

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**

**ALISON JOSÉ DA SILVA**

**ÍNDICES DE AGREGAÇÃO DE SOLOS: INFLUÊNCIA DA FRAÇÃO  
AREIA**

**RECIFE**

**2022**

Alison José da Silva  
Engenheiro Agrônomo

**Índices de agregação de solos: influência da fração areia**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Brivaldo Gomes de Almeida

Coorientadores:  
Prof. Dr. Ademir de Oliveira Ferreira  
Prof. Dr. Jaedson Cláudio Anunciato Mota

**Recife  
2022**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S586

Silva, Alison José da

Índices de agregação de solos: influência da fração areia / Alison José da Silva. - 2022.  
64 f. : il.

Orientador: Brivaldo Gomes de Almeida.  
Coorientador: Ademir de Oliveira Ferreira.  
Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Recife, 2022.

1. Estabilidade de agregados. 2. Matéria orgânica. 3. Frações grosserias. I. Almeida, Brivaldo Gomes de, orient. II. Ferreira, Ademir de Oliveira, coorient. III. Título

CDD 631.4

---

ALISON JOSÉ DA SILVA

**Índices de agregação de solos: influência da fração areia**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Aprovada em 25 de fevereiro de 2022

---

Prof. Dr. Brivaldo Gomes de Almeida  
Orientador  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Bruno Campos Mantovanelli  
Universidade Federal do Acre

---

Dra. Monaliza Alves dos Santos  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus que, em todos os momentos, permitiu que eu cumprisse esta etapa.

À minha família, nas pessoas dos mais pais, tios e irmãos, que estavam presentes, sempre que precisei.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Brivaldo Gomes de Almeida, pelos conselhos, dedicação e paciência.

Aos meus coorientadores Prof. Dr. Ademir de Oliveira Ferreira e Prof. Dr. Jaedson Cláudio Anunciato Mota, por todo auxílio e conhecimento compartilhado.

Aos membros da banca avaliadora, Prof. Dr. Bruno Campos Mantovanelli e Dra. Monaliza Alves dos Santos, pelas suas importantes contribuições ao documento final.

Aos os amigos Danilo, Eudes, Natália, Paulo, Renato, Talmo e Vinícius, que estiveram por perto, apesar dos tempos de distanciamento, e que contribuíram em cada parte do processo.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do solo, pelo espaço e estrutura para realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

## Índices de agregação de solos: influência da fração areia

### RESUMO

A estruturação do solo refere-se ao arranjo de suas partículas minerais que formam pequenas estruturas (agregados), geradas a partir de uma complexa interação entre os agentes físicos, químicos e biológicos. A condição estrutural do solo tem sido quantificada por meio do tamanho e estado dos agregados, por intermédio dos índices de agregação; parâmetros calculados a partir de dados gerados em ensaios que medem a capacidade do agregado em resistir à energia de ruptura aplicada. Nos cálculos desses parâmetros, ainda não há um consenso sobre a contribuição da fração areia nos índices de agregação, bem como se ela deve ser descontada nos cálculos, em função da participação dessas partículas no processo de agregação do solo. Desse modo, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a contribuição da fração grosseira (cascalho + areia) nos índices de agregação do solo. Para isso foi selecionada uma área cultivada com cana-de-açúcar na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina. Amostras com estrutura preservada foram coletadas para os ensaios de estabilidade de agregados; e parte destas, convertida à terra fina seca ao ar, foi destinada aos ensaios físicos e químicos de caracterização do solo. Os ensaios de estabilidade de agregados foram executados pelas vias seca e úmida e, ao final do processo, realizou-se a dispersão dos agregados para separação da fração areia e cascalho. Os cálculos dos índices de agregação, diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e estabilidade de agregados (IEA1 e IEA2), foram realizados com e sem a massa da fração grosseira dos agregados para fins de comparação. O solo avaliado, apesar da textura franco arenosa, apresentou boa agregação e estabilidade, de forma que a remoção da fração areia promoveu pequenas alterações, e não significativas, nos índices DMP, DMG e IEA1; porém no IEA2 houve diferença significativa. Assim, as correções das partículas grosseiras não promoveram alterações coerentes nas correlações entre os índices de agregação e os atributos de caracterização do solo, reforçando que, nas condições desse estudo, não se recomenda tais correções.

Palavras-chave: Estabilidade de agregados. Matéria orgânica. Frações grosserias.

