, e cinco sem a realização da oxidação da MO, conferindo em quatro tratamentos ao total.

## 2.3 Preparo das amostras

Posterior à coleta, as amostras foram secas ao ar e passadas em peneira com abertura de malha de 2 mm. Após esse processo uma parte das amostras foram organizadas e separadas em aproximadamente 500 g e enviadas ao Laboratório de Solos da ESALQ – USP, as análises foram realizadas de acordo com o Manual de Métodos de Análise de solo (Teixeira et al., 2017). Foram também pesadas e separadas 100 g de cada amostra para realizar o pré-tratamento para a oxidação da MO e na sequência do processo, 50 g foi fracionada das 100 g, de amostra já oxidada, e destinadas ao experimento de sedimentação. Outras 50 g de cada amostra coletada foram pesadas e separadas sem o pré-tratamento e destinadas aos experimentos de sedimentação realizados no Laboratório de Física do Solo da FAV – UnB.

### 2.3.1 Oxidação da matéria orgânica

A oxidação da matéria orgânica foi realizada como pré-tratamento para a análise de dispersão, em dois dos tratamentos do experimento, sendo eles plantio direto e vegetação nativa com pré-tratamento para oxidação da MO (PD-NOM; VN-NOM). Foram utilizadas 100g de solo das amostras coletadas de 0-20 cm de cada área. As amostras foram transferidas para erlenmeyers de 2 L, primeiramente foi adicionado 100 mL de Peróxido de Hidrogênio ( $H_2O_2$ ) (34.01% v/v), agitado manualmente cada erlenmeyer e levado à estufa de fluxo contínuo a 60 °C por um período médio de 40 minutos a 1 h. O tempo foi definido pelo período em que a amostra levou até parar de formar bolhas (“efervescência”). Posteriormente o material foi retirado da estufa e adicionado mais 50 mL de  $H_2O_2$  e deixado em descanso na capela de exaustão por cerca de 2 h e após adicionado mais 50 mL permanecendo em repouso por 24 h. Após as 24 h, foi adicionado mais 10 mL de  $H_2O_2$  e colocado em descanso por 72 h. Na última fase foi adicionado mais 10 mL e observada a ausência de reação de oxidação do peróxido de hidrogênio com o solo (sem bolhas de ar ou efervescência) (Mikutta et al., 2005).

Após 24 h da última adição de  $H_2O_2$  as amostras foram retiradas dos erlenmeyers e transferidas para béqueres de vidro de 250 mL. Utilizou-se água destilada para ajudar a transferir o solo totalmente. Logo, os béqueres foram levados a estufa de fluxo contínuo à 60 °C por cerca de 72 h ou até secar totalmente. Após esse processo, o solo foi retirado dos béqueres com o auxílio de uma espátula de metal. As amostras foram destorroadas, peneiradas em peneira de 2 mm e alocadas em latas de alumínio (Mikutta et al., 2005).

### 2.3.2 Análise granulométrica: método por sedimentação (hidrômetro)

As análises de dispersão foram realizadas em amostras com e sem pré-tratamento para oxidação da matéria orgânica, utilizando-se  $H_2O_2$  (Gee e Or, 2002). Após os tratamentos, cada unidade experimental foi constituída de 50 g de solo seco, dispersa em solução diluída de NaOH  $1 \text{ mol.L}^{-1}$  e submetida à agitação mecânica por 16 h em mesa de movimento horizontal recíprocante a 160 RPM. Em seguida, cada amostra foi transferida para provetas de 1 L para realização da agitação manual e aferição das leituras por meio do uso do hidrômetro. A agitação manual foi realizada por um único operador, por 30 segundos, após os quais foi iniciada a contagem do tempo de sedimentação. Foram estabelecidos tempos pré-determinados, foram eles: 40 s; 90 s; 10 min; 30 min; 1 h; 2 h; 8 h e 24 h, para possibilitar a construção da curva de sedimentação de partículas. Depois de realizadas todas as leituras, o conteúdo da proveta foi transferido para uma peneira de 0,05 mm, lavado, transferido o conteúdo sólido para recipientes de inox, secado em estufa a  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  e pesados, para confirmar e comparar a quantidade de areia com o resultado da primeira leitura do hidrômetro (Gee e Or, 2002). Também foi realizado o fator de correção de umidade em todas as amostras, para utilização nos cálculos de textura. Realizou-se de maneira complementar a análise de pH de todas as soluções das provetas. Para isso, utilizou-se um pHmetro PG 2000 da marca G SOLO.

Durante o processo de leitura foi observado o comportamento de cada solução dentro das provetas, identificando através de parâmetros visuais como, separação da parte sólida da líquida, analisando a quantidade e velocidade de sedimentação da parte da fração sólida e observando a parte líquida, principalmente na parte superior, como por exemplo sua transparência ou turbidez. Quando uma amostra apresenta maior quantidade e maior velocidade de partículas sedimentadas, com a parte superior da proveta com maior transparência, isso pode ser caracterizado como um processo de coagulação de partículas, já aparência homogênea da solução, indicando que a solução permanecia dispersa. Esses parâmetros visuais, juntamente com os resultados da leitura de cada tempo, auxiliaram no entendimento dos resultados obtidos.

### 3 Resultados

#### 3.1 Propriedades químicas e físicas

As análises químicas e físicas realizadas para fins de caracterização das amostras apresentaram significativa variação de fertilidade e textura entre as áreas coletadas. Os solos que apresentaram maior teor de argila foram as amostras coletadas nos estados do Paraná e de Goiás, seguidos por São Paulo, Bahia e Tocantins. Pelos resultados, é possível afirmar que os solos coletados que apresentaram maior teor de argila também apontaram maior fertilidade natural das amostras coletadas sob vegetação nativa. (Tabela 1)

