

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

Thiago Assunção de Almeida

**ALTERAÇÃO DA TEXTURA PELA DISPERSÃO MECÂNICA E
RETENÇÃO DE ÁGUA NA FRAÇÃO AREIA EM NEOSSOLOS
DERIVADOS DE ROCHA VULCÂNICA**

Santa Maria, RS.
2021

Thiago Assunção de Almeida

**ALTERAÇÃO DA TEXTURA PELA DISPERSÃO MECÂNICA E RETENÇÃO DE
ÁGUA NA FRAÇÃO AREIA EM NEOSSOLOS DERIVADOS DE ROCHA
VULCÂNICA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Ciência do solo**.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Ivonir Gubiani

Santa Maria, RS
2021

Almeida, Thiago

Alteração da textura pela dispersão mecânica e retenção de água na fração areia em neossolos derivados de rocha vulcânica / Thiago Almeida.- 2021.

55 p.; 30 cm

Orientador: Paulo Ivonir Gubiani

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, RS, 2021

1. Distribuição granulométrica 2. Textura 3. Neossolos
4. Solos rasos I. Ivonir Gubiani, Paulo II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

© 2021

Todos os direitos autorais reservados a Thiago Assunção de Almeida. A reprodução de partes ou de todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Universidade Federal de Santa Maria – Centro de Ciências Rurais – Departamento de solos. Av. Roraima, nº 1000, Cidade Universitária, Bairro Camobi, Santa Maria, RS, 97105-900.

Fone (55) 99561992; E-mail: thiago.almeida@iffarroupilha.edu.br

Thiago Assunção de Almeida

**ALTERAÇÃO DA TEXTURA PELA DISPERSÃO MECÂNICA E RETENÇÃO DE
ÁGUA NA FRAÇÃO AREIA EM NEOSSOLOS DERIVADOS DE ROCHA
VULCÂNICA**

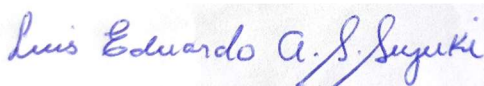
Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Ciência do solo**.

Aprovado em 18 de fevereiro de 2021:



Paulo Ivonir Gubiani, Dr. (UFSM)

Fabício de Araújo Pedron, Dr. (UFSM)



Luis Eduardo Akiyoshi Sanches Suzuki, Dr. (UFPEL)

SANTA MARIA, RS
2021

AGRADECIMENTOS

A Deus, origem de tudo e repouso para minha alma.

À minha querida avó, Maria da Conceição Pinto, por nunca ter medido esforços em me ajudar em todos os momentos e circunstâncias de minha vida.

À minha esposa, amiga, parceira, Mariele Brum Bempch, que me ensinou a ver a vida com outros olhos e também me presenteou com meu filho.

Ao meu filho Joaquim Bempch Assunção, que me inspirou a buscar sempre o melhor de mim de forma que lhe sirva de exemplo.

Ao professor, Paulo Ivonir Gubiani, pela acolhida e pelo apoio no desenvolvimento desta dissertação.

Ao amigo Rodrigo Mulazzani, quem exerceu imprescindível papel na coorientação deste trabalho.

Aos colegas do laboratório de física do solo, especialmente a Caroline Andrade Pereira, Alan Batistão, Suelen Matiasso Fachí, pelo auxílio na elaboração deste trabalho.

e demais alunos de pós-graduação, pelo auxílio nas análises laboratoriais. Também aos colegas da "salinha de estudos 3011", pelos momentos de discussão, estudo e descontração, vitais para a produção de conhecimento.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, ao Departamento de Solos e à Universidade Federal de Santa Maria, pelo ambiente acolhedor e por proporcionar toda a estrutura física e humana indispensável para a execução das atividades.

Ao Instituto Federal Farroupilha que me proporcionou meios que permitiram minha formação e fortalecimento do conhecimento científico.

A todos, meu mais sincero e profundo OBRIGADO!

RESUMO

ALTERAÇÃO DA TEXTURA PELA DISPERSÃO MECÂNICA E RETENÇÃO DE ÁGUA NA FRAÇÃO AREIA EM NEOSSOLOS DERIVADOS DE ROCHA VULCÂNICA

AUTOR: Thiago Assunção de Almeida
ORIENTADOR: Prof. Dr. Paulo Ivonir Gubiani

A definição de tempo de agitação mecânica que garanta dispersão suficiente sem alterar a quantidade de areia, silte e argila em solos com presença de fragmentos de saprolito na terra fina é ainda uma lacuna de pesquisa. A contribuição dos fragmentos de saprolito para a retenção de água no solo também é assunto a ser melhor compreendido. Por isso, este trabalho teve como objetivos principais: (i) avaliar como diferentes estratégias de dispersão mecânica alteram a quantidade de areia, silte e argila em Neossolos rasos derivados de rocha vulcânica com fragmentos de saprolito na terra fina e, (ii) investigar se fragmentos de saprolito de rocha vulcânica na fração areia de Neossolos lhe conferem alta capacidade de retenção de água. Em relação ao primeiro objetivo, amostras de Neossolo formado sobre rocha vulcânica foram dispersas com o uso de agitador tipo coqueteleira à 12.000 rpm durante 5, 15, 30 e 60 min, com agitador horizontal a 150 ciclos min^{-1} durante 1, 2, 4, 8 e 16 h, com e sem uso de esferas de nylon, e com agitação por sonificação com energia de 70 e 110 J mL^{-1} . Sobre o segundo objetivo, a contribuição das frações areia grossa e fina, obtidas da análise de textura, na retenção de água foi analisada gerando-se curvas de retenção de água com essas frações, que foram comparada com curva de retenção gerada com areia constituída por quartzo. Verificou-se que as estratégias de dispersão mecânica alteraram as frações granulométricas. As frações mais sensíveis foram a fração areia grossa e argila, com uma variação média de 14% e 18% respectivamente. Algumas estratégias ocasionaram alteração significativa nas frações granulométricas, devido à fragilidade dos fragmentos de saprolito. Os resultados indicaram que o método de dispersão mais apropriado para o solo em estudo é a agitação horizontal a 150 ciclos min^{-1} durante uma ou duas horas sem uso de esferas de nylon. Quanto à retenção de água, a água disponível foi de 0,081, 0,318 e 0,015 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, respectivamente para a areia grossa do Neossolo, areia fina do Neossolo e areia quartzosa. Em relação à água disponível na areia quartzosa, foi observado o dobro de água disponível na areia grossa do Neossolo e 12 vezes mais na areia fina do Neossolo. Os resultados evidenciaram que a presença de fragmentos de saprolito e de rocha em diferentes estágios de alteração contribuem positivamente na retenção de água e na água disponível, ao contrário do que ocorre em areias com predomínio de quartzo e outros minerais pouco porosos.

Palavras-Chave: Distribuição granulométrica; retenção de água; solos rasos.

ABSTRACT

ALTERATION OF THE TEXTURE OF MECHANICAL DISPERSION AND WATER RETENTION IN THE SAND FRACTION IN ENTISOL DERIVED VOLCANIC ROCK

AUTHOR: Thiago Assunção de Almeida
ADVISOR: Paulo Ivonir Gubiani

The definition of the time for mechanical dispersion that ensure total dispersion without altering the amount of sand, silt and clay in soils with fragments of saprolite is still a research gap. Moreover, the effect of saprolite fragments on soil water retention is still not well understood. Therefore, this work had as main objectives: (i) to evaluate how different mechanical dispersion strategies alter the amount of sand, silt and clay in Entisol derived from volcanic rock, in which fragments of saprolite still remain in the soil mass, (ii) to investigate if fragments of saprolite in the sand fraction of Entisol have a high water retention capacity. In relation to the first objective, samples of the Entisol were dispersed using a electric mixer at 12,000 rpm for 5, 15, 30 and 60 min, a horizontal shaker at 150 cycles min^{-1} for 1, 2, 4, 8 and 16 h, with and without the use of nylon balls, and a sonication agitation with energy of 70 and 110 J mL^{-1} . Regarding the second objective, the contribution of the coarse and fine sand fractions, obtained from the texture analysis, in the water retention was analyzed using their water retention curves, which were compared to the retention curve of sand only by quartz. It was found that the mechanical dispersion strategies affected the particle size fractions. The most sensitive fractions were the coarse sand and clay fraction, with an average variation of 14% and 18% respectively. Some strategies caused a significant change in the quantity of granulometric fractions, mainly due to the fragility of the saprolite fragments. The results indicated that the most appropriate dispersion method is the horizontal shaking at 150 cycles min^{-1} for one or two hours without the use of nylon balls. The available water was 0.081, 0.318 and 0.015 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, respectively for Entisol coarse sand, Entisol fine sand and quartz sand. Regarding the water availability in the quartz sand, two fold available water was observed in the Entisol coarse sand and 12 times in the Entisol fine sand. The results showed that the presence of fragments of saprolite and rock in different degree of alteration positively contribute to water retention and available water, in contrast to what occurs in sands with a predominance of quartz and other low-porous minerals.

Key words: Entisol, mechanical dispersion, water retention.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Local de coleta das amostras de Neossolo Regolítico	21
FIGURA 2 – Local de coleta e relevo do entorno.....	22
FIGURA 3 – Perfis representativos de Neossolo Regolítico (a) e Neossolo Litólico (b) do local de coleta.....	23
FIGURA 4 – Agitador horizontal reciprocante, agitador tipo coqueteleira e ultrassom	25
FIGURA 5 – Imagens de partículas minerais que compõe a fração AG e AF de MNRV obtidas pelos métodos HZSE e US capturadas com lupa estereoscópica modelo Biofocus com ampliação de 20X.....	31
FIGURA 6 – Caracterização visual das frações AG e AF dispersadas por diferentes estratégias de dispersão mecânica e QTZ analisadas em estereomicroscópio Zeiss Stemi 508 e lupa estereoscópica modelo Biofocus.....	32
FIGURA 7 – Frações granulométricas (areia grossa, areia fina, silte e argila) em diferentes estratégias de dispersão mecânica.	35
FIGURA 8 – Correlação entre argila e areia grossa de todas as determinações.....	38
FIGURA 9 – Areia grossa e areia fina determinadas após agitação horizontal durante 1 h e sem esferas, silte e argila determinadas após agitação horizontal de até 16 h com e sem esferas.....	39
FIGURA 10 – Curva de retenção de água das frações areia grossa, areia fina e areia quartzosa.....	42

LISTA DE SIGLAS E SIMBOLOS

AF	Areia fina
AG	Areia grossa
AQTZ	Areia composta por quartzo
COQ	Agitação com uso da coqueteleira
HZCE	Agitação horizontal com uso de esfera de nylon
HZSE	Agitação horizontal sem uso da esfera de nylon
MNRV	Material de Neossolos de Rocha Vulcânica
TFSA	Terra fina seca ao ar
US	Agitação ultrassônica
θ	Conteúdo volumétrico de água

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 Hipótese	12
1.2 Objetivo	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 Caracterização dos Neossolos.....	14
2.1.1 Caracterização do saprolito.....	15
2.2 Análise granulométrica do solo	15
2.3 Tempo de agitação mecânica para dispersão.....	17
2.4 Retenção de água em areias com fragmentos de saprolito	18
3. MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1 Descrição do solo e local de coleta	21
3.2 Preparo da amostra de terra fina seca ao ar (TFSA)	23
3.3 Textura em diferentes estratégias de dispersão.....	23
3.4 Caracterização visual das areias e quantificação de minerais	27
3.5 Curva de retenção de água da fração areia	28
3.6 Análises estatísticas.....	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1 Análise visual das areias e quantificação mineralógica.....	30
4.2 Alteração da textura na dispersão mecânica.....	34
4.3 Curva de retenção de água da fração areia	41
5. CONCLUSÃO	44
6. REFERÊNCIAS	45
ANEXO A	50
ANEXO B	52
ANEXO C	54

1. INTRODUÇÃO

Solos rasos, como os Neossolos Litólicos e Neossolos Regolíticos derivados de rochas vulcânicas, apresentam características desfavoráveis ao uso agrícola devido à pequena profundidade efetiva do perfil, geralmente de até 0,5 m em Neossolos Litólicos e maior que 0,5 m para Neossolos Regolíticos (STRECK et al., 2018), com relevo algumas vezes acidentado e declivoso, predominando partículas de areias e cascalhos. Tais características tornam estes solos sensíveis ao uso antrópico, pois são mais susceptíveis aos processos erosivos, necessitando de adoção de práticas intensas de conservação.

Estas restrições de uso estão relacionadas ao pouco desenvolvimento pedogenético, caracterizado pela presença de uma sequência de horizontes do tipo A-R ou A-Cr-R, com contato lítico ou lítico fragmentário próximo à superfície, tornando comum a presença de materiais em diferentes graus de alteração, desde fragmentos de rocha a fragmentos de saprolito, misturados às frações granulométricas do solo, principalmente as mais grosseiras (SANTOS et al., 2018; STRECK et al., 2018).

Guerra (2020) define saprolito como um material resultante do intemperismo físico e químico da rocha. É constituído pela mistura de minerais primários e secundários mantém resquícios da estrutura original da rocha e se diferencia do solo pela evidente filiação litogenética e insignificante atividade biológica.

Como os fragmentos de saprolito derivados de rochas vulcânicas presentes nesses Neossolos possuem elevado grau de alteração pelo processo de intemperismo e são materiais q com menor resistência física, o tempo de agitação mecânica e também o tipo de equipamento utilizado na dispersão para determinação granulométrica podem alterar o tamanho dos fragmentos de saprolito mais frágeis.

Na dispersão para a determinação das frações granulométricas (areia, silte e argila) em análises laboratoriais, é preciso que as partículas do solo sejam individualizadas e o ideal é que este processo ocorra sem que seja provocada a alteração na quantidade de nenhuma destas frações (por quebra ou dificuldade de dispersão), Considerando a ocorrência de saprolito frágil em Neossolos derivados de rocha vulcânica e a utilização de agentes químicos e mecânicos para individualizar as partículas, a estratégia de dispersão (método/tempo-energia) é um fator determinante na qualidade da análise granulométrica.