## **Soil aggregation indices: influence of the sand fraction**

### **ABSTRACT**

Soil structuring refers to the arrangement of its mineral particles that form small structures (aggregates), generated from a complex interaction between physical, chemical and biological agents. The soil structural condition has been quantified through the size and state of the aggregates, through the aggregation indices; parameters calculated from data generated in tests that measure the aggregate ability to resist the applied rupture energy. In the calculations of these parameters, there is still no consensus on the contribution of the sand fraction to the aggregation indices, as well as whether it should be discounted in the calculations, depending on these particles' participation in the soil aggregation process. Thus, the objective of this research was to evaluate the contribution of the coarse fraction (gravel + sand) in the soil aggregation indices. For this, an area cultivated with sugarcane was selected at the Carpina Sugarcane Experimental Station. Soil samples with preserved structure were collected for aggregate stability analysis; and part of these, converted to air-dried fine earth, were destined to the soil physical and chemical characterization. Aggregate stability analysis was carried out by the dry and wet methods, and, at the end of the process, the aggregates were dispersed to separate the sand and gravel fraction. The calculations of aggregation indices, weighted mean diameter (WMD), geometric mean diameter (GMD) and aggregate stability (AS%1 and AS%2), were performed with and without the coarse fraction mass of the aggregates to comparing each other. The evaluated soil, despite its sandy loam texture, showed good aggregation and stability, so that the removal of the sand fraction promoted small and non-significant changes in the WMD, GMD and AS%1 indices; however, in AS%2 there was significant difference. Thus, the coarse particle corrections did not promote coherent changes in the correlations between the aggregation indices and the soil characterization attributes, reinforcing that, under the conditions of this study, such corrections are not recommended.

Keywords: Aggregate stability. Organic matter. Coarse fraction.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1-</b> Localização do município de Carpina-PE e do local de coleta dentro do município. .....	21
<b>Figura 2-</b> Croqui demonstrando a disposição dos pontos de coleta. ....	22
<b>Figura 3-</b> Vista do talhão na sua borda (A) e na entrelinha (B). ....	23
<b>Figura 4-</b> Visão lateral da trincheira usada na coleta (A); remoção das amostras durante a coleta (B); amostras já embaladas e devidamente identificadas (C). ....	23
<b>Figura 5-</b> Equipamentos utilizados para os ensaios da distribuição dos tamanhos de agregados do solo: A) agitador eletromagnético de peneiras para tamisação a seco; B) mesa para peneiramento por via úmida, tipo Yoder. ....	27
<b>Figura 6-</b> Proporção de agregados dos solos em cada classe na profundidade de 0 a 15 cm, com e sem as frações grosseiras. A) agregados via úmida; B) agregados via seca. ....	33
<b>Figura 7-</b> Proporção de agregados de solo em cada classe na profundidade de 15 a 30 cm, com e sem as frações grosseiras. A) agregados via úmida; B) agregados via seca. ....	34
<b>Figura 8-</b> Teor das frações grosseiras em cada classe de agregado da camada de 0 a 15 cm. A) Via úmida; B) Via seca. ....	35
<b>Figura 9-</b> Teor das frações grosseiras em cada classe de agregado da camada de 15 a 30 cm. A) Via úmida; B) Via seca. ....	36



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1-</b> Atributos físicos utilizados para a caracterização das amostras do Argissolo da área em estudo, sob cultivo de cana-de-açúcar.....	25
<b>Tabela 2-</b> Atributos químicos utilizados para a caracterização das amostras do Argissolo da área em estudo, sob cultivo de cana-de-açúcar. ....	26
<b>Tabela 3-</b> Massa dos agregados nas diferentes classes para as profundidades avaliadas, com e sem as frações grosseiras. ....	29
<b>Tabela 4-</b> Diâmetro médio equivalente dos agregados ( $X_i$ ) e sua respectiva classe de tamanho.....	30
<b>Tabela 5</b> - Diâmetro médio ponderado de agregados dos solos na profundidade de 0 a 15 cm, com e sem as frações grosseiras.....	37
<b>Tabela 6</b> - Diâmetro médio ponderado de agregados dos solos na profundidade de 15 a 30 cm, com e sem as frações grosseiras.....	37
<b>Tabela 7</b> - Diâmetro médio ponderado de agregados dos solos na profundidade de 0 a 15 cm, com e sem as frações grosseiras.....	39
<b>Tabela 8</b> - Diâmetro médio ponderado de agregados dos solos na profundidade de 15 a 30 cm, com e sem as frações grosseiras.....	39
<b>Tabela 9</b> - Índice de estabilidade de agregados (IEA1) considerando os ensaios via úmida e seca, com e sem as frações grosseiras.....	41
<b>Tabela 10</b> - Índice de estabilidade de agregados (IEA2), considerando apenas os dados via úmida, com e sem as frações grosseiras.....	41
<b>Tabela 11</b> - Índice de sensibilidade (IS) comparando o diâmetro médio ponderado via úmida (DMPu) com e sem as frações grosseiras. ....	42
<b>Tabela 12</b> - Índice de sensibilidade (IS) comparando o diâmetro médio ponderado via seca (DMPs) com e sem as frações grosseiras.....	43
<b>Tabela 13</b> - Índice de sensibilidade (IS) comparando o diâmetro médio geométrico via úmida (DMGu), com e sem as frações grosseiras.....	44
<b>Tabela 14</b> - Índice de sensibilidade (IS) comparando o diâmetro médio geométrico via seca (DMGs) com e sem as frações grosseiras. ....	44
<b>Tabela 15</b> - Índice de sensibilidade (IS) para o índice de estabilidade de agregados (IEA1) considerando os ensaios via úmida e seca, calculado com e sem as frações grosseiras. ....	45
<b>Tabela 16</b> - Índice de sensibilidade (IS) para o índice de estabilidade de agregados (IEA2) considerando apenas os ensaios via úmida, calculado com e sem as frações grosseiras.....	45