**Tabela 1** - Principais características e localização dos locais escolhidos para coleta de solo

Propriedade dos solos	Unids	Solos Com Matéria Orgânica									
		TO		GO		PR		SP		BA	
		PD	VN	PD	VN	PD	VN	PD	VN	PD	VN
pH <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	-	5,9	5,1	5,6	4,9	6,1	4,3	5,8	4,9	6	4,9
pH KCl	-	5,6	4,3	4,8	4	5,2	3,7	5,1	4,2	5,1	4,1
MO	g kg <sup>1</sup>	15	28	35	31	47	56	35	50	12	12
P (Mehlich-1)	mg kg <sup>1</sup>	10	10	24	2	21	3	35	5	229	1
K (Mehlich-1)	mmolc kg <sup>1</sup>	0,9	1	5,1	1,8	4,8	1,9	4,4	3,2	1,8	0,3
Ca (KCl 1 mol L <sup>-1</sup> )	mmolc kg <sup>1</sup>	18	3	34	1	78	11	66	32	21	1
Mg (KCl 1 mol L <sup>-1</sup> )	mmolc kg <sup>1</sup>	7	3	9	2	31	5	10	14	5	<1
Al (KCl 1 mol L <sup>-1</sup> )	mmolc kg <sup>1</sup>	0	6	0	11	0	33	0	6	0	5
H+Al	mmolc kg <sup>1</sup>	16	56	54	64	44	144	39	78	22	27
SB	mmolc kg <sup>1</sup>	25,9	7	48,1	4,8	113,8	17,9	80,4	49,2	27,8	1,3
CTC	mmolc kg <sup>1</sup>	41,9	63	102,1	68,8	147,8	161,9	119,4	127,2	49,8	28,3
V%	%	62	11	47	7	72	11	67	39	56	5
M	%	0	46	0	70	0	65	0	11	0	79
Argila	g kg <sup>1</sup>	197	196	647	603	670	700	297	346	284	275
Silte	g kg <sup>1</sup>	39	46	99	82	149	153	94	77	50	33
Areia	g kg <sup>1</sup>	764	758	254	315	181	147	608	577	666	692

PD - Plantio Direto; VN - Vegetação; MO - Matéria Orgânica; SB - Soma de Bases; CTC - Capacidade de troca catiônica

### 3.2 Classificação e levantamento do histórico da área

Através das análises químicas e físicas, leitura da cor utilizando a Carta de Munsell e uso de mapas de solos disponíveis, foi realizada a classificação do solo de cada área coletada de conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018). Nas áreas escolhidas também foi realizado o levantamento do histórico de cultivo e informações relevantes para o presente estudo, como adubação, calagem e gessagem.

Os resultados das análises químicas e físicas, a partir dos cálculos realizados nas amostras coletadas sob vegetação nativa, demonstram resultados diversos. De acordo com a Carta de Munsell e o uso de mapas de solos, todas as amostras foram classificadas como Latossolos. Além da classificação, foram coletadas informações sobre o histórico de manejo das áreas.

O levantamento histórico de cultivo mostrou que as amostras dos estados Tocantins, Bahia e São Paulo receberam mais adubação que as amostras dos estados Goiás e Paraná. Por outro lado, em relação à calagem, destacam –se os Latossolos coletados nos estados Bahia e Goiás receberam maior quantidade e com maior frequência. Quanto à gessagem, é bem diversa a prática de cada área, a amostra coletada no estado da Bahia é a que recebe mais deste condicionador de solo, tanto em quantidade quanto em frequência, seguida pelas amostras de Goiás, São Paulo, Paraná e Tocantins (Tabela 2).

**Tabela 1** - Principais características e localização dos locais escolhidos para coleta de solo.

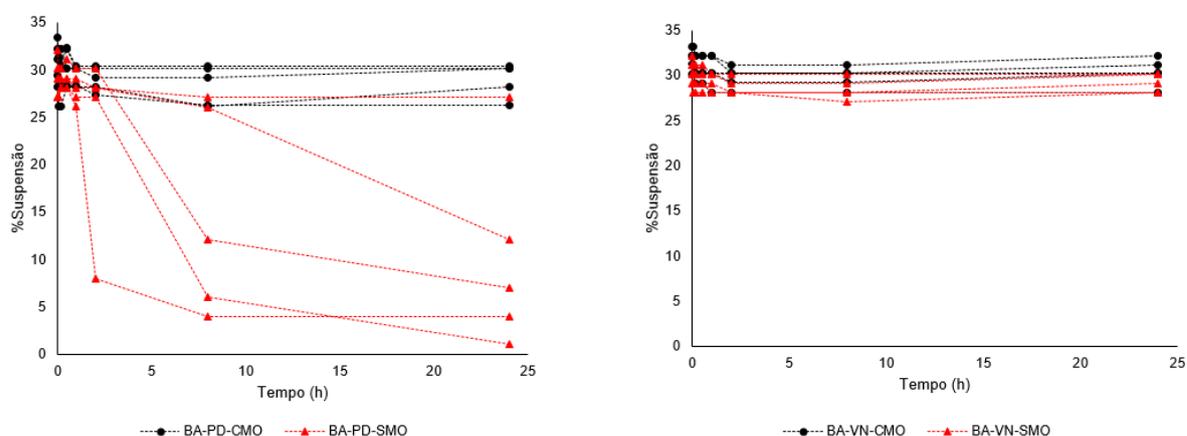
	<b>Porto Nacional- TO</b>	<b>São Desidério- BA</b>	<b>Cristalina-GO</b>	<b>Itapeva-SP</b>	<b>Ponta Grossa- PR</b>
<b>Solo</b>	LATOSSOLO VERMELHO ÁCRICO textura franco arenosa	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico textura franco argilo arenosa	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico textura argilosa	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico textura franco argilo arenosa	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico textura argilosa
<b>Culturas</b>	Soja, milho, milheto e crotalária	Algodão, milheto	Soja, milho, feijão	Soja, milho, trigo e feijão	Soja, milho, aveia e trigo.
<b>Adubação</b>	243 kg ha <sup>-1</sup> KCl 300 kg ha <sup>-1</sup> de 07-40-00*	350-450 kg ha <sup>-1</sup> de 04-30-16 no plantio ou 110 kg ha <sup>-1</sup> de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> e 200 kg ha <sup>-1</sup> de KCl + 2 coberturas de 200 kg ha <sup>-1</sup> de ureia.	150 kg ha <sup>-1</sup> de 8-20-15 ou MAP 5200 + 1 cobertura de 150 kg ha <sup>-1</sup> de sulfato de amônio.	200 kg ha <sup>-1</sup> de 05-25-15 + 2 coberturas de 100 kg/ha de Ureia	Correções a cada 3 anos em agricultura de precisão (AP). Reposição de KCl: 150 kg ha <sup>-1</sup> – soja 80 kg ha <sup>-1</sup> – milho
<b>Calagem</b>	811 kg ha <sup>-1</sup> de Calcítico 230 kg/ha Dolomítico	2000 kg ha <sup>-1</sup> a cada cultivo	1500 kg ha <sup>-1</sup> a cada 2 anos	1000 kg ha <sup>-1</sup> a cada 2 anos	3000 kg ha <sup>-1</sup> a cada 3-4 anos em AP