Se o tempo de agitação for insuficiente, o teor de argila será subestimado e os teores de silte e areia serão superestimados (HILLEL, 1998; SUZUKI et al., 2015). Contudo, segundo os mesmos autores, se o tempo de agitação for superior ao necessário, pode ocorrer a quebra das partículas maiores, aumentando os teores de silte e argila e diminuindo o teor de areia. Deste modo, o tempo de agitação para dispersão adequada depende do equipamento utilizado e do tipo de solo.

O procedimento metodológico amplamente utilizado no Brasil proposto pela EMBRAPA (DONAGEMA et al., 2011; 2017) estabelece o tempo de 5 min para solos arenosos e 15 min para solos argilosos a 12.000 rpm com a utilização do agitador tipo coqueteleira e de 16 h a 150 ciclos min^{-1} , independentemente do solo, com agitador horizontal. Esses tempos de agitação foram determinados a partir de estudos realizados em solos intemperizados em que a dispersão é dificultada por agentes cimentantes como matéria orgânica e óxidos de ferro e alumínio (MBAGWU e SCHWERTMANN, 2006; SILVA et al., 2015). Entretanto, os fragmentos de saprolito de Neossolos rasos derivados de rochas vulcânicas são materiais mais consolidados que os agregados do solo, porém mais frágeis que minerais primários como quartzo e feldspatos. Portanto, para os solos com presença de fragmentos de saprolito junto à terra fina (< 2 mm), não se sabe se os tempos normalmente utilizados para dispersão irão garantir a individualização de partículas de areia, silte e argila sem promover a abrasão destes fragmentos e ocasionar alteração na quantidade das frações granulométricas mais grosseiras.

Estudos de Viana et al. (2009), analisando amostras de fração areia entre 1,0 e 0,5 mm com uso do agitador tipo coqueteleira a 12.000 rpm em 15 min de agitação, concluíram que este método de agitação promove a fragmentação não desprezível da fração areia. Conforme os mesmos autores, a fragmentação pode estar relacionada a presença de minerais mais frágeis como materiais saprolíticos que se fragmentam com maior facilidade.

A textura é uma das características mais elementares do solo, por isso é importante para o estabelecimento de estratégias de uso e manejo dos solos, para recomendação de fertilizantes e para a parametrização de modelos de processos físicos, químicos e mecânicos. A sub ou superestimativa das frações granulométricas decorrente da dispersão inadequada ou alteração da proporção das diferentes classes de partículas, pode afetar a interpretação das propriedades físico/hídricas expressas pelo solo. Portanto, é necessário desenvolver estratégias de dispersão mecânica que

minimizem a alteração no quantitativo das frações grosseiras e garantam uma adequada dispersão da argila na determinação da textura em solos rasos derivados de rocha vulcânica com a presença de fragmentos de saprolito na terra fina.

Outro aspecto importante relacionado a esses solos é quanto a participação dos fragmentos de saprolito na retenção de água. Conforme Sternberg et al. (1996), a presença de fragmentos de saprolito associada ao seu intenso fraturamento, é importante para retenção de água e disponibilidade hídrica para as plantas. Considerando que os fragmentos de saprolito mantêm resquícios da estrutura original da rocha e que ocorrem em diferentes estágios de alteração, desenvolvem alta microporosidade e baixa macroporosidade (GRAHAM et. al., 1994; PEDRON et. al., 2011; DEOBALD, 2017), e, portanto, tem elevada capacidade de reter água.

Deste modo, é esperado que os fragmentos de saprolito retenham mais água que fragmentos de mesmo tamanho compostos unicamente por minerais como quartzo e feldspato. Assim, é possível que a presença de fragmentos de saprolito junto a fração areia contribuam positivamente na retenção de água em solos rasos como os Neossolos Litólicos e Regolíticos derivados de rochas vulcânicas.

1.1 HIPÓTESES

A estratégia de agitação mecânica (métodos/equipamentos e tempos/energia) alteram as frações granulométricas da terra fina subestimando a fração areia por desgaste e fraturamento aumentando a fração argila em Neossolos Litólicos e Regolíticos derivados de rocha vulcânica com presença de fragmentos de saprolito.

A presença de fragmentos de rocha vulcânica em diferentes graus de alteração (especialmente saprolito) em Neossolos rasos causa elevada retenção de água na fração areia.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo deste estudo foi testar as duas hipóteses mencionadas acima. Além deste objetivo de caráter científico, o estudo também visou alcançar objetivos de

natureza mais técnica-operacional, como (i) verificar para quais métodos e tempos de dispersão mecânica há menor fraturamento da areia e em quais há melhor dispersão da argila e se isso ocorre simultaneamente em alguma combinação de método e tempo de dispersão, indicando a melhor estratégia de dispersão; (ii) distinguir a capacidade individual em reter água de frações areia formada por quartzo e areia com presença de fragmentos de saprolito de rocha vulcânica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CARACTERIZAÇÃO DE NEOSSOLOS

Os Neossolos são explorados em grande parte por agricultores familiares de baixa renda que praticam agricultura de subsistência e pecuária. Esses solos são associados a terrenos acidentados e pedregosos, mas também podem ocorrer em áreas pouco movimentadas ou planas. São solos caracterizados por reduzida profundidade efetiva do perfil, com o contato lítico próximo à superfície e pela presença de camada saprolítica que limitam seu potencial de uso (MACHADO, 1997; OLIVEIRA, 2001; PEDRON et al., 2009). Conforme os mesmos autores, são solos pouco pesquisados, porém, nas últimas décadas, a pressão de uso agrícola e urbano sobre estes solos vem justificando a demanda por conhecimentos mais específicos em relação à sua gênese, mineralogia, química, física e morfologia, a fim de evitar a degradação das áreas exploradas.

De acordo com o SiBCS (SANTOS et al., 2018),

Os Neossolos Litólicos são solos que apresentam contato lítico dentro de 50 cm a partir da superfície, apresentando horizonte A ou hístico assentados diretamente sobre a rocha ou sobre um horizonte C ou Cr ou ainda sobre material com 90% ou mais de sua massa constituída de fragmentos grosseiros com diâmetro maior que 2 mm. Os Neossolos Litólicos admitem a presença de um horizonte B em início de formação, desde que este não satisfaça qualquer tipo de horizonte diagnóstico. Já os Neossolos Regolíticos são caracterizados pela presença de um horizonte A sobrejacente a um horizonte C ou Cr. O contato lítico deve ocorrer a uma profundidade maior que 50 cm. Admite horizonte B incipiente com menos de 10 cm de espessura. Além disso, deve satisfazer pelo menos um dos seguintes requisitos: 4% ou mais de minerais primários alteráveis na fração areia grossa e fina, em qualquer horizonte dentro de 150 cm a partir da superfície do solo; e/ou 5% ou mais do volume do horizonte C ou Cr apresentando fragmentos de rocha semi-intemperizados ou saprolito, dentro de 150 cm a partir da superfície do solo.

2.1.1 Caracterização do saprolito

O saprolito é definido pela Embrapa (1999) como o material resultante do processo de intemperismo da rocha em diferente grau de intensidade, mantendo a sua estrutura de origem e dureza compatível com a condição de rocha semi-alterada. O saprolito se difere do solo pelo predomínio da ocorrência de processos químicos que promovem a alteração da rocha em relação aos mecanismos de formação do solo (CALVERT et al., 1980a), com fluxo pelas fraturas e macroporos (O'BRIEN e BUOL, 1984; DRIESE et al., 2001) e formação de minerais secundários com preservação da estrutura da rocha (GRAHAM et al., 1994).

Portanto, como os fragmentos de saprolito são constituídos pela mistura de minerais primários e secundários resultantes do processo de intemperismo, desenvolvem maior proporção de vazios devido aos diferentes estágios de solubilização da rocha, assim são mais porosos que partículas constituídas unicamente por minerais primários. Tais características podem interferir no estabelecimento do tempo e tipo de equipamento mais adequado para dispersão mecânica e na capacidade de retenção de água da fração areia.

2.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO SOLO

A análise granulométrica é essencial para a caracterização e o estudo de solos, com aplicação em diversos campos da atividade humana, como a agricultura, a engenharia civil e a geotecnia. A análise granulométrica possibilita determinar a textura de um solo a partir da proporção entre as principais frações granulométrica que, de acordo com a classificação adotada no Brasil (DONAGEMA et al., 2011; 2017), são areia (de 2,0 a 0,05 mm), silte (de 0,050 a 0,002 mm) e argila (menor que 0,002 mm).

Como a mudança no tamanho das partículas de um solo é desprezível em curto intervalo de tempo (considerando ciclos de manejo agrícola), a composição granulométrica é uma característica estável de grande relevância na descrição, identificação e classificação do solo e em funções de pedotransferência (OLIVEIRA et al., 2002; SILVA et al., 2008). Também está intimamente relacionada com a retenção e drenagem de água, a capacidade de troca catiônica, a fixação de fósforo e,

consequentemente, com as recomendações de adubação, calagem, gessagem, e no estabelecimento de práticas conservacionistas (LOPES e GUILHERME, 1992; SOUSA et al., 1995; EMBRAPA, 1997; RESENDE et al., 1999; OLIVEIRA et al., 2002; CORREIA et al., 2004).

O processo de separação das partículas do solo em classes granulométricas consiste na dispersão da parte sólida do solo em meio líquido com agente químico e agitação mecânica. A precisão na análise granulométrica depende da obtenção de suspensões de solo completamente dispersas e da manutenção da estabilidade da fase dispersa durante a separação das frações granulométricas (CORÁ et al., 2009). Vários fatores dificultam a obtenção dessas condições, em especial a qualidade da dispersão dos agregados do solo (FERREIRA et al., 1999).

A dispersão das partículas é realizada com um agitador mecânico com uma solução dispersante. Para isso, diferentes agitadores são utilizados para desagregar amostras de solo, como: coqueteleira de média rotação, coqueteleira de alta rotação, agitador por energia ultrassônica, agitador horizontal reciprocante com 150 a 300 rpm, agitador com movimento circular de 200 a 300 rpm e movimento orbital com 15 a 20 rpm, em tempos de agitação variando de 15 min a 16 h dependendo do agitador utilizado (KILMER; ALEXANDRE, 1949; OLIVEIRA et al., 2002; TAVARES FILHO e MAGALHÃES, 2008; VITORINO et al., 2001).

O procedimento metodológico utilizado no Brasil proposto pela EMBRAPA (DONAGEMA et al., 2011) estabelece o tempo de 5 e 15 min, respectivamente para solos arenosos e argilosos com agitador tipo coqueteleira e de 16 h a 150 ciclos min⁻¹, independentemente do solo, com o agitador horizontal recíproco. Esses tempos de agitação foram determinados a partir de estudos realizados em solos intemperizados com a presença de agentes cimentantes como óxidos de ferro e alumínio (MBAGWU; SCHWERTMANN, 2006; SILVA et al., 2015).

Os métodos do hidrômetro e da pipeta são amplamente utilizados para determinar a composição granulométrica do solo (KLEIN, 2012). O método da pipeta (considerado padrão) baseia-se na velocidade de queda das partículas em uma suspensão aquosa. Após calcular o tempo necessário para que todas as partículas de silte tenham se deslocado verticalmente na suspensão abaixo de uma profundidade estabelecida (geralmente 5 cm), pipeta-se um volume da suspensão para determinação da argila, que é seca em estufa e pesada. As frações grosseiras (areia fina e grossa) são separadas por tamisação, secas em estufa e pesadas e o silte é

obtido por diferença das outras frações em relação à amostra original (DONAGEMA et al., 2011).

2.3 TEMPO DE AGITAÇÃO MECÂNICA PARA DISPERSÃO

O tempo de agitação pode ter grande influência na dispersão das partículas e, conseqüentemente, na quantificação da composição granulométrica (KLEIN, 2008; SUZUKI et al., 2015). Para que o processo de dispersão mecânica ocorra com exatidão, é indispensável que, independentemente do método utilizado, também se considere o tempo de dispersão mecânica mais adequado que garanta uma individualização de partículas sem promover fragmentação e assim evitando erros na determinação da distribuição do tamanho de partículas.

Todavia não há consenso entre os pesquisadores quanto ao tempo de agitação mais apropriado, como também não há estudos que considerem o tempo de dispersão para solos com a presença de fragmentos de rocha e saprolito, uma vez que o tempo de dispersão depende do tipo do agitador utilizado e das características intrínsecas de cada solo (KILMER e ALEXANDRE, 1949; OLIVEIRA et al., 2002; TAVARES FILHO e MAGALHÃES, 2008), como a presença de agentes cimentantes e/ou de fragmentos de saprolito.

Vários estudos indicam o tempo de 16 h de dispersão com agitador tipo Wagner ou horizontal reciprocante como o mais adequado em Latossolos e para o agitador tipo coqueteleira os tempos variando entre 5 e 20 min (KILMER E ALEXANDER, 1949; GENRICH E BREMNER, 1972; GROHMAN E RAIJ, 1974; CARVALHO, 1985; VAZ et al., 1997; SILVA et al., 2014). Tavares Filho et al. (2008) consideram a agitação horizontal reciprocante por 16 h com uso de 30 g de areia grossa como abrasivo como a forma de dispersão mais eficiente para Latossolos.

Porém, estudos de Miyazawa et al. (2011) indicam que o tempo de 2 h de agitação horizontal como suficiente para atingir a desagregação em Latossolos. Suzuki et al., (2015), testando tempos de dispersão em cinco classes de solo recomenda os tempos de agitação de 1 e 2 h para solos cauliníticos e 4 h para solos com a presença de agentes cimentantes como óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio ou matéria orgânica com o uso do agitador horizontal reciprocante.

Viana et al. (2009) analisando a fragmentação de amostras da fração areia de diferentes procedências com agitador tipo Wagner nos tempos de 0,5, 1, 2, 4, 8 e 16 h e coqueteleira no tempo de 15 min, concluíram que ambos os métodos de agitação promovem a fragmentação não desprezível da fração areia.