<b>Tabela 17</b> - Coeficientes de correlação de Pearson entre os parâmetros de caracterização do solo e o diâmetro médio ponderado via úmida (DMPu), na camada de 0 a 15 cm, com e sem as frações grosseiras. ....	46
<b>Tabela 18</b> - Coeficientes de correlação de Pearson entre os parâmetros de caracterização do solo e o diâmetro médio geométrico via úmida (DMGu), na camada de 0 a 15 cm, com e sem as frações grosseiras. ....	47
<b>Tabela 19</b> - Coeficientes de correlação de Pearson entre os parâmetros de caracterização do solo e o diâmetro médio ponderado via úmida (DMPu), na camada de 15 a 30 cm, com e sem as frações grosseiras. ....	48
<b>Tabela 20</b> - Coeficientes de correlação de Pearson entre os parâmetros de caracterização e o diâmetro médio geométrico via úmida (DMGu), na camada de 15 a 30 cm, com e sem as frações grosseiras.....	49
<b>Tabela 21</b> - Coeficientes de correlação de Pearson entre os parâmetros de caracterização e o índice de estabilidade de agregados (IEA1) considerando os ensaios via úmida e seca, na camada de 0 a 15 cm, com e sem as frações grosseiras.....	50
<b>Tabela 22</b> - Coeficientes de correlação de Pearson entre os parâmetros de caracterização e o índice de estabilidade de agregados (IEA1) considerando os ensaios via úmida e seca, na camada de 15 a 30 cm, com e sem as frações grosseiras. ....	50
<b>Tabela 23</b> - Coeficientes de correlação de Pearson entre os parâmetros de caracterização e o índice de estabilidade de agregados (IEA2) considerando apenas os ensaios via úmida, na camada de 0 a 15 cm, com e sem as frações grosseiras.....	51
<b>Tabela 24</b> - Coeficientes de correlação de Pearson entre os parâmetros de caracterização e o índice de estabilidade de agregados (IEA2) considerando apenas os ensaios via úmida, na camada de 15 a 30 cm, com e sem as frações grosseiras. ....	52
<b>Tabela 25</b> - Coeficientes de correlação de Pearson entre os parâmetros de caracterização do solo e o diâmetro médio ponderado via seca (DMPs), na camada de 0 a 15 cm, com e sem as frações grosseiras.....	53
<b>Tabela 26</b> - Coeficientes de correlação de Pearson entre os parâmetros de caracterização do solo e o diâmetro médio geométrico via seca (DMGs), na camada de 0 a 15 cm, com e sem as frações grosseiras.....	53
<b>Tabela 27</b> - Coeficientes de correlação de Pearson entre os parâmetros de caracterização do solo e o diâmetro médio ponderado via seca (DMPs), na camada de 15 a 30 cm, com e sem as frações grosseiras.....	54

<b>Tabela 28</b> - Coeficiente de correlação de Pearson entre os parâmetros de caracterização do solo e o diâmetro médio geométrico via seca (DMGs), na camada de 15 a 30 cm, com e sem as frações grosseiras.....	55
--	----

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Hipóteses .....	14
1.2 Objetivos.....	14
1.2.1 Objetivo Geral .....	14
1.2.2 Objetivos Específicos .....	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	15
2.1 Qualidade estrutural do solo .....	15
2.2 Agregados de solo .....	16
2.3 Índices de agregação.....	17
2.4 Fração areia nos agregados.....	19
2.5 Índice de sensibilidade.....	20
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1 Descrição da área.....	21
3.2 Coleta das amostras de solo e pré-tratamentos para os ensaios.....	22
3.3 Atributos físicos e químicos para caracterização dos solos.....	24
3.4 Índices de agregação do solo .....	26
3.4.1 Diâmetro médio ponderado (DMP).....	30
3.4.2 Diâmetro médio geométrico (DMG) .....	30
3.4.3 Índice de estabilidade dos agregados (IEA) .....	31
3.4.4 Índice de sensibilidade (IS) .....	31
3.5 Análise estatística .....	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	33
4.1 Distribuição das classes de agregados .....	33
4.2 Percentual de frações grosseiras nas classes de agregados.....	34
4.3 Diâmetro médio ponderado (DMP).....	36
4.4 Diâmetro médio geométrico (DMG) .....	38

4.5 Índices de estabilidade de agregados (IEA).....	40
4.6 Índice de sensibilidade (IS).....	42
4.7 Coeficiente de correlação de Pearson .....	45
5 CONCLUSÕES .....	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57

## 1 INTRODUÇÃO

A estrutura do solo é um importante atributo devido a sua influência na dinâmica da água e do ar e no desenvolvimento vegetal, mas por ser um atributo complexo normalmente não é avaliada diretamente, mas sim por meio de indicadores que estejam a ela relacionados.

Para tanto, uma das abordagens mais aplicadas é a distribuição dos agregados com base em seu diâmetro equivalente, onde normalmente são quantificadas as suas dimensões, agrupando-os em classes de tamanhos, que indicarão a resposta da estrutura do solo após a aplicação de alguma força de ruptura.

A maior parte dos estudos envolvendo agregados de solos avaliam a interferência do uso e manejo do solo na sua qualidade estrutural, que está associada à biota do solo, matéria orgânica e fração argila, devido a sua atuação como agentes cimentantes, podendo serem impactados por tais processos. No entanto, há fatores que ainda não se têm um pleno consenso sobre suas influências no processo de avaliação da agregação de solos, a exemplo da ação da fração areia nos ensaios de estabilidade dos agregados.