<b>Gessagem</b>	*	1500 kg ha <sup>-1</sup> a cada cultivo	700 kg ha <sup>-1</sup> a cada 2 anos	500 kg ha <sup>-1</sup> a cada 2 anos	1000 kg ha <sup>-1</sup> a cada 3-4 anos em AP
<b>Vegetação e Clima (Köppen)</b>	Cerrado, Tropical (Aw)	Cerrado, Tropical com chuvas de verão (BSh)	Cerrado, Tropical de altitude (Cwa)	Transição de Mata Atlântica e Cerrado, Subtropical úmido (Cfa)	Vegetação composta por Araucárias e campos, Subtropical úmido. (Cfa)
<b>Coordenadas geográficas e Altitude</b>	10°25' 23.8'' S 48° 26' 50'' W, com altitude de 286 m	12°54'4'' S 46°8'22'' W, com altitude de 900 m	17°3'4.5'' S 47°38'55.7'' W, com altitude de 1.196 m	23 47' 26'' S 48° 50' 4'' W, com altitude de 780 m	25°0'7,22'' S 50°10'9,83'' W, com altitude de 880 m

### 3.3 Resultado do experimento de sedimentação

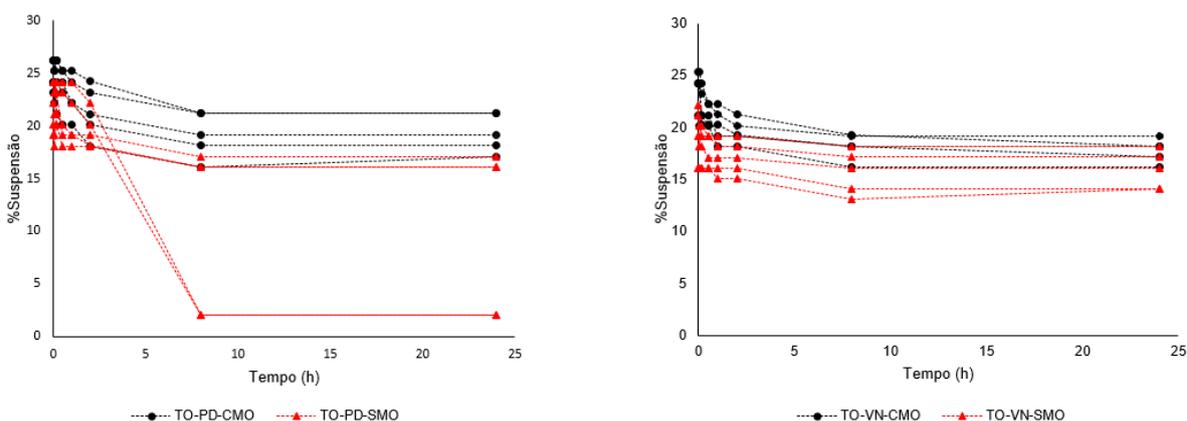
Os resultados das análises granulométricas evidenciaram grande variação na estabilidade e na dispersão das amostras dos solos coletados nos estados da Bahia, Tocantins, Goiás, São Paulo e Paraná.

Durante o experimento, foi observado que nas amostras de solos coletadas no estado da Bahia a maior parte das partículas correspondia à fração de areia. Especificamente nos solos sob vegetação nativa não houve floculação de partículas em nenhum dos tempos de leitura, tanto nas amostras sem pré-tratamento para oxidação da MO e quanto, naquelas com o pré-tratamento. No entanto, nas amostras de solo sob plantio direto quando realizado o pré-tratamento para oxidação da MO, ocorreu floculação das partículas em quatro amostras, porém; houve diferença no tempo de floculação. Nessas quatro amostras, uma a floculação foi observada na leitura de uma hora e meia, nas outras três constatou-se floculação na leitura de oito horas (Figura 2).



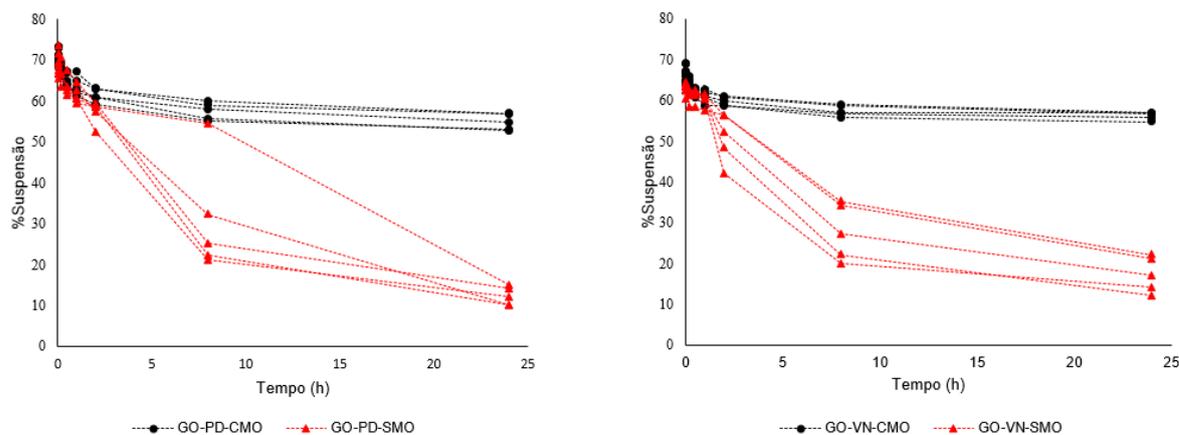
**Figura 2** - Curva de sedimentação das amostras de solos sob plantio direto (PD) e sob vegetação nativa (VN) com remoção da matéria orgânica (SMO) e sem remoção (CMO) coletadas no estado da Bahia (BA)

Nas amostras de solo coletados no estado do Tocantins, a maioria delas permaneceu em suspensão, com exceção de duas amostras que foram coletadas sob a área de plantio direto, para as quais ocorreu a oxidação da MO, resultando em floculação na leitura de oito e 24 horas (Figura 3).