Quanto a dispersão por sonificação, Vitorino et al., (2001) recomenda a aplicação de uma energia de 110 J mL^{-1} para uma adequada dispersão da fração argila em Latossolos.

Considerando a baixa resistência mecânica dos fragmentos de saprolito diante do processo de dispersão, torna-se imprescindível o desenvolvimento de estratégias de dispersão que busquem um melhor rigor metodológico na determinação textural para solos com a presença de fragmentos de saprolito na terra fina como os Neossolos Litólicos e Neossolos Regolíticos derivados de rochas vulcânicas.

2.4 RETENÇÃO DE ÁGUA EM AREIAS COM FRAGMENTOS DE SAPROLITO

A fração areia é considerada de menor importância em processos físico-químicos e na retenção de água (REICHARDT, 2004). Todavia a capacidade de retenção de água desta fração depende de algumas características relacionadas à amplitude do tamanho médio de partícula (proporção de areia grossa e fina), e à constituição mineralógica das partículas que compõe esta fração (minerais com diferentes graus de alteração).

Considerando a amplitude de tamanho médio de partícula da fração areia, em solos que apresentam o mesmo teor de areia total, podem apresentar retenções distintas dependendo das proporções de areia fina (AF) e areia grossa (AG) que o compõem (FIDALSKI et al., 2013; MACHADO et al., 2008; FIDALSKI et al., 2010b). Como a retenção de água nos solos é governada basicamente pelos processos de capilaridade e adsorção (LIBARDI, 2010), solos constituídos por elevada proporção de AF podem apresentar um comportamento físico hídrico muito próximo ao de um solo siltoso, visto que podem ocorrer um melhor arranjo das partículas sólidas, resultando em maior volume de microporos. Isso não ocorre em solos constituídos em maior proporção pela fração AG, uma vez que a presença de partículas de maior diâmetro resulta em um maior volume de macroporos.

Outro aspecto que interfere na retenção de água da fração areia, está relacionado a constituição mineralógica da partícula. A fração areia formada por partículas constituídas exclusivamente por minerais primários (quartzo e feldspato), de forma geral, retém uma quantidade insignificante de água, uma vez que são pouco alterados e, por isso, são pouco ou nada porosos e possuem uma baixa área superficial específica (ASE), o que torna sua contribuição na retenção de água desprezível.

Por outro lado, em solos que ocorrem na fração areia a presença de partículas minerais em diferentes graus de alteração pelo processo de intemperismo, podem ocorrer uma contribuição relevante na retenção de água (DEOBALD, 2017). Solos que possuem a fração areia constituída por fragmentos de saprolito de rocha vulcânica, como os Neossolos, possuem estas características. Como nesses solos os fragmentos são constituídos por minerais primários e secundários, ocorre uma maior proporção de vazios e, assim, desenvolvem maior microporosidade (GRAHAM et. al., 1994; PEDRON et. al., 2011). Portanto na fração areia desses solos pode ocorrer maior retenção de água comparado a areia constituída unicamente por minerais primários.

Resultados obtidos por Pedron et al., (2009), estudando perfis de Neossolo Litólico e Neossolo Regolítico derivados de arenito, na região do rebordo do planalto do Rio Grande do Sul, apontaram valores médios de θ na capacidade de campo (CC) de 0,42 a 0,51 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ e 0,10 e 0,24 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ no ponto de murcha permanente (PMP). Resultados semelhantes foram encontrados por Bortolini (2016), que estudou a retenção e disponibilidade de água em 16 classes de solo de Santa Catarina, entre eles um Neossolo Regolítico e um Neossolo Litólico, e verificou valores médios de CC de 0,42 e 0,44 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ e PMP de 0,31 e 0,28 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$. Esse autor também avaliou um Neossolo Quartzarênico e os valores de CC e PMP foram 0,16 e 0,07 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$. Apesar da maior retenção de água nos Neossolos Litólicos e Regolíticos derivados de rocha vulcânica poder estar associado à presença de saprolito, essa é uma hipótese não testada nesses estudos, pois avaliaram a retenção em amostras integrais de solo (compostas por todas as frações granulométricas). Nesse caso, a maior retenção de água desses solos comparados a um Neossolo Quartzarênico pode ser explicada pela diferença na quantidade de argila e não por características da areia (proporção AG/AF e grau de alteração dos minerais). Assim, é preciso medir a quantidade de água que a fração areia retém para saber se a maior retenção de água em Neossolos

Regolíticos e Litólicos derivados de rocha vulcânica é explicada pela presença de fragmentos de saprolito na terra fina.

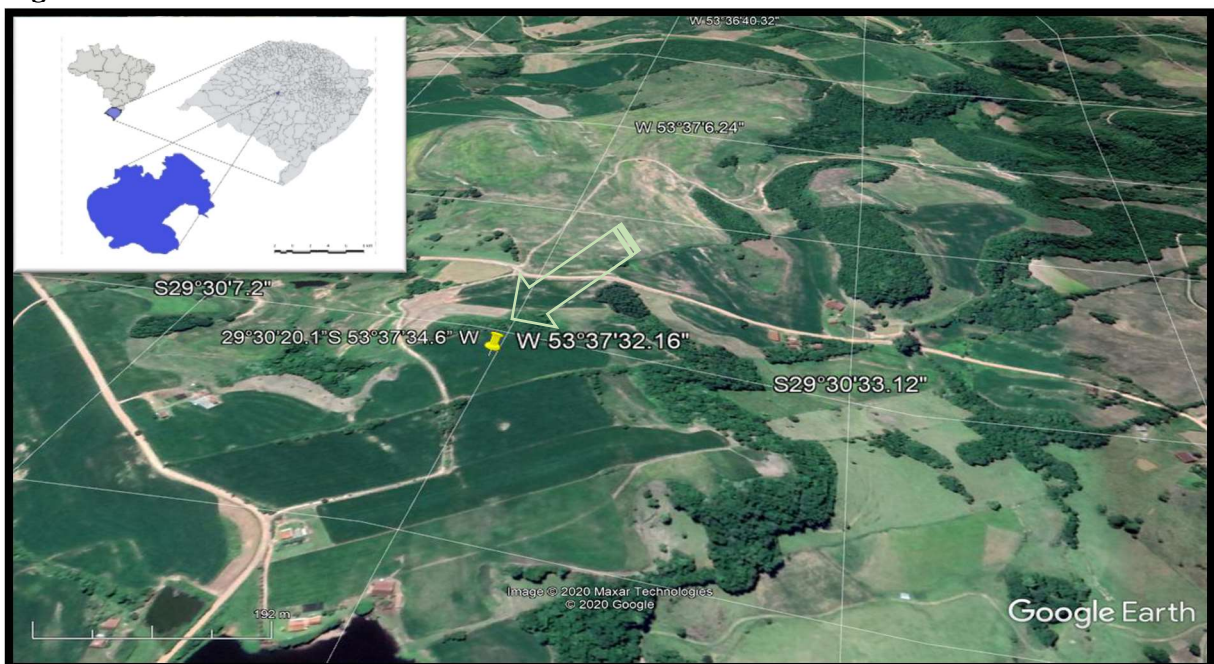
Desta forma, avaliar a contribuição individual da fração areia em solos rasos derivados de rochas vulcânicas é importante para entender o porquê da ocorrência de uma maior retenção de água. Assim, será medida a retenção de água através da curva de retenção em amostras de areia grossa e areia fina com a presença de fragmentos de rocha e saprolito em diferentes graus de alteração, como também em amostras de areia quartzosa para comparação e avaliação da contribuição desses fragmentos na retenção de água.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DO SOLO E LOCAL DE COLETA

O estudo foi realizado a partir de uma amostra composta de Neossolo Regolítico e Neossolo Litólico, classificados conforme Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2018) coletadas no município de Ivorá-RS (latitude 29°30' 20.1" S, longitude 53°37' 34.6" W, e altitude de 477 m) (Figura 1). O clima da região, segundo a classificação climática de Köppen, é Cfa do tipo fundamental temperado úmido, com chuvas bem distribuídas durante o ano sem uma estação seca definida, com temperatura do mês mais quente superior a 22°C e do mês mais frio superior a -3°C (MORENO, 1961).

Figura 1 – Local de coleta das amostras de Neossolo.



FONTE: adaptado de [HTTP://earth.google.com](http://earth.google.com) (Coordenadas: latitude - 29° 30' 20,1" S e longitude: - 53° 37' 34,60" W). acesso em 14/09/2020

A área amostrada foi uma lavoura de 1,2 ha, cultivada com soja (*Glycine max* L.) no verão e com aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) no inverno (parte inferior da figura 2). A declividade varia de 3 a 8 % na lavoura amostrada, mas é bem maior em algumas partes do relevo do entorno (parte superior da figura 2).

Figura 2 – Vista do local de coleta (parte inferior) e do relevo ao entorno (parte superior) do local de coleta.

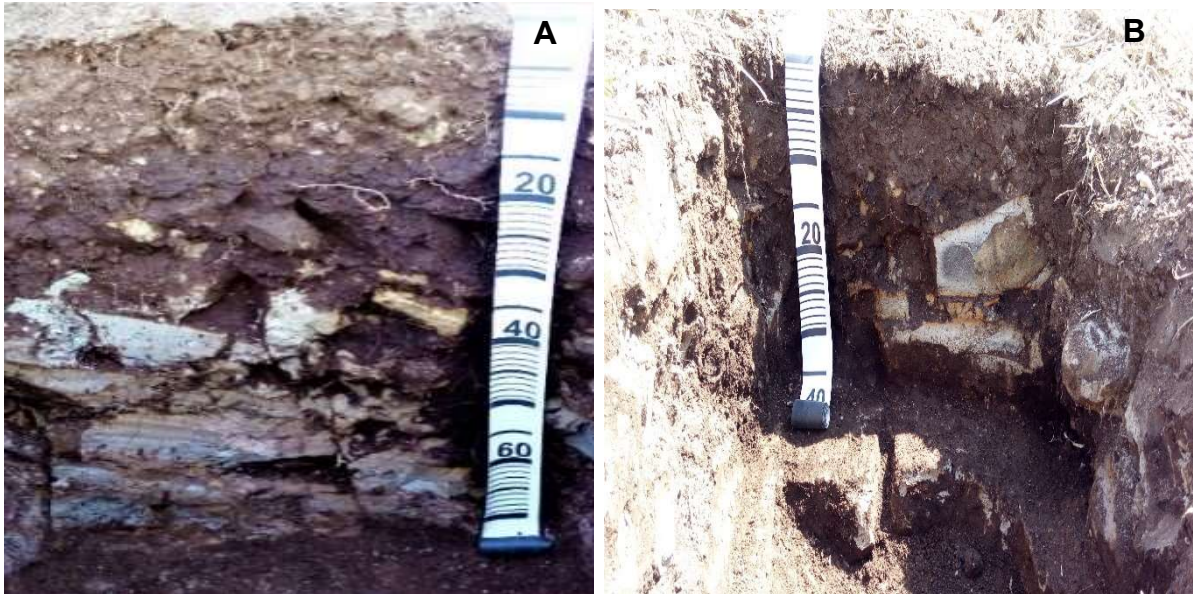


FONTE: Fotos do acervo pessoal de Caroline Andrade Pereira e que serão utilizadas em tese do Programa Pós-Graduação Ciências Solo da Universidade Federal de Santa Maria.

O solo do local de coleta é formado de um substrato rochoso derivado de rocha vulcânica. As características morfológicas de dois perfis do Neossolo (um Regolítico e outro Litólico) estão descritas nos anexos A e B. O perfil do Neossolo Regolítico (Figura 3A) é caracterizado por uma sequência de horizontes A/Cr de 0-12 cm, Cr/A de 12-33 cm, Cr de 33-60 cm, RCr de 60-70 cm+. O perfil do Neossolo Litólico (Figura 3B) é formado por horizonte A/Cr de 0-15 cm, R/Cr de 15-30 cm e R de 30-40 cm+. Em ambos os perfis, os fragmentos de saprolito são facilmente cortados com pá.

Amostras de solo de aproximadamente 2 kg e sem estrutura preservada foram coletadas na camada de 0-10 cm em oito pontos distribuídos na lavoura para representar a variabilidade da composição granulométrica e mineralógica do solo. As sub amostras foram posteriormente misturadas e homogeneizadas, ainda no campo, para a formação de uma única amostra composta. Tendo em vista que todas as análises foram feitas na amostra composta, e que a amostra continha material de perfis de Neossolo Regolítico e de Neossolo Litólico, ambos derivados de rocha vulcânica, optamos por denominar genericamente a amostra de Material de Neossolos de Rocha Vulcânica (MNRV) afim de sintetizar a descrição do material analisado.

FIGURA 3 – Perfis típicos de Neossolo Regolítico (A) e Neossolo Litólico (B) do local de coleta.



FONTE: Fotos do acervo pessoal de Caroline Andrade Pereira e que serão utilizadas em tese do Programa Pós-Graduação Ciências Solo da Universidade Federal de Santa Maria.

3.2 PREPARO DA AMOSTRA DE TERRA FINA SECA AO AR

A amostra composta foi homogeneizada e acomodada em caixa de madeira para secagem ao ar em local ventilado no laboratório. Depois de seca, a amostra foi destorroada manualmente com cuidado para evitar a quebra de fragmentos de rocha, saprolito ou concreções. O material destorroado foi peneirado em malha 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA).