Devido a forma usada para separar os agregados em classes de tamanho, utilizando conjuntos de peneiras com diferentes malhas, os grãos de areia individuais podem ser contabilizados como agregados de solo, uma vez que há diâmetros em comum entre a fração areia e os agregados; efeito conhecido como “areia solta”. A forma de evitar a interferência deste efeito na análise do solo é calcular os índices realizando a subtração da massa de areia, contida em cada peneira.

Entretanto, as metodologias que consideram a remoção da fração areia nos cálculos dos índices de estabilidade agregados estáveis em água, geralmente, não apresentam explicação clara de como fazer tal correção, ou em quais condições de solo deve-se fazê-la.

Também não há indicações ou resultados que demonstrem a magnitude das interferências, seja no valor dos índices ou nas suas correlações com as características do solo. Assim como não há explicações de como o teor da fração areia, ou das subfrações (areia grossa e fina), interferem nos resultados.

Em vista da importância da estabilidade de agregados para a avaliação estrutural de solos sob diferentes manejos, e das poucas pesquisas sobre a fração areia *versus* índices de estabilidade, é interessante testar os métodos sobre essa ótica e entender como a fração areia interfere nesses índices.

## **1.1 Hipóteses**

H0 – A fração areia não interfere nos índices de agregação do solo, não sendo necessária à sua remoção nos cálculos de tais índices.

H1 – A fração areia interfere nos índices de agregação do solo, devendo-se calculá-los com e sem a presença da areia, podendo-se assim avaliar a magnitude da sua influência.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Avaliar as alterações nos cálculos dos índices de agregação dos solos sob cultivo de cana-de-açúcar no estado de Pernambuco, em função da remoção da fração grosseira (areia e/ou cascalho).

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Determinar os índices de agregação dos solos: diâmetro médio ponderado; diâmetro médio geométrico; índice de estabilidade dos agregados; índice de sensibilidade, separando a fração grosseira (areia e/ou cascalho) durante os ensaios.

Calcular os índices de agregação dos solos estudados, alternando a forma de correção da fração grosseira: considerando a presença de cascalho e/ou areia total e seu fracionamento (areia grossa e areia fina).

Determinar os atributos físicos (distribuição granulométricas, relação silte/argila, grau de floculação, densidade do solo, estoque de carbono) e químicos dos solos estudados (pH, carbono orgânico) para sua caracterização.

Avaliar a relação entre os resultados dos índices de agregação dos solos e a fração grosseira (cascalho e/ou areia total e subfrações) e sua dependência com os atributos físicos e químicos de caracterização dos solos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Qualidade estrutural do solo

Solos têm grande importância para a sociedade e o ambiente natural, sendo o local onde ocorrem fortes interações entre a água, ar, litologia e os seres vivos, como plantas, fungos, bactérias e animais. Este ambiente influencia enormemente a qualidade da água e do ar, bem como na capacidade de sobrevivência e desenvolvimentos dos seres vivos (LEPSCH, 2011; TYE; ROBINSON; LARK, 2013). De acordo com Silva et al. (2020) a importância dos solos para a humanidade e a percepção de que esse é um recurso que pode ser degradado, ou seja, perder a sua capacidade de sustentar seres vivos, gerou a necessidade de estudá-lo, entender como as ações humanas o alteram e como pode-se monitorar estas.

O monitoramento das alterações do solo é feito a partir da avaliação das suas características; contudo, devido à natureza complexa inerentes aos solos, não há um fator único para compreender o sistema como um todo, sendo indicado usar inúmeras características biológicas, físicas e químicas para esse propósito (BÜNEMANN et al., 2018; SILVA et al., 2020). Normalmente, foca-se em algum aspecto específico do solo, como: alterações na matéria orgânica, acúmulo de carbono, porosidade ou alterações estruturais (BARROS et al., 2010; BERTOL et al., 2004; CASTIONI et al., 2018; KRISTIANSEN et al., 2006; LUAN et al., 2021; WANG et al., 2017).

Neste sentido; a estrutura do solo, ou seja o tamanho, forma e disposição dos sólidos e vazios do solo, é um dos seus principais atributos; importante principalmente no que tange à dinâmica da água e ao crescimento vegetal (LAL, 1991; ROSSI et al., 2016). Ela pode ser alterada devido ao manejo do solo; a exemplo dos processos como mecanização, rotação de culturas, cobertura do solo e acúmulo de carbono, que modificam a disposição das partes sólidas do solo (BRONICK; LAL, 2005).

Essas argumentações dão base para que a estrutura do solo seja um bom indicador das alterações antrópicas; entretanto, em vista da sua complexidade e de nem sempre ser possível caracterizá-la diretamente, têm-se usado indicadores do solo que estão relacionados com sua condição estrutural, permitindo assim avaliá-la (RABOT et al., 2018). Para isso, são comumente utilizados atributos como: densidade do solo, porosidade, distribuição dos poros, resistência do solo à penetração de raízes, avaliação visual (descrição morfológica), além do diâmetro e estabilidade dos agregados de solo (FRANCO et al., 2019; MAZURANA et al., 2011; RABOT et al., 2018).