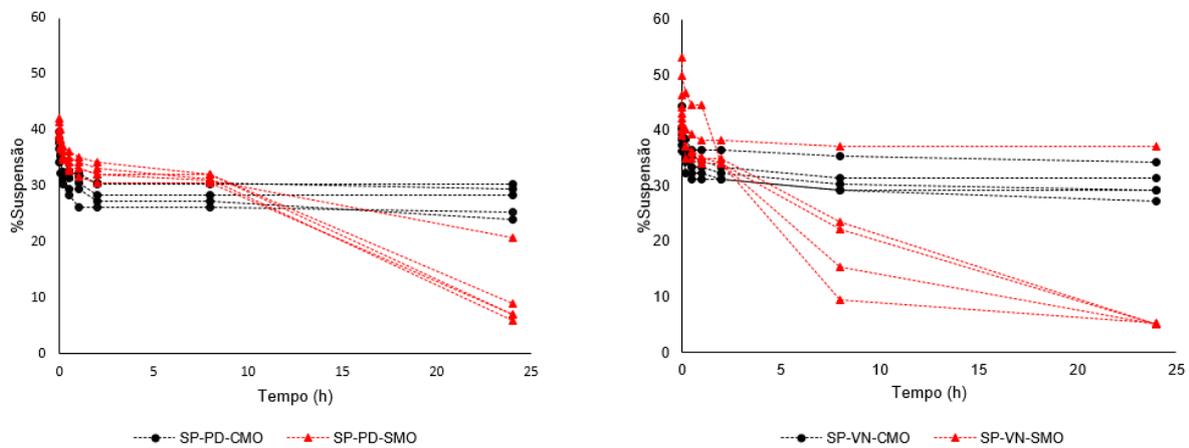
**Figura 3** - Curva de sedimentação das amostras de solos sob plantio direto (PD) e sob vegetação nativa (VN) com remoção da matéria orgânica (SMO) e sem remoção (CMO) coletadas no estado do Tocantins (TO)

Em relação às amostras coletadas no estado de Goiás, na maioria das que receberam pré-tratamento para oxidação da MO, tanto nas de solo sob vegetação nativa quanto nas de solo cultivado sob PD, ocorreu floculação em oito horas. No entanto, somente em uma amostra de solo sob plantio direto, a floculação foi constatada na leitura de 24 horas. Nas amostras em que não foi realizado pré-tratamento, ou seja, naquelas sem oxidação da MO, não ocorreu floculação de partículas (Figura 4).



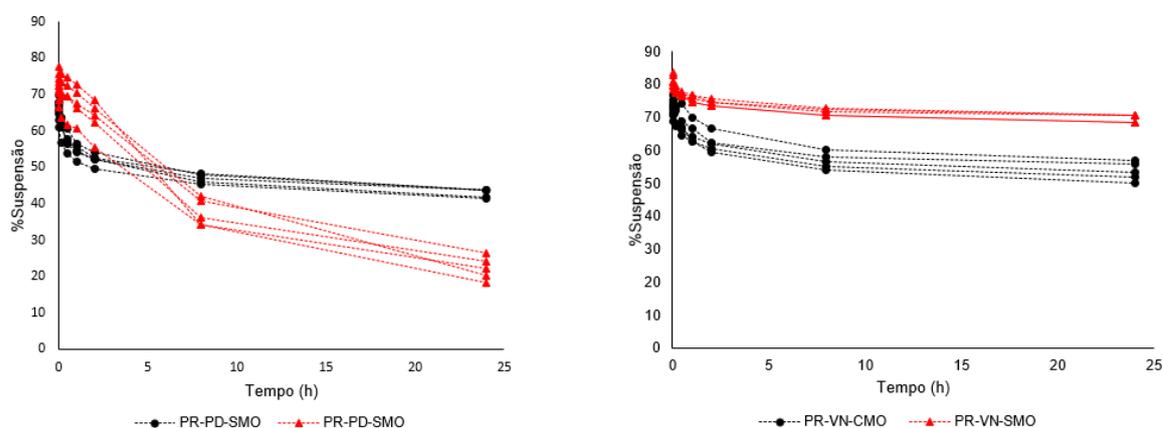
**Figura 4** - Curva de sedimentação das amostras de solos sob plantio direto (PD) e sob vegetação nativa (VN) com remoção da matéria orgânica (SMO) e sem remoção (CMO) coletadas no estado de Goiás (GO)

Considerando as amostras coletadas no estado de São Paulo, a floculação de partículas ocorreu nas que receberam pré-tratamento para oxidação da MO. Este comportamento foi observado tanto na maioria das amostras que foram coletadas sob VN quanto em todas as demais, que foram coletadas sob PD, visto que em uma das amostras sob VN a floculação não foi observada. Nas amostras sob PD, a floculação ocorreu somente na leitura de 24 horas. Já nas amostras sob VN, esse fenômeno foi notado a partir das leituras de 8 horas. Tendo em vista as amostras que não receberam pré-tratamento, não houve floculação tanto nos solos coletados sob VN quanto nos sob PD (Figura 5).



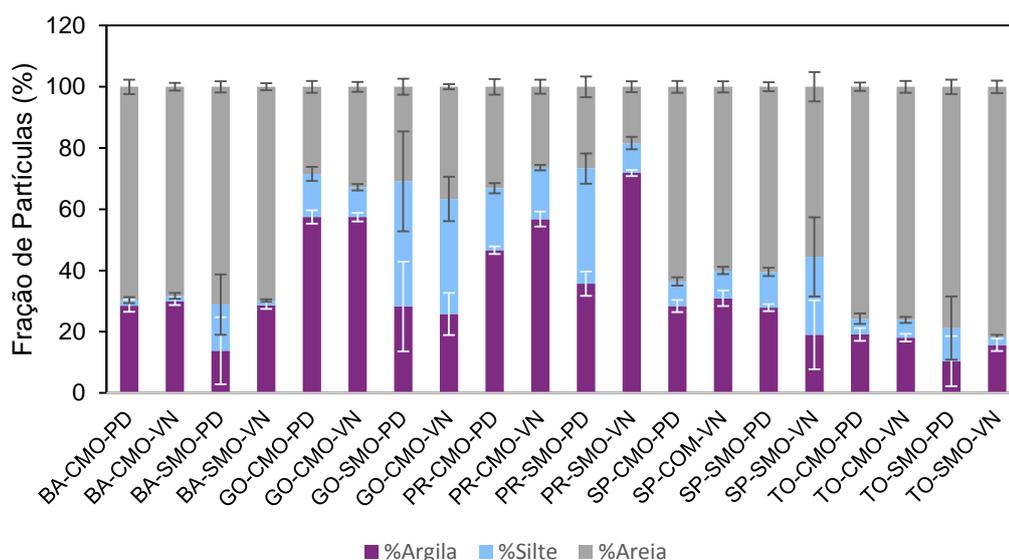
**Figura 5** - Curva de sedimentação das amostras de solos sob plantio direto (PD) e sob vegetação nativa (VN) com remoção da matéria orgânica (SMO) e sem remoção (CMO) coletadas no estado do São Paulo (SP)

No estado do Paraná, as amostras coletadas sob cultivo em plantio direto com o pré-tratamento para oxidação da MO sofreram floculação de partículas a partir da leitura de oito horas, reduzindo quase a 50% a quantidade de partículas em suspensão. Por outro lado, nas amostras coletadas sob vegetação nativa não ocorreu floculação e naquelas em que foi realizado o pré-tratamento para oxidação da MO foi observado maior quantidade de partículas em suspensão do que nas amostras sem o pré-tratamento (Figura 6).