3.3 TEXTURA EM DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE DISPERSÃO

A análise granulométrica (areia, silte e argila) foi realizada com diferentes combinações de métodos/equipamentos com tempos/energia de dispersão, com os quais foram definidos 16 tratamentos, cada um com seis repetições:

- 1 - agitação com coqueteleira (COQ, Figura 4A) a 12.000 rpm durante 5 min;
- 2 - COQ 15 min;
- 3 - COQ 30 min;
- 4 - COQ 60 min;

- 5 - agitação horizontal recíprocante (HZCE, Figura 4B) a 150 ciclos min^{-1} e com o uso de esferas de nylon durante 1 h;
- 6 - HZCE 2 h;
- 7 - HZCE 4 h;
- 8 - HZCE 8 h;
- 9 - HZCE 16h;
- 10 - agitação horizontal recíprocante (HZSE, Figura 4B) a 150 ciclos min^{-1} sem o uso de esferas de nylon durante 1 h;
- 11 - HZSE 2 h;
- 12 - HZSE 4 h;
- 13 - HZSE 8 h;
- 14 - HZSE 16h;
- 15 - agitação por sonificação (US, Figura 3C) com energia de 70 J mL^{-1} ;
- 16 - US 110 J mL^{-1} .

A definição dos tratamentos levou em conta os métodos comumente utilizados em laboratório (ALMEIDA et al., 2012; DONAGEMA et al., 2011; 2017; KILMER e ALEXANDER 1949; GENRICH e BREMNER 1972; GROHMAN e RAIJ 1974; CARVALHO 1985; VAZ et al., 1997; VITORINO et al., 2001; SILVA et al., 2014; SUZUKI et al., 2015). Os tempos de agitação ou energias empregadas (no caso do US) foram reduzidos e ampliados em relação aos valores sugeridos nas respectivas metodologias, a fim de identificar qual opção é mais apropriada para quantificação com mínima alteração das frações granulométricas do MNRV.

Para os tratamentos COQ, 50 g de TFSA, 230 mL de água e 10 mL de dispersante químico NaOH a 6% foram adicionados no copo da coqueteleira, imediatamente seguido de agitação conforme o tempo de cada tratamento. Para os tratamentos HZCE, 20 g de TFSA transferidas para frascos tipo snap-cap com capacidade de 100 mL, no qual foram adicionados duas esferas de nylon (massa 3,04 g, diâmetro 1,71 cm e densidade 1,11 g cm^{-3}), 50 mL de água e 10 mL de dispersante químico NaOH a 6%. A agitação foi efetuada imediatamente após o condicionamento das amostras em seus respectivos recipientes submetendo-as aos tempos de cada tratamento. Para tratamentos HZSE, os procedimentos foram os mesmos do HZCE, exceto o uso de esferas de nylon. A dispersão ultrassônica foi executada com a adição de 10 g de TFSA e 400 mL de solução dispersante NaOH a 1% em um béquer com capacidade de 800 mL. As amostras foram submetidas a energias de 70 e 110 J mL^{-1} .

¹ em aparelho de ultrassom Vibracel, marca Sonics & Materials, modelo VC 750, equipado com sonda de 136 mm de comprimento e 13 mm de diâmetro.

Figura 4 – Agitador tipo coqueteleira (A), agitador horizontal recíprocante (B) e agitador ultrassônico (C).



Fonte: Autor.

Os procedimentos de separação e quantificação das frações granulométricas foram os mesmos para todos os casos. Após a dispersão, as amostras foram lavadas com água sobre peneira com malha de 0,053 mm. Nesse procedimento, a suspensão contendo as frações silte e argila foi coletada em uma proveta graduada com capacidade de 1 L. A areia retida na peneira foi transferida para uma lata e levada para estufa (105 °C por 24 h). Após a secagem, a areia foi pesada e peneirada em malha de 0,5 mm para separação em areia grossa e fina.

A proveta contendo a suspensão de silte e argila foi preenchida com água até o volume de 1 L. Posteriormente, a suspensão foi homogeneizada por 60 segundos e deixada em repouso por tempo necessário (em torno de 3h, dependendo da temperatura da suspensão) para que ocorresse a sedimentação das partículas de silte da parte superior da coluna de suspensão (5 cm). O teor de argila foi determinado pelo método da pipeta (Gee e Or, 2002), no qual uma alíquota de 50 mL de suspensão foi pipetada na profundidade de 5 cm após transcorrer o tempo para sedimentação do silte. Este volume foi transferido para um béquer previamente pesado e levado à estufa a 105 °C por 24 h para posterior pesagem e determinação da fração argila. Por fim, os cálculos das percentagens de areia, silte e argila foram feitos conforme Embrapa (1997).

Durante a análise das frações areia, silte e argila obtidas para cada estratégia de agitação, não foi possível saber com segurança se o aumento da argila associado com o decréscimo da areia tinha sido causado pelo fraturamento da areia ou por maior dispersão da argila com o aumento do tempo de agitação. Por isso, procedimento complementar foi utilizado com a finalidade de (i) aplicar tempo de agitação apenas suficiente para separar a areia das demais frações, minimizando seu fraturamento e (ii) continuar agitando por mais tempo o silte e argila separadamente da areia para verificar se haveria aumento de argila com o aumento do tempo de agitação.

Para este estudo foi utilizado apenas o agitador horizontal. Inicialmente, 60 amostras de 20 g de TFSA foram transferidas para frascos tipo snap-cap com capacidade de 100 mL, nos quais nenhuma esfera de nylon foi adicionada. Em seguida, 50 mL de água e 10 mL de dispersante químico NaOH a 6% foram adicionados em cada frasco e as amostras foram agitadas durante uma hora. Esse tempo foi definido com base em duas observações feitas na etapa anterior: (i) a água que escorria da lavagem da areia após uma hora de agitação era límpida, e (ii) a quantidade de areia foi maior nas amostras submetidas a uma hora de agitação. Após a agitação, a suspensão foi lavada com água sobre peneira com malha de 0,053 mm. Nesse procedimento, a suspensão contendo as frações silte e argila foi coletada em um frasco de vidro com capacidade de 1L, cujo volume de suspensão após lavagem foi ajustado para 750 mL. A areia retida na peneira foi transferida para uma lata e levada para estufa (105 °C por 24 h). Após a secagem, a areia foi pesada e peneirada em malha de 0,5 mm para separação em areia grossa e fina.

Na sequência, as 60 suspensões de silte + argila foram separadas em dois grupos de 30 amostras, denominados de A e B, e cada um desses grupos foi separado mais uma vez em cinco subgrupos de seis amostras. Para cada subgrupo foi definido um tempo de agitação. Os subgrupos 1, 2, 3, 4 e 5 foram submetidos aos tempos 1, 2, 4, 6, 8 e 16 h de agitação, respectivamente. Como as amostras do subgrupo 1 já haviam sido agitadas por uma hora, elas foram diretamente submetidas ao procedimento de sedimentação de silte e quantificação da argila (descrito a seguir). As amostras dos subgrupos 2 a 5 foram submetidas aos seus respectivos tempos de agitação. Os subgrupos de amostras do grupo A foram agitados sem uso de esferas de nylon e os subgrupos de amostras do grupo B foram agitados adicionando-se 15 esferas de nylon em cada frasco. Ao final da agitação, as suspensões de silte e argila foram transferidas para proveta graduada, e o volume da suspensão foi ajustado para

o volume de 1 L. A quantificação de argila pelo método da pipeta e o cálculo da percentagem de areia silte e argila foram feitos como descrito anteriormente.

3.4 CARACTERIZAÇÃO VISUAL DAS AREIAS E QUANTIFICAÇÃO DOS MINERAIS

A análise visual da AG e AF foram realizadas por meio de microscopia óptica no intuito de identificar os minerais e alterações nas partículas de saprolito causadas por alguns tratamentos de dispersão. A caracterização foi realizada para as areias dos tratamentos COQ com 5 min de agitação, HZSE com 1h de agitação, HZCE em todos os tempos de agitação, e US com 70 e 110 J mL⁻¹. Areia composta exclusivamente por quartzo (AQTZ) também foi utilizada como referência de comparação. Porções de AG, AF e AQTZ foram analisadas com o uso do estereomicroscópio Zeiss Stemi 508 (Carl Zeiss Microscopy GmbH, Jena, Alemanha), com capacidade de ampliação de 50x e com a lupa estereoscópica modelo Biofocus com capacidade de ampliação de 40x. Houve captura e edição de imagens para a identificação, caracterização e quantificação dos minerais presentes nas amostras.

Para a quantificação mineralógica, triplicatas de 0,2 g de AG e 0,05 g de AF foram pesadas em uma balança de precisão. Nas amostras de AG, as partículas foram separadas nas classes mineralógicas denominadas de quartzo, magnetita, fragmento de saprolito, fragmento de rocha e agregados de resíduos orgânicos com presença de minerais. Inicialmente, a amostra foi distribuída sobre um prato de porcelana de cor branca. Em seguida, as partículas de magnetita foram removidas com um ímã, que foi aproximado e afastado da amostra até que nenhuma partícula ficasse retida no ímã. Na sequência, a identificação e separação dos minerais das classes quartzo, fragmento de saprolito e fragmento de rocha com base na coloração e textura das partículas foi feita com o uso simultâneo de lupa de bancada modelo HL - 410 com ampliação de 8x e lupa estereoscópica com ampliação de 40x. As partículas de maior tamanho foram individualizadas e agrupadas com lupa de bancada e as de menor tamanho com uso de lupa estereoscópica. Por fim, a massa de partículas em cada classe mineralógica foi quantificada e os resultados foram expressos em percentagem.

Para a fração AF, as amostras foram distribuídas sobre uma placa de petry e, a quantidade de partículas em cada classe mineralógica foi estimada visualmente (com auxílio da lupa estereoscópica com ampliação de 40x) pela percentagem de área correspondente a uma ficha de identificação (SANTOS et al., 2015). As frações mineralógicas foram separadas em classes <3%; 3 – 15%; 15 -25%; >25%, (Anexo C).

3.5 CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA DA FRAÇÃO AREIA

A determinação da curva de retenção de água foi feita em amostras compostas de AG e AF obtidas dos tratamentos HZCE e COQ. A AG das 30 amostras dos tratamentos HZCE (6 tempos x 6 repetições) foram misturadas a AG das 24 amostras dos tratamentos COQ (5 tempos x 6 repetições). O mesmo foi feito com a fração AF. Como referência e comparação, também foi medida a retenção de água da areia composta unicamente por partículas de quartzo (AQTZ).

Com as amostras compostas foram preparadas cinco amostras de AF e cinco de AG em anéis volumétricos (PVC de 4.37 cm de diâmetro x 2 cm de altura). Também foram preparadas três amostras da AQTZ. Uma tela permeável foi fixada com elástico na base dos anéis e pequenas porções de AF, AG e AQTZ foram gradativamente transferidas para o anel e acomodadas por vibração causada por batidas leves na parede do anel com objeto metálico, até completar seu volume. As amostras foram colocadas em bandejas, saturadas com elevação lenta do nível da água até próximo da borda superior dos anéis, por 24 horas. Posteriormente, a massa das amostras saturadas foi determinada e elas foram transferidas para coluna de areia (Reinert e Reichert, 2006) e foram submetidas às tensões (h, cm) de 10, 60 e 100 cm. A massa das amostras foi determinada após cessada a drenagem em cada tensão. Na sequência, as amostras foram secas em estufa a 105 °C por 24 h. Com o material seco, outro conjunto com cinco amostras de AF, cinco de AG e três de AQTZ foram preparadas (como descrito anteriormente, mas sem a tela permeável) sobre um extrator de cerâmica porosa dentro de uma bandeja, no qual foram saturadas e posteriormente drenadas em câmara metálica com pressão de 1000 cm (Klute, 1986). Cessada a drenagem, a massa das amostras foi determinada e elas foram secas a 105 °C até peso constante.

Com as massas determinadas em cada tensão e a massa seca em estufa foi calculado o conteúdo volumétrico de água (θ , $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) e a densidade (ρ , g cm^{-3}) (SANTOS et al., 2018). Ao conjunto de θ -h obtido nessas amostras foram incluídos pares de θ -h obtidos de medições feitas com piscrômetro de ponto de orvalho (WP4), conforme descrito por Gubiani et al. (2012). No WP4, um único conjunto de pares de θ -h foi determinado para cada fração (AF, AG e AQTZ). Ao conjunto total de θ -h de cada fração (AG, AF e de AQTZ) foi ajustada a equação de van Genuchten (1980) para descrever a curva de retenção de água (equação 1).

$$\theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha h)^n]^{-m}} \quad (1)$$

Em que θ_s e θ_r são o conteúdo de água de saturação e residual, respectivamente; α (cm^{-1}) e n (adimensional) são parâmetros de ajuste e m foi restrito pela condição $m = 1 - 1/n$. O ajuste para determinação dos valores de θ_r , α e n foi feito minimizando a soma de quadrado dos resíduos.

3.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

O efeito dos tratamentos de agitação mecânica sobre as frações granulométricas foi avaliado pela análise de variância. Quando houve efeito significativo ($p < 0,05$) do tempo de agitação, as médias de areia silte e argila em cada tempo foram comparadas pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro. O efeito das areias (AF, AG e AQTZ) na retenção de água foi analisada por meio de intervalo de confiança das curvas ajustadas. Todas as análises estatísticas foram feitas usando o software SAS (SAS INSTITUTE, 1999).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente foram analisados e discutidos os resultados da análise visual das frações de areia e o efeito das diferentes estratégias de dispersão mecânica nas frações areia grossa, areia fina, silte e argila. A contribuição das frações de areia AG e AF na retenção de água foi analisada e discutida na sequência.

4.1 ANÁLISE VISUAL DAS AREIAS E QUANTIFICAÇÃO MINERALÓGICA

Os minerais de quartzo (Figura 5A), fragmentos de saprolito (Figura 5B), fragmentos de rocha (Figura 5C), magnetita (Figura 5D) e agregados de resíduos orgânicos com minerais (Figura 5F) presentes na fração AG do MNRV foram visualmente separados conforme indicado nas respectivas figuras.

Figura 5 – Imagens de partículas minerais que compõe a fração AG de MNRV obtidas pelos métodos HZSE e US e capturadas com lupa estereoscópica modelo Biofocus com ampliação de 20x.