## 2.2 Agregados de solo

Agregados do solo são estruturas formadas pela aproximação e união das suas partículas primárias (areia, argila e silte) entre elas mesmas, com a matéria orgânica do solo e com outros agregados (TISDALL; OADES, 1982). O processo de agregação proporciona a reestruturação do solo, elevando a macroporosidade, tornando o solo menos suscetível à erosão e aumentando a sua capacidade de acumular carbono (FALCÃO et al., 2020; RABOT et al., 2018).

Os agregados são divididos em duas classes, usando o diâmetro de 0,250 mm como limite, onde aqueles maiores são designados “macroagregados” e os menores “microagregados”. A hierarquização dos agregados é apresentada por Tisdall e Oades (1982), e utiliza os fatores envolvidos na formação dos agregados para classificação.

A formação dos agregados é um processo que se inicia com a floculação e agrupamento das partículas primárias, formando uma unidade estrutural composta (agregado), e se as condições de solo foram favoráveis este processo continua a agrupar partículas, tornando a estrutura maior. Contudo, apenas floculação não é suficiente para formar agregados indefinidamente maiores ou muito estáveis, sendo necessário a ocorrência de outro processo, no caso a cimentação, onde forma-se uma união mais forte entre a superfície das argilas e dos agentes cimentantes (HILLEL, 2003; TISDALL; OADES, 1982).

Na formação de agregados maiores são necessários mais processos, com destaque para a ação da matéria orgânica do solo (MOS). Nos microagregados, também ocorrem ações como a cimentação a partir da ligação entre a superfície da parte mineral do solo e as moléculas da matéria orgânica decomposta, ou dos exsudados de plantas e bactérias. As raízes mais finas das plantas e as hifas dos fungos também podem se fixar à superfície dos microagregados e das partículas primárias maiores, auxiliando na formação dos macroagregados (BORGES; DEGENS; SPARLING; ABBOTT, 1996; CALONEGO; ROSOLEM, 2019; KHEIRFAM; ASADZADEH, 2020; SAIEDI et al., 2017; TISDALL; OADES, 1982).

Outras ações de agentes cimentantes inorgânicos também são identificadas, como carbonatos de cálcio e óxidos de alumínio e ferro, que podem contribuir para a agregação, promovendo a união das partículas dentro dos agregados (AMÉZKETA, 1999; HILLEL, 2003; TISDALL; OADES, 1982).

A agregação de um sítio é o resultado dos agentes de agregação presentes nele, ou seja, atividade da biota, teor e frações predominantes da MOS, textura do solo, mineralogia etc, vão determinar como serão as dimensões e resistência dos agregados. Algumas dessas

características podem ser alteradas ao mudar o uso do solo e promover alterações químicas, mecanização e alterações nos aportes de matéria orgânica (BRONICK; LAL, 2005).

As correções químicas podem, em solos de cargas variáveis em função do pH, promover a dispersão das argilas, reduzindo a agregação; assim como outros processos, como a salinização, podem também dispersar as argilas. Ambos os processos são consideráveis negativos por reduzirem a porosidade do solo e a infiltração da água (BRONICK; LAL, 2005; ROCHA et al., 2020).

A mecanização além de promover a quebra física dos agregados, acelera a decomposição da matéria orgânica e dificulta o crescimento das raízes finas, importantes para a agregação (BRONICK; LAL, 2005).

A matéria orgânica é originada da biota do solo, vegetais, bactérias, macro e microfauna do solo, que ao finalizarem seu ciclo de vida se tornarão a matéria orgânica do solo. Contudo, para as atividades agrícolas e pecuárias, a vegetação, bem como os fertilizantes orgânicos, tornam-se as principais fontes diretas ou indiretas dos aportes de matéria orgânica do solo. Dependendo do tipo de manejo esses aportes podem ser maiores ou menores, o que se refletirá nos teores da MOS e conseqüentemente na agregação; uma vez que normalmente há uma boa relação entre o teor da matéria orgânica e o tamanho dos agregados do solo (BRONICK; LAL, 2005; FALCÃO et al., 2020).

Visto que a agregação do solo pode ser alterada com o manejo, ela se torna um importante indicador para o monitoramento das alterações estruturais. Para realizar esse monitoramento é necessário caracterizar a agregação do solo, para isso dispõe-se dos índices de agregação, comentados a seguir.

### **2.3 Índices de agregação**

A forma mais comum de caracterizar os agregados do solo se faz por meio da análise de sua distribuição por classes de tamanho e da sua estabilidade (RABOT et al., 2018). Os parâmetros mais comumente usados nessas análises são: diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e o índice de estabilidade de agregados (IEA) (BRIZZI et al., 2019; SALTON et al., 2017).

Esses parâmetros são muito usados por colocarem num único valor uma característica dos agregados, por serem alterados pelo manejo e por terem boa correlação com a qualidade estrutural do solo (KEMPER; ROSENAU, 1986).