**Figura 6** - Curva de sedimentação das amostras de solos sob plantio direto (PD) e sob vegetação nativa (VN) com remoção da matéria orgânica (SMO) e sem remoção (CMO) coletadas no estado do Paraná (PR)

De acordo com os resultados apresentados na Figura 7, verifica-se que devido à floculação ocorrida na maioria dos tratamentos com oxidação da MO, tanto nas amostras de solo sob cultivo em PD quanto naquelas sob VN, apresentaram alto desvio padrão, principalmente na fração silte e argila. Isto significa que os resultados obtidos por essas análises, sofreram fenômenos, como a floculação de partículas, durante a marcha analítica que provocaram resultados que, contribuem para estimativa incorreta dos valores das frações texturais de algumas amostras avaliadas. Nas amostras em que ocorreu a floculação das partículas, houve significativo aumento da estimativa da fração silte e redução da fração argila. Já nas amostras sob VN com oxidação da MO em que não ocorreu a floculação, como nos solos coletados na Bahia, no Paraná e no Tocantins, foi possível observar que a porcentagem de partículas de tamanho silte sofreu ligeira redução em comparação com as amostras sob o mesmo tratamento, sem a oxidação da MO.



**Figura 7** - Médias e desvios padrão do conteúdo de argila, silte e areia para condições avaliadas neste estudo

Através dos resultados obtidos pelas leituras de pH de cada amostra, foi também calculado a média e desvio padrão por local de coleta, chegando aos seguintes resultados: Tocantins  $10,4 \pm 0,47$ ; Bahia  $11,19 \pm 0,33$ ; Goiás  $9,59 \pm 0,50$ ; São Paulo  $8,63 \pm 0,09$ ; Paraná  $9,12 \pm 0,48$  e das amostras em branco  $11,4 \pm 0,18$ .

#### 4 Discussão

Os resultados encontrados, mostraram que a solução do solo durante a análise textural tende a flocular em determinadas condições. E quando não oxidada a MO a dispersão tende a ser menor. Latossolos apresentam problemas de dispersão durante as análises granulométricas, devido à alta estabilidade de seus microagregados, principalmente em solos mais oxidicos, fator que pode contribuir para superestimar a fração silte da amostra de solo (Moura filho e Buol, 1972; Rocha e Cassoli, 1993; Ferreira et al., 1999; Oliveira et al., 2002; Donagemma et al., 2003). Para se obter uma análise granulométrica com maior precisão, é essencial que a solução esteja completamente dispersa e estável durante todo o período de leitura. Nesse sentido, alguns estudos apontam para a necessidade da realização de pré-tratamentos como, por exemplo, a remoção da MO e de cátions floculantes (Kilmer e Alexander 1949; Menk e Oliveira, 1974; Grohmann e Raij, 1977; Tavares-Filho e Magalhães, 2008).

Os resultados deste estudo mostraram diferença entre os tratamentos em que houve a remoção da MO e os que não passaram por este processo. Nos tratamentos com a oxidação da

MO, todas as amostras de solos de áreas sob cultivo em PD apresentaram floculação em pelo menos duas das cinco amostras de cada tratamento. As alterações químicas e físicas geradas pela atividade agrícola sobre esses solos podem ter contribuído para esse resultado. No entanto, nos tratamentos dos solos sob VN com oxidação da MO, em 60% das amostras não ocorreu floculação, o que indica possível relação com o baixo teor de cálcio existente nessas áreas, além da mineralogia também ter grande influência sobre cada solo. No restante das amostras sob VN com oxidação da MO, verificou-se em 40% do tratamento do solo sob VN sem MO floculação de argilas, especificamente nas amostras coletadas nos estados de Goiás e São Paulo.

Nos solos cultivado, têm sido realizadas aplicações de calcário para redução da quantidade de Al na solução do solo, aumentando o pH. O calcário também fornece  $\text{Ca}^{2+}$ , um cátion divalente que promove a atração das partículas, podendo inibir o efeito dispersante do solo e do agente químico dispersante, o que favorece a floculação das argilas, como ocorreu nas amostras coletadas sob PD com o pré-tratamento para oxidação da MO de todos os estados coletados e também no caso das amostras sob VN de São Paulo, cuja quantidade de  $\text{Ca}^{2+}$  encontrada é oriunda da fertilidade natural dessa área.

Ao remover a MO, é esperada redução da CTC, podendo promover o balanceamento das cargas, redução no poder tampão de cargas do solo e aumento o PCZ da solução, o que facilita o processo de floculação em Latossolos (Dobbss et al, 2008). O fato de a floculação ter ocorrido predominantemente nos tratamentos com a oxidação da MO é explicado devido às interações da MO com as partículas e agregados físicos do solo. Por outro lado, já é conhecido que a MO possui mecanismos físicos e químicos na agregação do solo, o que faz com que ela atue como um agente cimentante entre as partículas; especialmente quando ligada aos minerais de argila, reduz a proporção de cargas positivas, podendo promover maior atração entre as partículas (Melo et al., 2021).

Nesta perspectiva, era esperado que, nas amostras com pré-tratamento para oxidação da MO houvesse divisão dos agregados antes ligados por ação da MO e aumento da dispersão das partículas. Quando comparados os resultados dos primeiros tempos de leitura, nas amostras com pré-tratamento foi verificada maior quantidade de partículas em suspensão do que nas amostras em que não houve pré-tratamento. Entretanto, devido às interações químicas, alterações na química de superfície e nas condições pré-existentes nos solos, a maioria das amostras não mantiveram a estabilidade de suspensão, ocorrendo floculação. A floculação da massa em suspensão durante a análise granulométrica contribui para a superestimação de silte

em Latossolos brasileiros, comumente caracterizados como pseudosilte (Kögel-knabner e Amelung, 2014).

A necessidade de realizar a remoção MO tem que ser avaliada de acordo com cada tipo de solo, principalmente em relação ao teor de argila e conteúdo de óxidos de ferro e alumínio. Neste estudo, foram apresentados 5 solos com diferentes teores de argila, por exemplo, as amostras coletadas no estado do Paraná apresentaram o maior teor de argila com 67% sob PD e 70 % sob VN. Nas amostras sob VN sem matéria orgânica, houve um aumento significativo da quantidade média de argila em comparação com o tratamento sem a remoção da MO; porém, para as amostras em PD sem matéria orgânica observou-se ligeira floculação, devido ao aumento médio significativo da quantidade de partículas de tamanho silte das amostras.