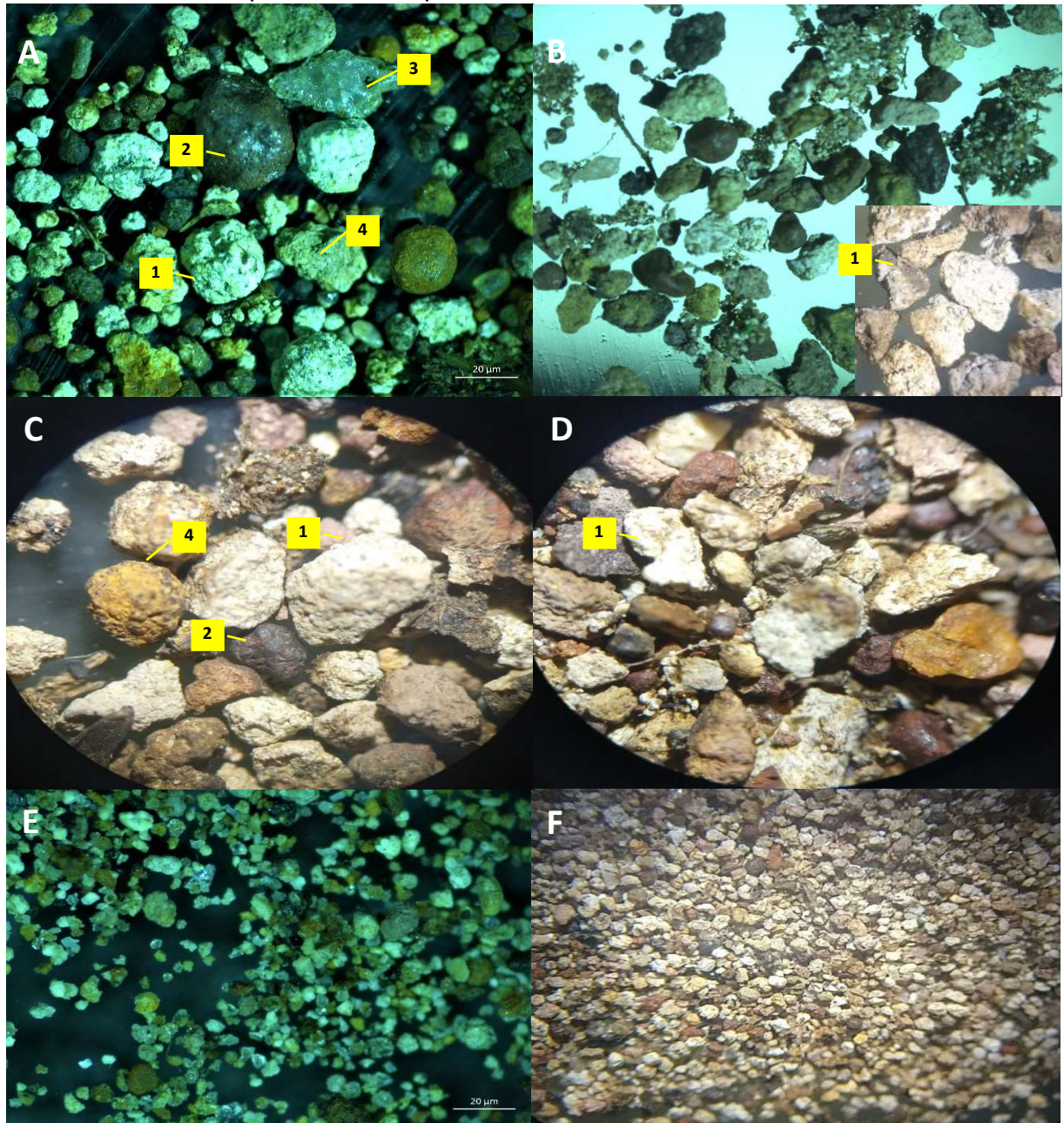
A: quartzos, B: fragmentos de saprolito, C: fragmentos de rocha; D: magnetita; E: areia composta por quartzos (AQTZ) (comparativa), F: agregados de resíduos orgânicos com minerais.

Fonte: autor

As partículas de saprolito após agitação com COQ (Figura 6A) e HZCE (Figura 6C) parecem ter formato mais arredondado que pode ter sido causado por desgaste durante a agitação. Diferentemente, as partículas de saprolito após agitação com HZSE (6B) e US (6D) parecem ter bordas mais angulosas. Também parece haver menor quantidade de fragmentos de saprolito na AF obtida após agitação com COQ (Figura 6E) do que na AF obtida após agitação com US (Figura 6F). Com base nestes resultados visuais, os métodos COQ e HZCE parecem ser mais abrasivos do que os métodos HZSE e US, diminuindo a massa das partículas maiores, sobretudo da mais

suscetíveis ao desgaste, e produzindo partículas pequenas resultantes das partículas desgastadas. Consequentemente pode ter havido alteração nas porcentagens das frações granulométricas, como será analisado a seguir.

Figura 6 – Caracterização visual das frações de AG, AF e AQTZ dispersas por diferentes estratégias de agitação mecânica e analisadas em estereomicroscópio Zeiss Stemi 508 e lupa estereoscópica modelo Biofocus.



A: areia grossa dispersa na COQ por 5 min; B: areia grossa dispersa no HZSE por 1 h; C: areia grossa dispersa no HZCE; D: areia grossa dispersa por US com energia de 70 J mL^{-1} ; E: areia fina dispersa na COQ por 5 min.; F: areia fina dispersa por US com energia de 110 J mL^{-1} . Os números 1, 2, 3 e 4 nas fotos indicam fragmento de saprolito, magnetita, quartzo e fragmento de rocha, respectivamente.

Fonte: autor

As frações AG e AF do MNRV eram compostas por 33% e >25% de fragmentos de saprolito, respectivamente (Tabela 1). Isso indica que havia quantidade considerável de massa na fração areia sujeita ao desgaste mencionado anteriormente. Em torno de 50% das partículas da fração areia eram minerais mais resistentes que o saprolito, como magnetita e fragmentos de rocha, havendo menos que 3% de quartzo.

A análise da composição mineralógica (Tabela 1) e de imagens com lupa (Figura 6) evidenciam a presença expressiva de saprolito na fração areia do MNRV e seu desgaste pelos métodos de agitação. A seguir será discutida a alteração que as estratégias de dispersão mecânica por diferentes métodos causaram nas frações granulométricas.

Tabela 1 – Quantidade média de minerais que compõe as frações areia grossa (AG) e areia fina (AF) dispersas com US nas energias 70 e 110 JmL⁻¹ e HZSE nos tempos de 1, 2, 4, 8 e 16h em MNRV.

Mineral	AG	AF
	% massa	% área
Quartzo	0	<3
Magnetita	28 (±3)	15 a 25
Fragmento de rocha	23 (±5)	>25
Fragmento de saprolito	33 (±3)	>25
Agregados de resíduos orgânicos e minerais	16 (±3)	10 a 20

Fonte: Autor

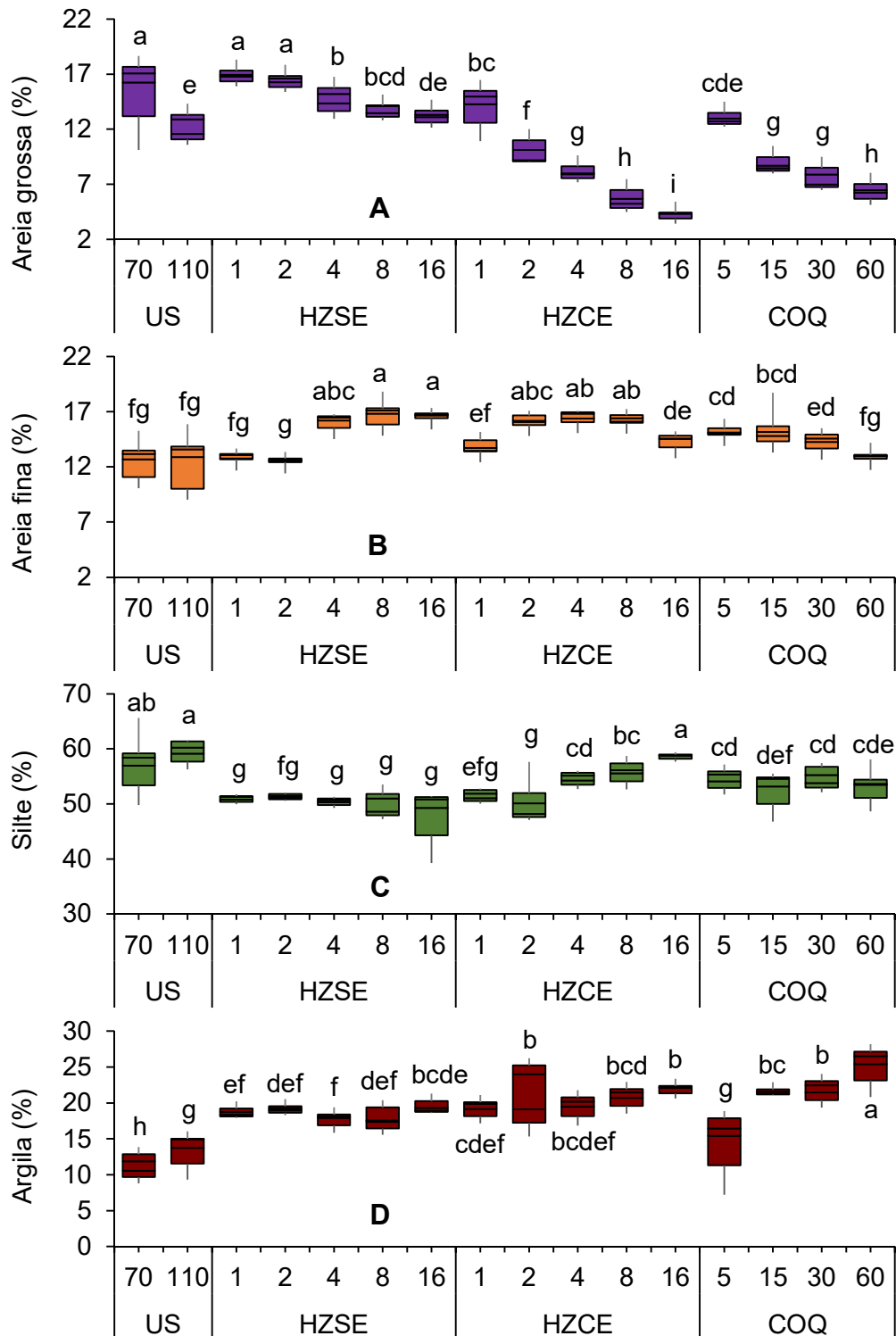
4.2 ALTERAÇÃO DA TEXTURA NA DISPERSÃO MECÂNICA

Houve alteração de todas as frações granulométricas (areia grossa, areia fina, silte e argila) pelas estratégias de agitação (Figura 7A, 7B, 7C, 7D). As maiores alterações ocorreram nas frações AG (Figura 7A) e argila (Figura 7D). A média de AG (Figura 7A) variou de 3,8% no HZCE com 16 h de agitação a 17% no HZSE com 1 h de agitação. A porcentagem média de argila (Figura 7D) variou de 9,6% na US com energia de 70 J mL^{-1} a 28% na COQ com 60 min de agitação. Nas frações AF (Figura 7B) e silte (Figura 7C), houve variação de 12 a 18% e 44 a 65%, respectivamente.

Tendo em vista que as frações AG e argila foram as que mostraram melhor as tendências de alteração e mais diferenças estatísticas causadas pelas estratégias de agitação, a interpretação e discussão dará mais ênfase à análise dessas duas frações. Visualmente percebe-se tendência de diminuição da AG (Figura 7A) e aumento da argila (Figura 7D) como aumento da energia de agitação no US e aumento do tempo de agitação no HZCE, HZSE e COQ. Ao se comparar as médias dentro de um mesmo método (US, HZCE, HZSE e COQ), verifica-se que houve diferença estatística entre uma ou mais comparações de cada método, tanto para a AG como para a argila.

Duas interpretações opostas podem ser feitas a partir desses resultados. A primeira é que estaria havendo fragmentação da AG com o aumento da energia de agitação no US e tempo de agitação nos demais métodos, e as partículas resultantes do desgaste da AG estariam aumentando o teor de argila. Esta explicação estaria coerente com a percepção de desgaste das partículas de AG relatada anteriormente (Figura 5). Contudo, uma segunda interpretação possível é que não estaria havendo fragmentação da AG, e o aumento da argila seria decorrente da melhoria na dispersão das partículas com o aumento da energia ou tempo de agitação. Com base na primeira interpretação, a recomendação seria diminuir energia e tempo de agitação, enquanto a segunda interpretação implicaria em aumentar a energia e o tempo de agitação. Além disso, os métodos US e HZSE seriam recomendados com base na primeira interpretação (fraturam menos a AG e produzem menos a argila), ao passo que os métodos HZCE seriam recomendados com base na segunda interpretação (dispersam mais a argila e superestimam menos a AG).

Figura 7 – Areia grossa (A), areia fina (B), silte (C) e argila (D) determinados com diferentes estratégias de dispersão mecânica.



US: agitação por sonificação a 70 e 110 JmL⁻¹; HZSE: agitação horizontal a 150 ciclos min.⁻¹ sem uso de esfera de nylon nos tempos de 1, 2, 4, 8, 16h; HZCE: agitação horizontal a 150 ciclos min.⁻¹ com uso de esferas de nylon nos tempos de 1, 2, 4, 8, 16h; COQ: agitação com uso da coqueteleira a 12000 rpm nos tempos de 5, 15, 30, 60 min.

Uma observação visual que auxilia na escolha da interpretação mais coerente é a coloração da água que passa pela peneira durante a lavagem da areia. Em todos os casos, a água que passava pela peneira ao final da etapa de lavagem das areias não tinha aspecto visual turvo. Portanto, não era possível perceber claramente que havia residual de partículas de silte e argila mal dispersas e que continuavam de despreendendo das partículas de areia ao final da lavagem da areia. Considerando que essa observação visual seja indicadora confiável de que houve suficiente remoção das partículas de argila e silte aderidas às partículas de areia em todos os casos, então a interpretação de que o aumento da energia e do tempo de agitação fracionam a AG e superestima a argila seria a mais plausível. Com base nisso, o método HZSE com uma ou duas horas de agitação seria o mais recomendado, sobretudo por preservar mais a AG (Figura 7A).