Ambos os índices relacionados ao diâmetro médio (ponderado e geométrico) apresentam valores que expressam a representatividade da condição estrutural do solo. O

DMP foi proposto por Van Bavel (1950), inicialmente necessitando de um cálculo mais complexo para representar corretamente o valor médio dos diâmetros dos agregados. Posteriormente, segundo Kemper e Rosenau (1986), o cálculo foi simplificado para a equação normalmente usada atualmente, que apesar de poder não apresentar um valor exato, é ótimo para comparar e correlacionar alterações estruturais no solo.

O valor do DMP será maior quanto maior for a porcentagem de agregados grandes (DEMARCHI; PERUSI; PIROLI, 2012). Já o DMG, proposto por Mazurak (1950), representa uma estimativa do tamanho da classe de agregados de maior ocorrência, e de acordo Kemper e Rosenau (1986) o DMG consegue, de forma geral, se aproximar mais dos valores reais.

Quanto ao IEA, este representa uma medida da agregação total do solo, não considerando a distribuição por classes de agregados, e quanto maior a quantidade de agregados com diâmetros pequenos, isto é,  $< 0,25$  mm, menor será o valor desse índice, indicando baixa estabilidade estrutural (DEMARCHI; PERUSI; PIROLI, 2012).

Os ensaios para determinação desses índices geram dados que podem ser utilizados para a classificação dos agregados por faixas de tamanho. Assim, de forma mais simplificada, os agregados são agrupados em duas classes: macroagregados e microagregados; onde, segundo Tisdall e Oades (1982), o diâmetro limite entre essas classes é  $250 \mu\text{m}$  (0,25 mm). Segundo esses autores, acima deste diâmetro a matéria orgânica começa a ter prevalência na formação dos agregados (macroagregados). O tamanho dos agregados também está muito relacionado com a porosidade do solo, pois a agregação, além de aumentar o tamanho dos agregados, reestrutura o solo, tendendo a aumentar a macroporosidade, melhorando a circulação de água e de ar no solo (RABOT et al., 2018).

O DMP e o DMG foram usados nos trabalhos de Brizzi et al. (2019) e Nouri et al. (2019) como indicadores dos efeitos dos diferentes usos e manejos no solo, onde os solos mais bem estruturados apresentam agregados maiores.

O valor do IEA quantifica a resistência que a estrutura de um agregado de solo tem à quebra, mediante a aplicação de uma energia de ruptura, além de ser um importante atributo na avaliação de qualidade do solo, devido a sua sensibilidade às alterações estruturais do solo (DEVIREN-SAYGIN et al., 2012). Essa sensibilidade está relacionada com os teores de matéria orgânica e a perda ou ganho de capacidade para manter a estrutura dos agregados em função das decomposições, decorrentes das modificações na forma de uso e manejo do solo (BRONICK; LAL, 2005; RABOT et al., 2018; SIX; PAUSTIAN, 2014).

## 2.4 Fração areia nos agregados

Dentre as frações granulométricas do solo a argila se destaca como o principal agente de união entre as partículas do solo, devido a sua grande superfície específica e às cargas que há em sua superfície. Esses fatores contribuem para que as partículas de argila se aproximem umas das outras, bem como também da matéria orgânica, formando os agregados (BRONICK; LAL, 2005; VAEZI; ESLAMI; KEESSTRA, 2018).

As relações entre a fração areia e os agregados dos solos ocorrem de forma diferente daquelas que consideram a fração argila ou a matéria orgânica. A fração areia, por não possuir a capacidade de se unir à outras partículas, entra nos agregados de forma passiva; onde, segundo Kheirfam e Asadzadeh (2020), Saiedi et al. (2017) e Singer et al. (1992), é necessário que uma cobertura de argila ou material orgânico promova a união das partículas de areia, ou ainda hifas de fungos e raízes finas usem a areia como estrutura de fixação (DEGENS; SPARLING; ABBOTT, 1996; DENEFF et al., 2001; SINGER et al., 1992). Contudo, não há um consenso se, uma vez dentro do agregado, ela poderia ou não auxiliar na estabilidade dos agregados. A presença de areia fina, por exemplo, seria um fator para a desagregação; enquanto a areia grossa auxilia na estabilidade, devido à sua forma e rachaduras permitirem que os agentes cimentantes e raízes se fixem em suas estruturas (DUFRANC et al., 2004; TERASSI; SILVEIRA; BONIFÁCIO, 2014).

Outro fator de importância em relação à fração areia e os agregados do solo é a sua correção no cálculo dos índices de estabilidade de agregados. De acordo com Márquez et al. (2004), a areia pode ser encontrada em três formas no solo: areia estável dentro dos agregados; areia instável dentro dos agregados; e areia livre, que não está dentro dos agregados. Durante a separação dos agregados, a areia livre e a instável dentro dos agregados (que é liberada quando o agregado é quebrado) irá se acumular nas peneiras usadas para separar as classes; assim estas partículas individuais, podem ser contabilizadas como agregados.