Ao estudar o manejo utilizado em cada área, observou-se que outro fator importante a ser considerado nesta investigação é o uso do gesso agrícola ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) nas áreas amostradas. Esse condicionante de solo é utilizado juntamente com o calcário para reduzir a toxidez por Al e aumentar a concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  em camadas mais profundas do solo e a mobilidade vertical dos cátions (Ernani et al., 1993; Caires et al., 1998). Enquanto alguns autores relacionam o uso do gesso com melhorias na qualidade estrutural dos agregados do solo (Lebron et al., 2002; Chi et al., 2011 e Müller et al., 2012), outros apresentam o gesso como agente causador de menor estabilidade e quantidade de algumas classes dos agregados do solo, que pode resultar em fragilidade de suas características físicas (Rocha et al., 2020; Melo et al., 2018).

Alguns estudos apontam que a atividade agrícola pode causar redução na estabilidade dos agregados em Latossolos, principalmente a realização da calagem que aumenta o pH do solo, reduzindo a quantidade de cátions trivalentes ( $\text{Al}^{3+}$ ) e incorpora cátions divalentes ( $\text{Ca}^{2+}$ ) que podem alterar a natureza dos sítios de superfície. O  $\text{Al}^{3+}$  possui maior poder floculante que o  $\text{Ca}^{2+}$ ; entretanto, o excesso de quantidade e frequência de aplicação podem afetar a dispersão química para a análise granulométrica. Devido a esse excesso de cátions, pode haver, também, alterações na concentração crítica de coagulação (CCC) em solos sob plantio direto (Leão et al., 2013; Nunes et al., 2018). De acordo com Rosa Junior et al. (2006), a calagem afeta o condicionamento físico do solo, podendo resultar em dispersão química dos agregados do solo. No entanto, com a utilização do gesso, observa-se o processo de reagregação de argilas dispersas em água, processo relacionado ao distanciamento do pH da solução do PCZ dos colóides da amostra. Entretanto, não é possível realizar a comparação direta dos resultados encontrados com os de outras pesquisas, pois o uso do NaOH como agente dispersante pode não superar os efeitos da calagem e gessagem sob o pH.

Já nos tratamentos sem a oxidação a MO, como, em geral, não houve floculação de argilas, visto que a MO se liga às partículas de argila deixando-as mais eletronegativas, assim necessitando de grande quantidade de cátions polivalentes, como o  $\text{Ca}^{2+}$ , para que ocorra floculação da fração argila. Em condições naturais, as superfícies dos minerais são em muitos casos saturadas em  $\text{H}_2\text{O}$  e em  $\text{Al}^{3+}$ ; em condições de cultivo, onde são adicionados ao solo  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , por exemplo, a carga das superfícies é alterada.

Na análise granulométrica, especificamente na dispersão química, são utilizados alguns agentes dispersantes bastante estudados, tais como as soluções de  $\text{NaOH}$ ,  $\text{NaPO}_3$ , a resina de  $\text{Na}^+$ , o calgon, o  $\text{LiOH}$ ,  $\text{NaClO}$ ,  $\text{HCl}$ , entre tantos outros (Vettori, 1969; Bartoli et al., 1991; Jucksch et al., 1995; Mauri et al., 2011). Porém, o  $\text{NaOH}$  destaca-se como o dispersante mais utilizado em solos de regiões tropicais e úmidas. Isso ocorre por esse agente mostrar-se mais eficiente, especialmente no que se refere à estabilidade de dispersão da solução (Vettori e Pierantoni, 1968). Já em solos com maior quantidade de bases trocáveis ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) e, ou cargas não dependentes de pH, é mais indicado o uso de  $\text{NaPO}_3$  (Baver et al., 1972).

Apesar do  $\text{NaOH}$  ser o mais utilizado como agente químico para a dispersão da solução, é importante esclarecer que esse uso apresenta pontos sensíveis, pois tal substância, ao ser adicionada, ocorre na solução do solo a substituição de cátions trocáveis por  $\text{Na}^+$ , cátion dispersante, aumento de pH da solução, muito além do pH encontrado naturalmente na solução, mesmo na de solos cultivados em que é utilizado o calcário. Embora nos Latossolos analisados neste estudo o  $\text{NaOH}$  seja, de acordo com a literatura especializada, o agente dispersante mais adequado, foi observado a que a concentração da solução  $\text{NaOH}$   $1 \text{ mol/L}^{-1}$  comumente recomendada para a análise textural (Donagemma et al., 2011 e Teixeira et al., 2017) não foi eficiente para manter a solução em suspensão durante o período de análise, o que aponta para a necessidade de realização de mais estudos sobre agentes químicos e métodos de dispersão para solos com alto intemperismo e alta resistência dos microagregados.

Outro aspecto a ser destacado diz respeito aos solos com acidez elevada, visto que os mesmos tendem a prevalecer sobre o  $\text{Al}^{3+}$ , este possui maior afinidade eletrostática do que as bases como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ . Dada essa reação, é esperada maior capacidade de floculação, ou seja, alto teor de  $\text{Al}^{3+}$  e baixa saturação por bases SB, que podem induzir à floculação da fração argila (Melo et al., 2021). Provavelmente, essa condição foi encontrada nas amostras de solos sob VN do estado de Goiás, com  $4,8 \text{ mmolc.kg}^{-1}$  de SB e  $64 \text{ mmolc.kg}^{-1}$  de H+Al. Assim sendo, esses fatores associados podem ter provocado a floculação das partículas de amostras sob VN dessa área. Outra variável que pode ter provocado a floculação das partículas neste caso

é a SB, variável inversamente proporcional à acidez do solo ( $H^+$  e  $Al^{3+}$ ), uma vez que quanto mais ácido for o solo menor será a quantidade de base encontrada no solo.

De acordo com Melo et al. (2021), quando as partículas estão reunidas por ligações orgânicas apresentam alto desequilíbrio entre as cargas, ou seja, maior repulsão entre as partículas, reduzindo assim a floculação. Logo, podemos afirmar que nos tratamentos em que foi realizada a remoção da MO, as ligações orgânicas entre as partículas foram reduzidas, fator que pode ter facilitado a floculação observada nesses tratamentos.