Com base ainda no uso da observação visual como indicador confiável de que houve suficiente remoção das partículas de argila e silte aderidas às partículas de areia em todos os casos, juntamente com a impressão visual de desgaste de partículas de areia grossa pelos métodos HZCE e COQ (Figura 6), é plausível considerar que o drástico decréscimo linear na média de AG com o aumento do tempo de agitação com HZCE (15% em 1 h para 4% em 16 h) e com COQ (14% em 5 min para 7% em 60 min) é resultante da fragmentação da areia.

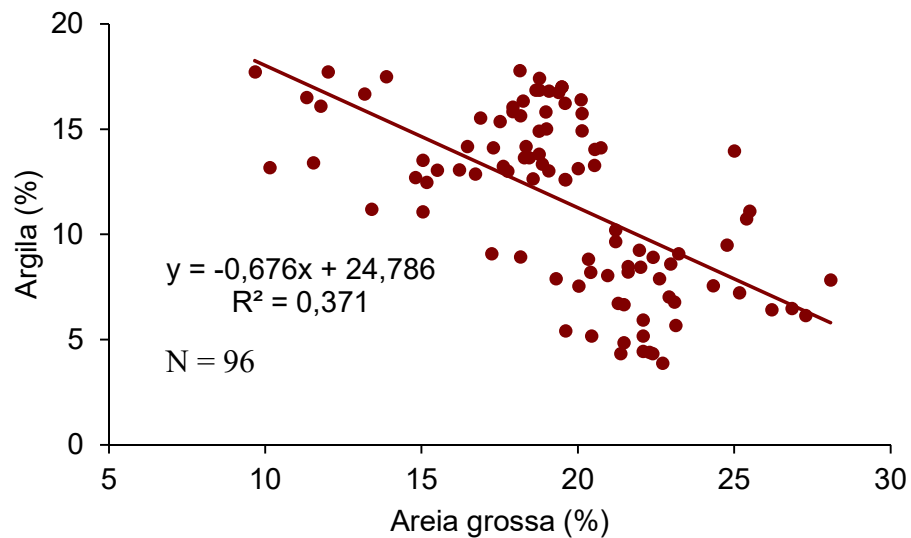
Geralmente, alterações na fração areia são pouco percebidas em estudos de dispersão de solos cuja fração areia é composta predominantemente por partículas de minerais cristalinos e com elevada dureza, como quartzo e magnetita, por exemplo. Em tais solos, o problema maior para a dispersão se refere à dificuldade de promover dispersão eficiente da fração argila (em Latossolos e Vertissolos, por exemplo), visto que a presença de agentes cimentantes como óxidos de ferro e alumínio nesses solos dificulta a dispersão (DONAGEMMA et al., 2003; FERREIRA et al., 1999; GROHMANN & RAIJ, 1977). Nesses casos, o aumento da energia ou tempo de dispersão geralmente é necessário para melhorar a dispersão da fração argila e silte (MIYAZAWA et al., 2011; MENEZES et al., 2010).

Contudo, a agitação com esferas de nylon pode fraturar até mesmo areias quartzosas a partir de 4 h de agitação (SUZUKI et al., 2015). Como as partículas de saprolito são mais porosas que partículas cristalinas como quartzo (GRAHAM et. al., 1994; PEDRON et. al., 2011; DEOBALD, 2017) elas são menos resistentes e mais sujeitas ao fraturamento ao desgaste. Por isso e pelo fato de que 33% da AG do

MNRV usado neste estudo era composta por saprólito (Tabela 1) há forte evidência de fraturamento de partículas como causa do drástico decréscimo da AG ocorrida nos métodos de dispersão HZCE e COQ (Figura 7A). Além disso, verifica-se que quando as esferas de nylon foram removidas (HZSE), o decréscimo da AG foi bem menos acentuado, e a quantidade de AG mesmo após 16 h de agitação continuou sendo maior que a quantidade de AG após 2 h de agitação com uso de esferas de nylon no método HZCE (Figura 7A). O aumento de 1 para 16 h de agitação sem esferas (HZSE) causou decréscimo de apenas 5,2% de AG, enquanto a agitação com esferas (HZCE) causou 11,9% de decréscimo de AG com o aumento de 1 para 16 h de agitação. Levando em conta esses resultados, juntamente com a observação visual de lavagem suficiente da areia (mencionada anteriormente), o método HZSE com uma ou duas horas de agitação seria o mais recomendado para separar com pouca alteração a AG do MNRV usado neste estudo.

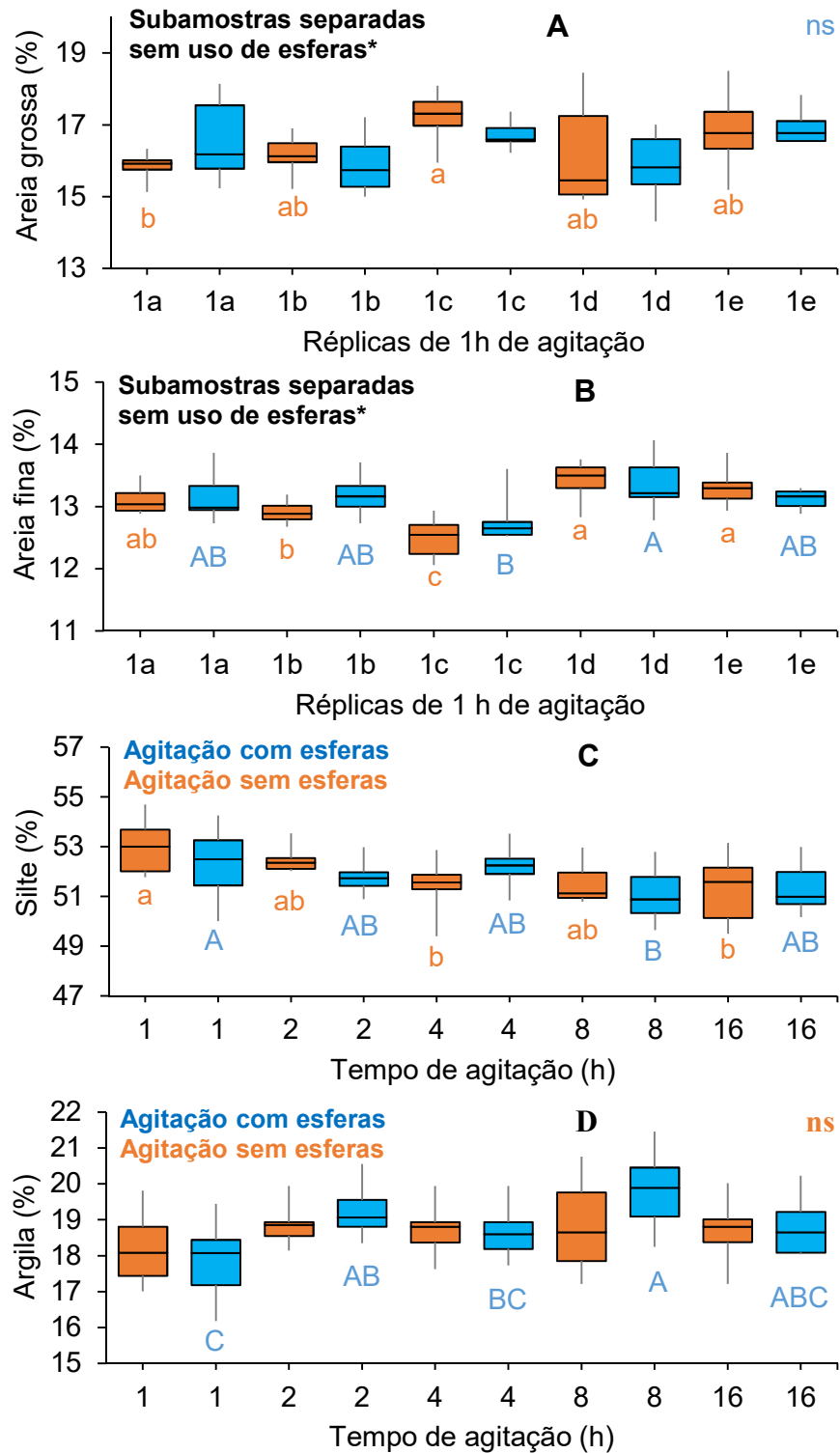
Em relação à argila também há incertezas nos resultados sumarizados na Figura 7D. A aparente clareza de que a taxa de aumento de argila está diretamente associada ao fracionamento da AG (Figura 8) precisa ser analisada com certa cautela. Parte das partículas produzidas pelo fracionamento e desgaste da AG podem ter se acumulado na fração AF e silte, nos casos em que houve aumento dessas frações. Houve aumento de AF com 4, 8 e 16 h de agitação no HZSE e com 2, 4 e 8 h de agitação no HZCE (Figura 7B). Também houve aumento no teor de silte com 4, 8 e 16 h de agitação no HZCE (Figura 7C). Se o incremento de AF e silte foi causado pelo acúmulo de partículas produzidas pelo fracionamento e desgaste da AG, então parcela pequena de partículas produzidas pelo fracionamento e desgaste da AG podem ter se acumulado na fração argila, e o incremento de argila com aumento do tempo de agitação pode ter sido decorrente, em grande parte, de melhoria na dispersão de argila e silte com o aumento do tempo de agitação.

Figura 8 – Correlação entre argila e areia grossa de todas as determinações.



A análise complementar de dispersão de silte e argila com e sem esferas no agitador horizontal, feita após remoção da areia (também no agitador horizontal, sem uso de esferas e com uma hora de agitação) mostrou que não houve associação consistente entre tempo de agitação de silte e argila (1 h até 16 h) e teor de silte (Figura 9C) e argila (Figura 9D). Considerando todos os tempos de agitação de silte mais argila, os teores mínimos e máximos de silte foram 49 e 55%, respectivamente, e os teores mínimos e máximos de argila foram 16 e 21%, respectivamente. A média de silte nos tempos de agitação variou apenas 2% (51 a 53%) e a média de argila variou apenas 1% (18 a 19%). E essas variações não foram enviesadas por variabilidade discrepantes na AG (Figura 9A) e AF (Figura 9B), pois os resultados mostram homogeneidade dessas frações nas subamostras. Ainda, os teores médios de argila entre 18 e 19% são semelhantes aos teores de argila quando a as areias foram lavadas após agitação por 2 h (19%), 4 h (18%), 8 h (18%) e 16 h (20%) no HZSE e por 2 h (20%) e 4 h (20%) no HZCE (Figura 7D). Portanto, para o MNRV usado neste estudo verifica-se que uma hora de agitação com ou sem esferas no agitador horizontal é tempo suficiente para dispersar quantidades de silte e argila semelhantes às que foram dispersadas com tempos de agitação de até 16 horas (Figura 9).

Figura 9 – Areia grossa (A) e areia fina (B) determinadas após agitação horizontal durante 1 h e sem esferas; silte e argila determinadas após agitação horizontal de até 16 h com e sem esferas.



*Subamostras de areia grossa e areia fina separadas sem uso de esferas, correspondentes às subamostras de silte e argila agitadas com esfera (cor azul) e sem esferas (cor laranja).

Tendo em vista que o incremento do tempo de agitação de silte e argila separados da areia não incrementou a quantidade de argila (Figura 9D), então o incremento de argila observado com o aumento do tempo de agitação no HZSE e HZCE quando todas as frações permaneciam juntas até o final da agitação deve ter sido decorrente do fracionamento e desgaste da fração areia. Esses fenômenos também devem ter sido responsáveis pela redução da AG e aumento de argila no US e na COQ (Figura 7A e 7D).

Com base na interpretação dos resultados deste estudo verifica-se que as estratégias de agitação mecânica alteram a quantidade de areia, silte e argila em Neossolos Litólicos e Regolíticos derivados de rocha vulcânica com presença de fragmentos de saprolito na terra fina. Para análise granulométrica de solos com composição mineralógica semelhante à do MNRV usado neste estudo, recomendamos o método HZSE com uma ou duas horas de agitação, visando minimizar a fragmentação da areia e possibilitando dispersão suficiente de silte e argila. Se o objetivo da análise for determinar apenas o teor de argila, outras opções poderiam ser usadas com alteração entre 2 a 4% no teor de argila, como os tempos de agitação de até 16 h no HZSE e HZCE e de 15 min na COQ. Contudo, dessas opções apenas a COQ traria vantagem operacional em termos de redução de tempo de agitação, enquanto as outras aumentariam o tempo de análise.