A esta redistribuição e acúmulo de areia nas peneiras é dado o nome de “efeito areia solta”, ocorrendo principalmente nas peneiras inferiores (de menor abertura), alterando a composição dos agregados e reduzindo a sensibilidade das análises (ELLIOTT et al., 1991; MÁRQUEZ et al., 2004). Além desses fatores, há indicações de que este acúmulo da areia (também acrescentam o cascalho, quando este é liberado do agregado) pode influenciar nos valores dos índices de agregação (DMP, DMG e IEA) (CESÁRIO et al., 2010; HILLEL, 2003)

Assim, para resolver esse problema, alguns autores, como Deneff et al. (2001); Márquez et al. (2004) e Tivet et al. (2013), sugerem descontar a massa da areia nos cálculos; entretanto, estes trabalhos não demonstram qual o efeito da areia nos índices de agregação e alguns não são claros sobre em que condições deve-se proceder esta remoção. Também há o fato de autores como Portella et al. (2012) e Terassi, Silveira e Bonifácio (2014) que não realizam esta correção, mesmo quando trabalham com solos arenoso. Desse modo, como apresentado por Cesário et al. (2010), não há um consenso sobre que função a areia tem na avaliação da agregação, se ela deve ser removida e se for necessário fazer a correção, como procedê-la.

## **2.5 Índice de sensibilidade**

O índice de sensibilidade (IS), proposto por Bolinder et al. (1999), utiliza o princípio da comparação relativa entre tratamentos e pode ser usado como indicador de qual atributo do solo foi mais sensível a um determinado tratamento; bem como os efeitos de um tipo de uso ou manejo do solo sobre algum de seus atributos (BERTOL et al., 2004).

De acordo com Melo et al. (2014) este índice relaciona o valor de um parâmetro, determinado no solo sob um certo tratamento (manejo), com aquele obtido pela testemunha (controle), usando como limite o valor 1. Assim, caso o IS seja igual a 1 isto indicará que o tratamento não difere do controle. Se o índice for inferior a 1, isso implica afirmar que o tratamento não teve efeito positivo, sendo sua resposta pior que a condição natural (controle). No caso do valor do IS ser superior a 1, isto significa que o tratamento foi eficiente, sendo melhor que a testemunha.

Todos estes índices, que quantificam a condição estrutural do solo, podem ser utilizados para avaliar os efeitos do manejo na qualidade dos solos, a exemplo do trabalho de Torres et al. (2015), onde o IS permitiu comparar as alterações na densidade do solo, macro e microporosidade e porosidade total de áreas com cinco tratamentos, em relação à condição inicial, auxiliando no entendimento de como cada alteração afetou as características do solo.

O IS também é capaz de auxiliar no diagnóstico das alterações entre os agregados do solo, permitindo identificar quais manejos tiveram ação positiva ou negativa na estruturação, como no trabalho de Fontana et al. (2010), onde o IS ajudou na comparação da agregação entre áreas com classes de solo diferentes (Argissolo e Latossolo) sob três tipos de cobertura vegetal: floresta secundária, pastagem e cana-de-açúcar; permitindo comparar as duas últimas com a floresta e constatar qual possuía os agregados mais estáveis.

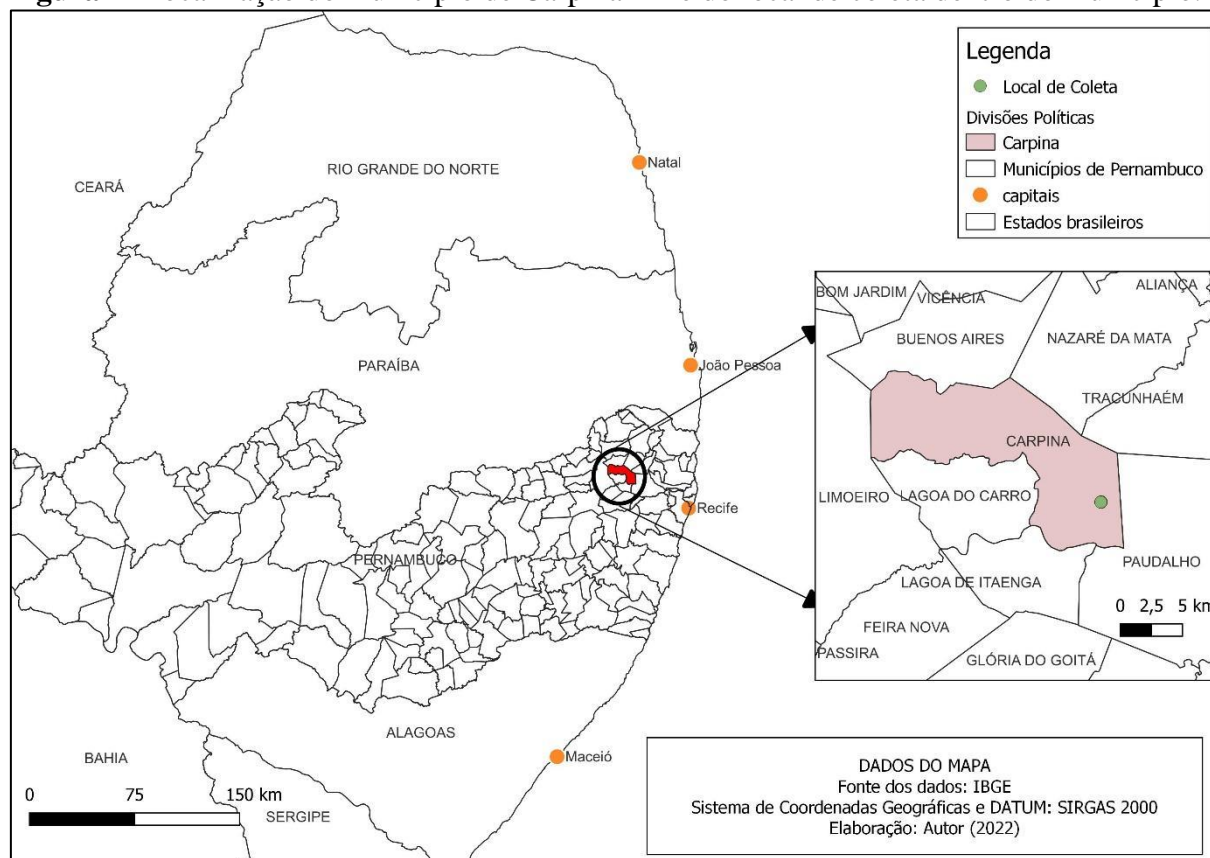
### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Descrição da área