A granulometria é de grande importância para o uso do solo, é fundamental para classificação de solos, para realização de estudos ambientais e hidrológicos, para realizar cálculos para uso de insumos e para o manejo e principalmente para a conservação do solo (Blake e Goulding, 2002). Nessa direção, faz-se necessário estabelecer métodos mais precisos para determinação das frações texturais de Latossolos, tanto em relação a pré-tratamentos quanto à utilização de agentes químicos de dispersão, principalmente em solos cultivados, haja vista suas interações químicas por efeito das interferências que as atividades agrícolas provocam.

## **5 Conclusões**

Este estudo aponta para a necessidade de que seja estabelecido uma padronização para a análise granulométrica de Latossolos, levando também em consideração as interferências químicas realizadas no solo em razão da atividade agrícola. Essas interferências podem resultar numa série de alterações na dinâmica das partículas do solo, modificando relações tanto químicas quanto físicas, como a adição de  $Ca^{2+}$ , que se dá por meio do uso de corretivos e condicionantes de solo, principalmente da calagem, que pode influenciar o comportamento dispersivo da argila. A porcentagem de argila de do solo estudado deve ser avaliada para a necessidade de remoção da MO.

Outro aspecto relevante apontado por este estudo refere-se à necessidade de aprofundamento sobre o uso do agente de dispersão na análise granulométrica, uma vez que o NaOH sozinho pode não ser o dispersante ideal para solos altamente intemperizados, como no caso dos Latossolos.

Os conceitos de pseudosilte e pseudoareias, comuns na literatura de física do solo, podem estar relacionados não apenas a baixa eficiência de dispersão como também à coagulação de partículas durante a análise granulométrica.

Sobre a quantidade de MO é importante investigar seus limites em relação dispersão e estabilidade da fração argila, fração coloidal, durante a análise granulométrica. A porcentagem de argila do solo estudado deve ser avaliada para a necessidade de remoção da MO. Neste estudo a remoção da MO para solos cultivados (PD) não se mostrou eficiente, tendo em vistas que prejudicou a estabilidade da dispersão das amostras avaliadas.

## Referências

- Andrade, F.V., Schaefer, C.E.G.R., Correa, M.L.T., Mendonça, E.S., 2005. Carbon stocks in Brazilian Oxisols (Oxisols) from different morphoclimatic regions and management systems. *Soil Science Plant Analysis* 35 (15-16), 2125-2136.
- Bartoli, F., Burtin, G., Herbillon, A.J., 1991. Disaggregation and Clay Dispersion of Oxisols: Na resin, a Recommended Methodology. *Geoderma*, 49(3-4), 301–317.
- Bartoli, F., Philippy, R., Burlin, G., 1992a. Influence of organic matter on aggregation in Oxisols rich in gibbsite or goethite. I Structures: the fractal approach. *Geoderma* 54 (1–4), 231–257.
- Bartoli, F., Burtin, G., Guerif, J., 1992b. Influence of organic matter on aggregation in Oxisols rich in gibbsite or goethite. II. Clay dispersion, aggregate strength and water stability. *Geoderma* 54 (1-4), 259-274.
- Baver, L.D., Gardner, W.H., Gardner, W.R., 1972. *Soil Physics*. 4. ed. New York, John Wiley. 498p.
- Blake, L., Goulding, K.W.T., 2002. Effects of Atmospheric Deposition, Soil pH and Acidification on Heavy Metal Contents in Soils and Vegetation of Semi-Natural Ecosystems at Rothamsted Experimental Station, UK. *Plant and soil*, 240(2), 235-251.
- Boul, S.W., Eswaran, H., 1999. Oxisols. *Advances Agronomy*. 68, 151–195.
- Caires, E.F., Chueiri, W.A., Madruga, E.F., Figueiredo, A., 1998. Alterações de Características Químicas do Solo e Resposta da Soja ao Calcário e Gesso Aplicados na Superfície em Sistema de Cultivo Sem Preparo do Solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22, 27-34.
- Chi, C., Zhao, C., Sun, X., and Wang, Z., 2011. Estimating exchangeable sodium percentage from sodium adsorption ratio of salt-affected soil in the Songnen plain of Northeast China. *Pedosphere* 21, 271–276. doi: 10.1016/S1002-0160(11)60127-6
- Cornell, R.M., Schwertmann, U., 2006. *The Iron Oxides: Structure, Properties, Reactions, ocorrências e usos*. Weinheim, John Wiley & Sons. 703p.
- Dobbss, L.B., Canellas, L.P., Alleoni, L.R.F., Rezende, C.E.R., Fontes, M.F., Velloso, A.C.X., 2008. Eletroquímica de Latossolos brasileiros após a remoção da matéria orgânica humificada solúvel. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:985-996.
- Donagemma, G.K., Campos D.V.B., Calderano, S.B., Teixeira, W.G., Viana, J.H.M., 2011. *Manual Soil Analysis Methods*. 2nd Ed. Centro Nacional de Pesquisa do Solo Embrapa Solos. Rio De Janeiro, RJ, Brasil. 230p.
- Donagemma, G.K., Viana, J.H.M., Almeida, B.G., Ruiz, H.A., Klein, V.A., Dechen, S.C.F., Fernandes, R.B.A., 2017. Análise granulométrica. In: Teixeira PC, Donagemma GK, Fontana A, Teixeira WG. *Manual de métodos de análise de solo*. Embrapa. Brasília, DF, Brasil. 95-116p.
- Donagemma, G.K., Ruiz, H.A., Fontes, M.P.F., Ker, J.C., Schaefer, C.E.G.R., 2003. Dispersão de Latossolos em Resposta à Utilização de Pré-Tratamentos na Análise Textural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 27:765-772.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2018. Sistema brasileiro de classificação de solos. Embrapa Solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Brasília.
- Ernani, P.R., Cassol, P.C., Morigutii, H., Garcia, M.M., Vacaro, M., 1993. Aplicação de Gesso Agrícola e Lixiviação de Potássio em Solos Catarinenses. *Universidade & Desenvolvimento*. 1, 7-16.
- Ferreira, M.M., Fernandes, B., Curi, N., 1999. Mineralogia da Fração Argila e Estrutura de Latossolos da Região Sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG. 23 (3), 507-524, jul./set.