4.3 CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA DA FRAÇÃO AREIA

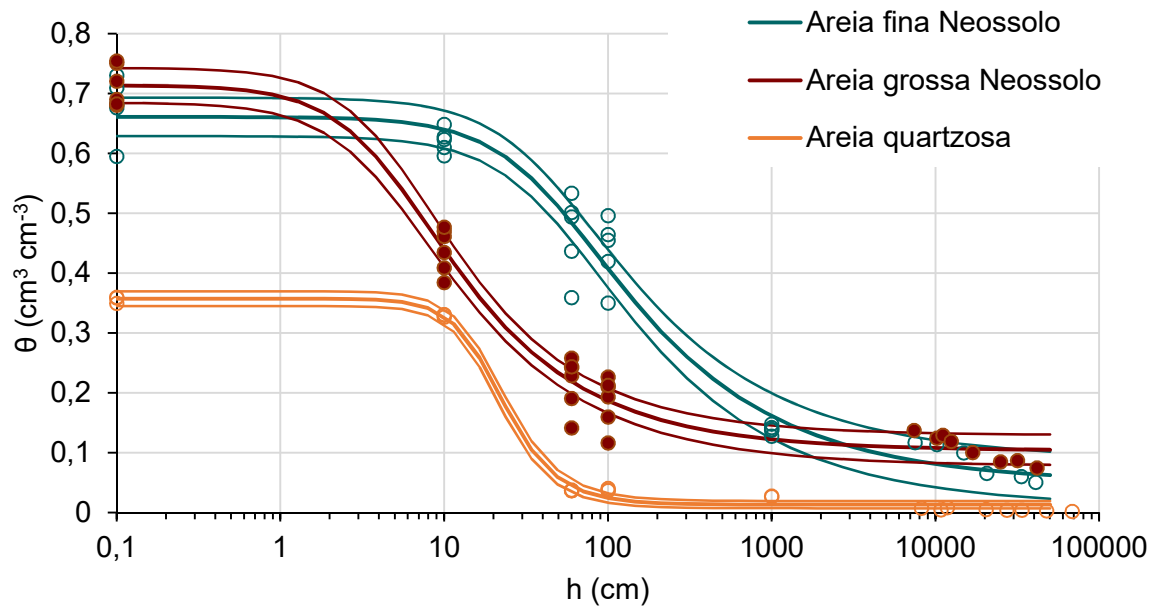
Em todo o domínio de tensão (h , cm) da curva de retenção de água, o conteúdo de água (θ , $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) foi menor na areia quartzosa (AQTZ) em relação a areia grossa (AG) e areia fina (AF) do MNRV (Figura 10). A densidade média das amostras foi 0,99, 1,14 e 1,70 g cm^{-3} , respectivamente para AG, AF e AQTZ.

No limite de saturação, o θ nas AG e AF (0,71 e 0,68 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, respectivamente) foi aproximadamente o dobro do θ na AQTZ (0,36 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$). Na tensão de 100 cm, usada para estimar capacidade de campo, o θ foi de 0,44 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ na AF e 0,25 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ na AG, sendo de cinco a nove vezes maior que o θ na AQTZ (0,04 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$). O maior θ na AF em relação a AG na tensão de 100 cm é atribuído à maior quantidade de poros de menor diâmetro resultantes do arranjo de partículas pequenas como as da fração AF em comparação às da fração AG (ARYA et al., 1981).

Na tensão de 15000 cm (ponto de murcha permanente) o θ foi de 0,08 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ na AF e 0,11 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ na AG, enquanto na AQTZ foi 0,01 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ (aproximadamente 10 vezes menor). Considerando água disponível (AD) como a diferença de θ entre as tensões de 100 e 15000 cm, a AD foi 0,080, 0,362 e 0,026 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ para AG, AF e AQTZ, respectivamente. A AD na AG foi o dobro da AD na AQTZ, e na AF foi 12 vezes maior em relação à AQTZ.

Em um banco de dados com 725 solos do Rio Grande do Sul, o maior valor médio de AD foi 0,191 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, em solos da classe argilo siltosa (REICHERT, et al., 2009). A AD na AF do MNRV (0,362 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) foi aproximadamente o dobro desse valor, e aproximadamente 42% dele na AG. Em outro estudo em 34 perfis de diferentes classes de solos cultivados do Sul do Brasil, Reichert et al. (2020) apresentam valores médios de AD de 0,155 g g^{-1} . Em termos de umidade gravimétrica, a AD na AF e AG do MNRV seria 0,081 e 0,318 g g^{-1} , respectivamente. Novamente percebe-se que a AD na AF do MNRV é maior que a AD de muitos solos. Isso significa que se o MNRV fosse constituído apenas de AG ou AF a AD nele seria igual ou maior que a de muitos solos com grande quantidade de silte e argila. Fica evidente que não há efeito negativo dessas areias do MNRV na AD. Pelo contrário, o efeito é positivo e expressivo.

Figura 10 – Curva de retenção de água das diferentes amostras da fração areia.



A maior retenção de água ocorrida nas frações AG e AF de MNRV pode ser explicada pela ocorrência de grande proporção de fragmentos porosos de saprolito e rocha, que juntos somam pelo menos 50% da fração areia (Tabela 1). Como estes fragmentos são constituídos pela mistura de minerais primários e secundários, acabam desenvolvendo maior microporosidade (GRAHAM et. al., 1994; PEDRON et. al., 2011; DEOBALD, 2017) devido a ocorrência de diferentes estágios de solubilização da rocha pelos processos pedogenéticos. Conforme Deobald (2017), ocorrem transformações mineralógicas nos fragmentos de rocha, mesmo nos primeiros estágios de alteração, que promovem o desenvolvimento de porosidade que contribui com a retenção de água, porém em menor magnitude comparada aos fragmentos de saprolito.

Importante frisar que curvas de retenção de água de amostras com estrutura preservada do solo de onde o MNRV foi coletado seriam diferentes das curvas determinadas para as frações AF e AG do MNRV. Entretanto, o que este estudo se propôs foi avaliar a contribuição individual das frações AG e AF para a retenção de água. Os resultados evidenciaram a presença de fragmentos de saprolito e de rocha em diferentes estágios de alteração na AG e AF contribuem positiva e significativamente para a retenção de água e retêm o dobro ou até doze vezes AD em relação a areia com predomínio de quartzo. O que se pode inferir coerentemente a partir desses resultados é que o aumento de areia cristalina diminui a retenção de

água e AD do solo, ao passo que o aumento de areia composta por fragmentos de saprolito semelhantes aos do MNRV usado neste estudo aumenta a retenção de água e AD no solo. Novos estudos podem investigar esta hipótese e trazer melhor entendimento sobre a retenção de água em Neossolos Litólicos e Regolíticos.

5. CONCLUSÃO

A maioria dos tempos de agitação mecânica usados na agitação horizontal com e sem esferas de nylon (1, 2, 4, 8 e 16 h) e na coqueteleira (5, 15, 30 e 60 min), e energia de 70 e 110 JmL⁻¹ usadas no ultrasson alteram as frações granulométricas de terra fina de Neossolo formado sobre rocha vulcânica e com presença de saprolito. As principais alterações foram o decréscimo da areia grossa por desgaste e fraturamento com conseqüente aumento de argila por deposição das partículas produzidas pelo desgaste e fraturamento da areia.

Para análise granulométrica de solos com composição mineralógica semelhante à da terra fina usada neste estudo, a agitação horizontal com uma ou duas horas e sem esferas de nylon é a estratégia mais recomendada para minimizar a fragmentação da areia e garantir dispersão suficiente de silte e argila.

A presença de saprolito na fração areia tem efeito positivo na retenção de água e na água disponível, ao contrário de areias com predomínio de quartzo e outros minerais pouco porosos.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, B.G.; DONAGEMMA, G.K.; RUIS, H.A.; BRAIDA, J.A.; VIANA, J.H.M.; REICHERT, J.M.M.; OLIVEIRA, L.B.; CEDDIA, M.B.; WADT, P.S.; FERNANDES, R.B.A.; PASSOS, R.R.; DECHEN, S.C.F.; KLEIN, V.A.; TEIXEIRA, W.G. Padronização de Métodos para Análise Granulométrica no Brasil. Rio de Janeiro; Embrapa, 2012. 11p. (Comunicado técnico, 66).

ARYA, L. M.; PARIS, J. F. Physicoempirical Model to Predict the Soil Moisture Characteristic from Particle-Size Distribution and Bulk Density Data. Soil Science Society of America Journal, v. 45, p. 1023–1030, 1981.

BORTOLINI, D. Estimativa da retenção e disponibilidade de água em solos de Santa Catarina. 2016. 190 f. Tese (Doutorado em Manejo do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, SC. 2016.

CALVERT, C. S.; BUOL, S. W.; WEED, S. B. Mineralogical characteristics and transformation of a vertical rock-saprolite-soil sequence in the North Caroline Piedmont: I. Profile morphology, chemical composition and mineralogy. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 44, p. 1096-1103, 1980a.

CARVALHO, M.A. Eficiência de dispersantes na análise textural de materiais de solos com horizonte B latossólico e B textural. Lavras, Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1985. 79p. (Tese de Mestrado).

CORÁ, J. E.; FERNANDES, C.; BERARDO, J. M. G.; MARCELO, A. V. Adição de areia para dispersão de solos na análise granulométrica. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.33, p.255-262, 2009.

CORREIA, J.R.; REATTO, A. & SPERA, S.T. Solos e suas relações com o uso e manejo. In: SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E. Cerrado: Correção do solo e adubação. 2.ed. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.29-62.

DEOBALD, G.A. Propriedades hídricas e mecânicas de Neossolos Regolíticos e saprolitos do planalto vulcânico no RS [Tese]. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria; 2017.

DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, P.; TEIXEIRA, W.G. (Org.). Manual de métodos de análise de solo. 3.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017. 574p. (Embrapa Solos. Revista ampliada)

DONAGEMMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B. de; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA, J.H.M. (Org.). Manual de métodos de análise de solo. 2.ed., rev.- Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p. (Embrapa Solos. Documentos, 132)

DONAGEMMA, G.K.; RUIZ, H.A.; FONTES, M.P.F.; KER, J.C. & SCHAEFER, C.E.G.R. Dispersão de Latossolos em resposta à utilização de pré-tratamentos na análise textural. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:765-772, 2003.

DRIESE, S. G. et al. Lithologic and pedogenic influences on porosity distribution and groundwater flow in fractured sedimentary saprolite: a new application of environmental sedimentology. *Journal of Sedimentary Research*, v. 71, p. 843-857, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Brasília, Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA- Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 1ª ed., Brasília: EMBRAPA, 1999. 412 p.

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, p.515-523, 1999.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C.A.; SILVA, Á.P. Least limiting water range and physical quality of soil under groundcover management systems in citrus. *Sci. Agric.*, 67:448-453, 2010b.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C.A.; ALVES, S.J.; AULER, P.A.M., 2013. Influência das frações de areia na retenção e disponibilidade de água em solos das formações Caiuá e Paranaíba. *Rev. Bras. Cienc. Solo* 37, 613–621. doi:<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000300007>.

GEE, G.W.; OR, D., 2002. Particle-size analysis. In: Dane, J.H., Topp, C. (Eds.), *Methods of soil analysis*, 5th ed. Part IV: Physical methods. Soil Science Society of America, Madison, pp. 255–293.

GENRICH, D.A.; BREMNER, J.M. A reevaluation of the ultrasonic vibration method of dispersing soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 36:944-947, 1972.

GRAHAM, R. C.; TICE, K. R.; GUERTAL, W. R. The pedologic nature of weathered rock. In: CREMEENS, D. L. et al. (eds.). *Whole redolith pedology*. Madison: Soil Science Society of America, p. 21-40, 1994. (Special Publication, n.34)

GROHMANN, F. & RAIJ, B.van. Dispersão mecânica e prétratamento para análise granulométrica de Latossolos argilosos. *R. Bras. Ci. Solo*, 1:52-53, 1977.

GROHMAN, F.; RAIJ, B.van. Influência dos métodos de agitação na dispersão da argila do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 14., Santa Maria, 1973. *Anais...* Santa Maria, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1974. p.123-132.

GUBIANI, P.I.; REICHERT, J.M.; CAMPBELL, C.; REINERT, D.J.; SOMAVILLA G. N. Assessing Errors and Accuracy in Dew-Point Potentiometer and Pressure Plate

Extractor Measurements. *Soil Sci Soc Am J.* 2012; 77:19-24. doi:10.2136/sssaj2012.0024

GUERRA, A. R. Saprolitos na região Sudeste do Brasil: morfologia, classificação e evolução física-geoquímica-mineralógica. 2015. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015. doi:10.11606/T.11.2015.tde-13042015-095939. Acesso em: 2020-10-22.

HILLEL, D. Particle size and specific surface. In: Hillel, D. (Ed.), *Environmental soil physics*. Academic Press, London, pp. 59–74. 1998.

KILMER, J. R.; ALEXANDRE, L. T. Methods of making mechanical analysis of soil. *Soil Science*, v.68, p.15-24, 1949.

KLEIN, V. A. Física do solo. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2008. 212p.

KLEIN, V.A. Física do Solo. 2º.ed. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2012. 240 p.

KLUTE A. Water retention: laboratory methods. In: BLACK, C.A., ed. *Methods of soil analysis. I. Physical and mineralogical methods*. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. p. 635-662.

LIBARDI, P. L. Água no solo. In: JONG van LIER, Q. (Ed). *Física do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. cap. III, p. 103-152.

LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. Solos sob cerrado: manejo da fertilidade para a produção agropecuária. São Paulo, ANDA, 1992. 49p.

MACHADO, S. R. V. Caracterização química, física e mineralógica de saprolitos do estado de São Paulo e suas implicações na taxonomia e uso agrícola. 1997. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - UNICAMP, Campinas, 1997.

MACHADO, J.L.; TORMENA, C.A.; FIDALSKI, J.; SCAPIM, C.A. Inter-relações entre as propriedades físicas e os coeficientes da curva de retenção de água de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:495-502, 2008.

MBAGWU, J.S.C.; SCHWERTMANN, U., 2006. Some factors affecting clay dispersion and aggregate stability in selected soils of Nigeria. *Int. Agrophys.* 20, 23–30.

MENEZES, M. M. M.; VIANA, J. H. M.; COSTA, A. M. DA; GONTIJO NETO, M. M.; CHAGAS, P. G. Avaliação da composição granulométrica de diferentes solos do Cerrado submetidos a diferentes tempos de agitação. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA PIBIC/BIC JÚNIOR, 1, 2010, Sete Lagoas. [Trabalhos apresentados]. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 1 CD-ROM. URL: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/29553/1/Avaliacao-composicao-granulometrica.pdf>

MIYAZAWA, M.; BARBOSA, G.M.C. de. Efeitos da agitação mecânica e matéria orgânica na análise granulométrica do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, PB, v.15, n.7, p.680-685, 2011.

MORENO, J. A. Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, 42 p. 1961.

O'BRIEN, E. L.; BUOL, S. W. Physical transformations in a vertical soil-saprolite sequence. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 48, p. 354-357, 1984.

OLIVEIRA, J. B. *Pedologia Aplicada*. Jaboticabal: FUNEP, 2001. 414 p.

OLIVEIRA, L.B.; RIBEIRO, M.R.; JACOMINE, P.K.T.; RODRIGUES, J.J.V.; MARQUES, F.A. Funções de pedotransferência para predição da umidade retida a potenciais específicos em solos do Estado de Pernambuco. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:315-326, 2002.

PEDRON, F.A.; AZEVEDO, A.C.; DALMOLIN, R.S.D.; STÜRMER, S.L.K. & MENEZES, F.P. Morfologia e classificação taxonômica de Neossolos e saprolitos derivados de rochas vulcânicas da formação Serra Geral no Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:119-128, 2009.

PEDRON, F.A.; FINK, J.R.; RODRIGUES, M.F; AZEVEDO, A.C. Condutividade e retenção de água em Neossolos e saprolito derivados de arenito. *R. Bras. Ci. Solo*. 2011; 35:1253-1262, <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000400018>

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. *Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações*. Barueri: Manole, 2004. 478p.

REICHERT, J. M.; ALBUQUERQUE, J.A.; KAISER, D. R.; REINERT, D.J.; URACH, F.L.; CARLESSO, R. Estimation of water retention and availability in soils of Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 33, n. 6, p. 1547-1560, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000600004>

REICHERT, J. M.; ALBUQUERQUE, J.A.; PERAZA, J.E.S., COSTA, A., Estimating water retention and availability in cultivated soil of southern Brazil. *Geoderma*, v.21, e. 277. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00277>

REINERT, D. J.; REICHERT J.M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo – protótipos e teste. *Cienc. Rural*. 2006; 36:1931-1935. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782006000600044>.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. *Pedologia: base para distinção de ambientes*. Viçosa, MG, NEPUT, 1999. 304p.

SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A. de; ARAUJO Filho, J.C. de; OLIVEIRA, J.B. de; C., 2018. *Sistema brasileiro de classificação de solos*, Embrapa Solos.

SANTOS, R.D. dos; SANTOS, H.G. dos; KER, J. C; ANJOS, L.H.C.; SHIMIZU, S.H. *Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo*. 7^a ed. rev. *Sistema brasileiro de classificação de solos*, Embrapa Solos. 2015.

- SAS INSTITUTE. SAS/STAT procedure guide for personal computers. 5. ed. Cary, 1999.
- SILVA, A.P.; TORMENA, C.A.; FIDALSKY, J.; IMHOFF, S. Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração. R. Bras. Ci. Solo, 23:1-10, 2008.
- SILVA, L.M.; MARTS, R.A.; WADT, P.G.S.; VIANA, H.M.; DONAGEMMA, G.K. Dispersantes químicos e tipos de agitação mecânica na determinação das frações granulométricas de solos do estado do Acre. In: II reunião de Ciência do solo da Amazônia Ocidental. Porto Velho, RO, 2014.
- SILVA, J.H.S.; DEENIKA, J.L.; YOST, R.S.; BRULAND, G.L.; CROW, S.E. Improving clay content measurement in oxidic and volcanic soils of Hawaii by increasing dispersant concentration and ultra sonic energy levels. Geoderma, 211–223. 2015.
- SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E.; REIN, T.A. Uso de gesso agrícola nos solos dos cerrados. Planaltina, Embrapa- CPAC, 1995. p.20. (Circular Técnica, 32).
- SUZUKI, L.E.A.S.; REICHERT, J.M.; ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT D.J.; KAISER D.R. Dispersão e floculação de Vertissolos, Alfissolos e Latossolos no Sul do Brasil. Geoderma Regional. 2015; 5: 64-70. doi: 10.1016 / j.geodrs.2015.03.005
- STERNBERG, P.D.; ANDERSON, M.A.; GRAHAM, R.C.; BEYERS, J.L. & TICE, K.R. Root distribution and seasonal water status in weathered granitic bedrock under chaparral. Geoderma, 72:89-98, 1996.
- STRECK, E. V. et al. Solos do Rio Grande do Sul. 3º. ed., Porto Alegre: EMATER/RSASCAR, 2018. 252 p.
- TAVARES FILHO, J.; MAGALHÃES, F.S. 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, v.32, p.1429-1435, 2008.
- VAN GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for prediction the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci Soc Am J. 1980. 44:892-898. doi:10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x
- VAZ, C.M.P.; NAIME, J.M. & MACEDO, A. Análise da textura de solos por atenuação de raios gama. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA, v.1, São Carlos, 1997. Anais. São Carlos, Embrapa/ CNPEDIA, 1997. p.515-518.
- VIANA, J.H.M.; SILVA, C.S.; WILDA, L.R.M. Avaliação da fragmentação da fração areia na análise granulométrica: resultados preliminares. In: XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Fortaleza, CE, 2009.
- VITORINO, A. C.T.; FERREIRA, M.M.; OLIVEIRA, G.C.; DIAS JÚNIOR, M.S.; SÁ, M.A.C.; LIMA, J.M.; CURI, N. Níveis de energia ultra-sônica dispersão de argila em solos da região de Lavras (MG). Ciência e Agrotecnologia, Lavras, V.25, n. 6, p 1330-1336, 2001.

ANEXO A

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL: Perfil vulcânico 1.

DATA: 11/04/2019.

CLASSIFICAÇÃO: Neossolo Regolítico, textura média, Franco Siltoso relevo suave ondulado, substrato vulcânico.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: Charrua.

LOCALIZAÇÃO: Propriedade do Sr. Gubiani, Ivorá, RS. Coordenadas J22 – 245417/6733009.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA SOBRE O PERFIL: Descrito e coletado em trincheira escavada em topo de morro, com variação de declividade de 3 - 8 %, sob lavoura de soja.

ALTITUDE: 477 m.

LITOLOGIA: Rocha vulcânica.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Formação Serra Geral.

CRONOLOGIA: Vulcanismo do Cretáceo.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Riolito/riodacito.

PEDREGOSIDADE: Pedregosa a muito pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL: Ondulado a escarpado.

EROSÃO: Laminar ligeira.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta estacional semidecidual.

USO ATUAL: Cultivo anual de soja.

CLIMA: Cfa, da classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR: Fabrício de A. Pedron.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A/Cr 0 – 12 cm, (10YR 3/3 úmido); classe textural Franco Siltoso; moderada, pequena a muito pequena, blocos angulares e subangulares e granular; friável a firme, ligeiramente plástica a plástica e ligeiramente pegajosa a pegajosa; poros muito pequenos, muitos; transição irregular e abrupta.

Cr/A 12 – 33 cm, (10YR 4/4 úmido); forte, grande, maciça (estrutura da rocha); extremamente firme; transição irregular e abrupta.

Cr 33 – 60 cm+, (10YR 6/2 úmido); forte, grande, maciça (estrutura da rocha); extremamente firme.

RCr 60 – 70 cm+, (10YR 6/2,5 úmido); forte, grande, maciça (estrutura da rocha); extremamente firme.

RAÍZES: Herbáceas, muitas no A/Cr, comuns no Cr/R e raras no RCr.

OBSERVAÇÕES: O horizonte A/Cr apresenta 25% de fragmentos de saprolitos (de 0,5 a 2 cm). O horizonte Cr/A apresenta 60% de fragmentos de saprolitos de 5 a 10 cm, facilmente cortados com a pá. As fraturas são abundantes no sentido vertical e horizontal, distantes aproximadamente 10 cm, com espessura de até 1,5 cm, preenchidas com solo e raízes. O horizonte Cr A apresenta fragmentos de saprolitos de 5 a 20 cm, facilmente cortados com a pá. As fraturas são abundantes no sentido vertical e horizontal, distantes aproximadamente 5 a 20 cm, com espessura de até 1 a 5 mm, preenchidas com solo e raízes. A camada RCr apresenta fragmentos de 10 a 20 cm, não cortados pela pá e picareta, mas que eventualmente quebram com o impacto. A coloração dos fragmentos é semelhante ao horizonte Cr. As fraturas diminuem em volume no RCr, com 1mm de espessura.

ANEXO B

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL: Perfil vulcânico 2.

DATA: 11/04/2019.

CLASSIFICAÇÃO: Neossolo Litólico, textura media, relevo suave ondulado, substrato vulcânico.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: Charrua.

LOCALIZAÇÃO: Propriedade do Sr. Gubiani, Ivorá, RS. Coordenadas J22 – 245429/6733048.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA SOBRE O PERFIL: Descrito e coletado em trincheira escavada em topo de morro, com variação de declividade de 3 - 8 %, sob lavoura de soja.

ALTITUDE: 477 m.

LITOLOGIA: Rocha vulcânica.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Formação Serra Geral.

CRONOLOGIA: Vulcanismo do Cretáceo.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Riolito/riodacito.

PEDREGOSIDADE: Pedregosa a muito pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL: Ondulado a escarpado.

EROSÃO: Laminar ligeira.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta estacional semidecidual.

USO ATUAL: Cultivo anual de soja.

CLIMA: Cfa, da classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR: Fabrício de A. Pedron.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A/Cr 0 – 15 cm, (10YR 3/2,5 úmido); classe textural Franco Siltoso; moderada, pequena a muito pequena, blocos angulares e subangulares e granular; friável a firme, ligeiramente plástica a plástica e ligeiramente pegajosa a pegajosa; poros muito pequenos, muitos; transição irregular e abrupta.

R/Cr 15 – 30 cm, (10YR 6/1 úmido); forte, grande, maciça (estrutura da rocha); extremamente firme; transição irregular e abrupta.

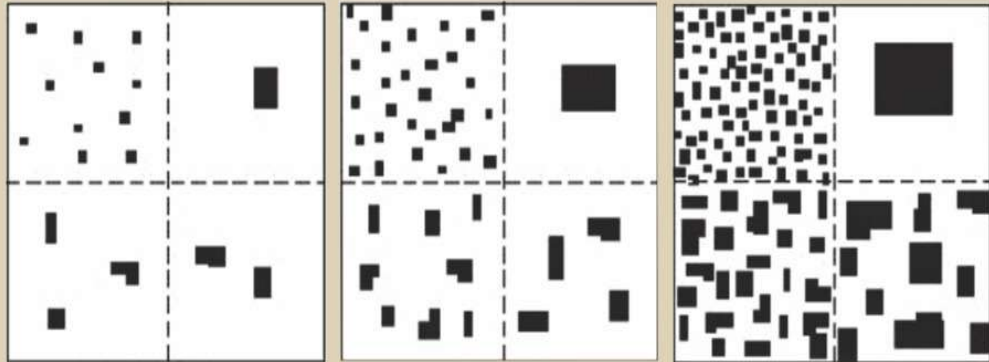
R 30 – 40 cm+, (10YR 5,5/1 úmido); forte, grande, maciça (estrutura da rocha); extremamente firme.

RAÍZES: Herbáceas, muitas no A/Cr, comuns no R/Cr e poucas a raras no R.

OBSERVAÇÕES: O horizonte A/Cr apresenta 15 a 20% de fragmentos de saprolitos (de 0,2 a 3 cm). A camada R/Cr apresenta blocos com 10 cm, somente parte corta facilmente com a pá. As fraturas são abundantes no sentido vertical e horizontal, distantes aproximadamente 10 cm, com espessura de até 1 cm, preenchidas com solo e raízes. A camada R apresenta fragmentos de 10 a 30 cm, não cortados pela pá e picareta. Predomina faturamento horizontal nesta camada. A coloração dos fragmentos é semelhante ao horizonte superior. As fraturas apresentam espaçamento de 10 cm vertical e 20^a 30 cm horizontal, com espessura de até 1 cm, preenchidas com solo e raízes.

ANEXO C

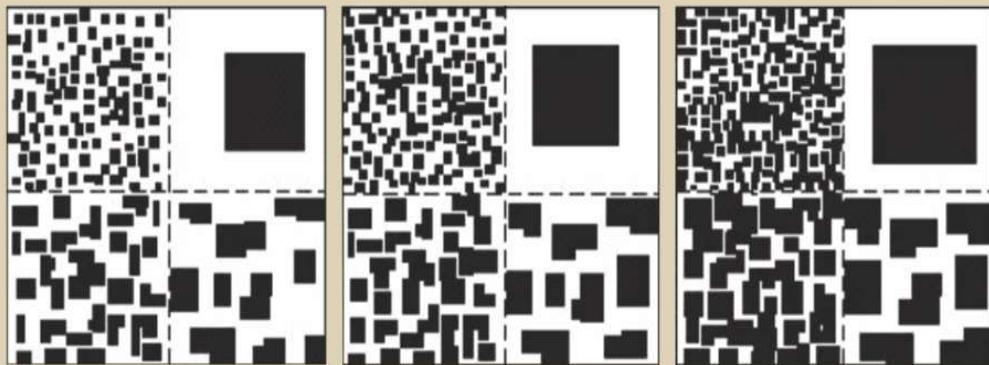
Ficha de identificação de área



2%

5%

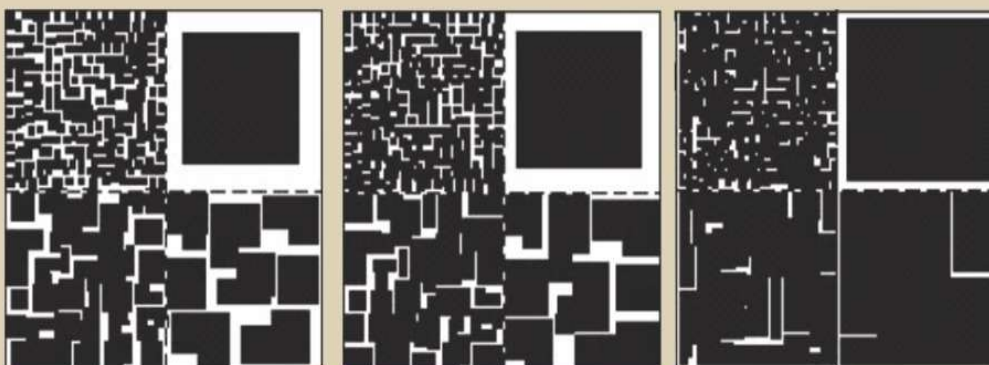
15%



20%

25%

35%



50%

60%

90%