- Gee, G.W., Or, D., 2002. Particle-size analysis. In DANE, J. H.; TOPP, G. C. (Ed.). *Methods of soil analysis. Part 4. Physical methods*. Madison: SSSA Book Series. 5, 255-293.
- Grohmann, F., Rajj, B.V., 1977. Dispersão mecânica e pré-tratamento para análise granulométrica de Latossolos argilosos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 1, 52-53.
- Jucksch, I., Costa, L.M., Mello, J.W.V., Bueno, B.S., Fontes, L.E.F., 1995. Meios mecânicos e concentração de NaOH na dispersão e estabilidade de suspensões de argila. In: *Congresso Brasileiro De Ciência Do Solo*, 25. Viçosa, MG, 1995. Resumos expandidos. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1, 104-105.
- Kaise, K., Guggenberger, G., 2003. Superfícies minerais e matéria orgânica do solo. *EUR. Journal Soil Science*. 54 (2), 219-236.
- Kirkham, D., Powers, W.L., 1972. *Advanced soil physics*. 2. ed. New York, Interscience. 548.
- Kilmer, J.R., Alexander, L.T., 1949. Methods of making mechanical analysis of soils. *Soil Science*. 68, 15-24.
- Kleber, M., Eusterhues, K., Keiluweit, M., Mikutta, C., Mikutta, R., Nico, P.S., 2015. Mineral-associações orgânicas: formação, propriedades e relevância em ambientes de solo. *Advances Agronomy*. 130, 1-140.
- Kögel-Knabner, I., Amelung, W., 2014. Dynamics, Chemistry, and Preservation of Organic Matter in Soils. *Treatise on Geochemistry*, 157-215. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-095975-7.01012-3>.
- Lal, R., 2002. The potential of tropical soils to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. *Advances Agronomy*. 76, 1-30.
- Leão T.P., Guimarães, T.L.B., Figueiredo, C.C., Busato, J.G., Breyer, H.S., 2013. On Critical Coagulation Concentration Theory and Grain Size Analysis of Oxisols. *Soil Science Society of America Journal*. 77 (6), 1955-1964. Doi:10.2136/gssaj2013.06.0211.
- Lebron, I., Suarez, D.L., Yoshida, T., 2002. Gypsum effect on the aggregate size and geometry of three sodic soils under reclamation. *Soil Science Society of America Journal*. 66, 92-98.
- Mauri, J., Ruiz, H.A., Fernandes, R.B.A., Ker, J.C., Rezende, L.T.M., 2011. Dispersantes químicos na análise granulométrica de latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 35 (4), 1277-1284.
- Martinez, P., Souza, I.F., 2020. Genesis of the pseudo-sand structure in latosols in Brazil – the Reveja. *Geoderma Regional*. 22. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00292>.
- Melo, T.R.D., Machado, W., Oliveira, J.F.D., Tavares Filho, J., 2018. Predicting aggregate Índice de Estabilidade em Ferralsols. *Solo Use Manag.* <https://doi.org/10.1111/sum.12453>.
- Melo, T.R.D., Rengasamy, P., Figueiredo, A., Barbosa, G.M.D.C., Tavares Filho, J., 2019. Uma Nova Abordagem Sobre a Estabilidade Estrutural de Solos: Proposta de Método. *Solo Tillage Res.* 193, 171-179. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.04.013>.
- Melo, T.R.A., Figueiredo, J., Tavares Filho, 2021. Clay Behavior Following Macroaggregate Breakdown in Ferralsols. *Soil and Tillage Research*. 207, 104862. Doi:10.1016/j.still.2020.j048662.
- Menk, J.R., Oliveira, J.B., 1974. Estudo comparativo da influência de agentes dispersantes e de pré-tratamentos na análise granulométrica de solos. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO*, 14., Santa Maria, 1973. Anais. Santa Maria, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo 104-121p.
- Mikutta, R., Kleber, M., Kaiser, K., Jahn, R., 2005. Review: Organic matter removal from soils using hydrogen peroxide, sodium hypochlorite, and disodium peroxodisulfate. *Soil Science Society of America Journal*. 69, 120-135.
- Moura Filho, W., Buol, S.W., 1972. Studies of a Latosol Roxo (eutrustox) in Brazil: Micromorphology Effect on Ion Release. *Experientiae*, Viçosa, MG. 13 (7), 235- 247.

- Müller, M.M.L., Tormena, C.A., Genu, A.M., Kramer, L.F.M., Michalovicz, L., Caires, E.F., 2012. Structural quality of a no-tillage red latosol 50 months after gypsum application. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 36, 1005–1014.
- Nunes, M.R., 2018. Estrutura de Solos Altamente Intemperizados Cultivados Sob Sistema de Plantio Direto. Tese (Doutorado). Piracicaba. O Suprimento Ideal de Água Melhora as Atividades das Enzimas Microbianas (glicosidase, urease e fosfatase), 120-122.
- Rocha, G.C., Cassoli, A.R., 1993. Estudo Comparativo de Métodos de Análise Granulométrica de Solos. (Informe Técnico, 1). Londrina, Universidade Estadual de Londrina 15.
- Rocha, K. F.; De Souza, M.; Almeida, D. S.; Chadwick, D. R.; Jones, D. L.; Mooney, S. J.; Rosolem, C. A., 2020. Cover crops affect the partial nitrogen balance in a maize-forage cropping system. *Geoderma*, [s. l.], v. 360, p. 114000.
- Rosa Júnior, E.J., Martins, R.M.G., Rosa, Y.B.C.J., Cremon, C., 2006. Calcário e gesso como condicionantes físico e químico de um solo de cerrado sob três sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 36, 37-44.
- Santos, H.G. et al. O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 67 p. (Embrapa Solos. Documentos, 130).
- Santos, H.G. et al. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2013. 353 p.
- Tavares filho, J., Magalhães, F.S., 2008. Dispersão de amostras de Latossolo vermelho eutroférrico influenciadas por pré-tratamento para oxidação da matéria orgânica e pelo tipo de agitação mecânica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32, 1429-1435.
- Teixeira, P.C., Donagemma, G.K., Fontana, A., Teixeira, W.G., 2017. Manual de Métodos de Métodos de Análise de Solo. Embrapa, Brasília. 573p.
- Schaefer, C.E., 2001. Brazilian Oxisols and their microstructure on the B horizon as optical bi-constructions. *Soil Resarch*. 39 (5), 909–926.
- Soil Survery Staff, 2014. Keys to Soil Taxonomy. 12<sup>a</sup> ed. USDA-Natural Resources Conser-Serviço de vação, Washington, DC.
- Van Breemen, N., Buurman, P., 2002. Formação de solo. Springer Science & Business Media. 393p.
- Vettori, L., 1969 Métodos de análise de solo. (Boletim Técnico, 9). Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura. 24p.
- Vettori, L. & Pierantoni, H. Análise granulométrica: novo método para determinar a fração argila. (Boletim Técnico, 3). Rio de Janeiro, Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, Ministério da Agricultura. 9p.