O solo utilizado para realização deste trabalho foi coletado na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina (EECAC), localizada no município de Carpina, na zona da mata do estado de Pernambuco (Figura 1).

A EECAC está localizada sob as coordenadas geográficas 7° 51' 25.11" sul e 35° 14' 16.58" oeste, altitude de 162 m; o clima local segundo Medeiros et al. (2018) é o Tropical úmido com estação seca no verão, As pela classificação climática de Köppen, com precipitação média anual de 1.106 mm, com 77% desse total precipitando entre os meses de março e agosto (APAC, 2021). O solo foi classificado como Argissolo Amarelo distrocoeso (TAVARES et al., 2017).

**Figura 1-** Localização do município de Carpina-PE e do local de coleta dentro do município.



Fonte: arquivo pessoal

O solo estava sob cultivo de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), variedade RB041443. De acordo com Cavalcanti et al. (2020) a área foi convertida da vegetação nativa (mata atlântica) para o cultivo de cana-de-açúcar em 1973; desde então vem realizando-se

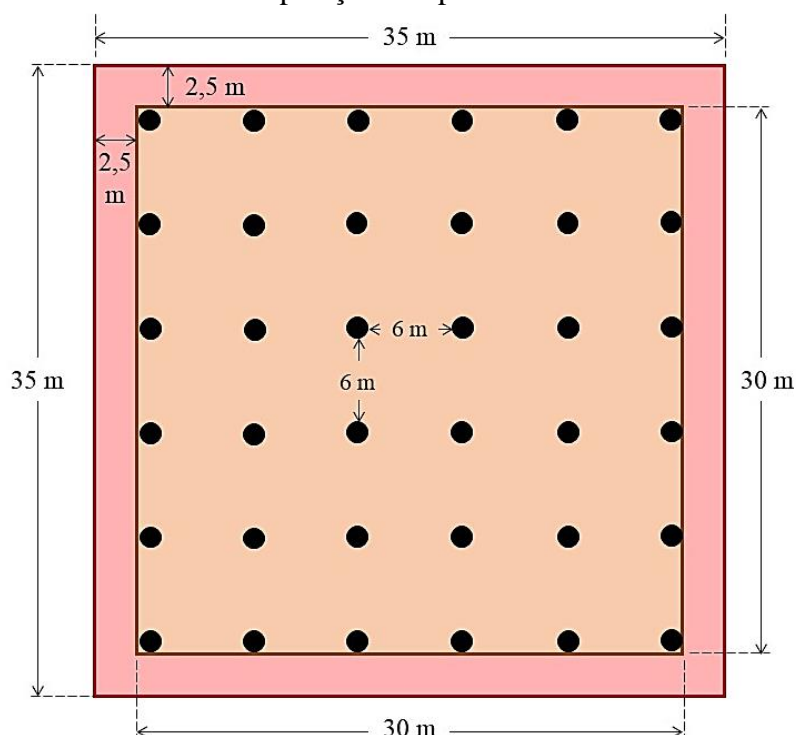
cultivos sucessivos da cultura. O canal na área utilizada para esse trabalho foi renovado em dezembro de 2019, sendo a primeira colheita (cana-planta) ocorrida em dezembro de 2020, e, no momento da coleta dos solos, encontrava-se em cana soca (segunda folha).

No preparo do solo foi realizada adubação no plantio com a formulação de NPK 12-24-18, na dosagem de  $500 \text{ kg ha}^{-1}$ . Após a colheita, adubou-se com  $500 \text{ kg ha}^{-1}$  do fertilizante composto por NPK 14-00-18. A cultura é irrigada por gotejamento e a colheita é realizada sem queima do canavial.

### 3.2 Coleta das amostras de solo e pré-tratamentos para os ensaios

Definida a área experimental, utilizou-se um dos talhões com dimensões de 35 m de comprimento e de largura, onde delimitou-se uma área de 2,5 de bordadura, tendo-se como área útil para amostragem um quadrado com  $30 \times 30 \text{ m}$ , onde foram demarcados 36 pontos de coleta, espaçados 6 m uns dos outros (Figuras 2 e 3). A coleta de solo foi realizada entre os dias 14 e 15 de junho de 2021; portanto, a cana estava na metade do seu segundo ciclo.

**Figura 2-** Croqui demonstrando a disposição dos pontos de coleta.



Fonte: arquivo pessoal.

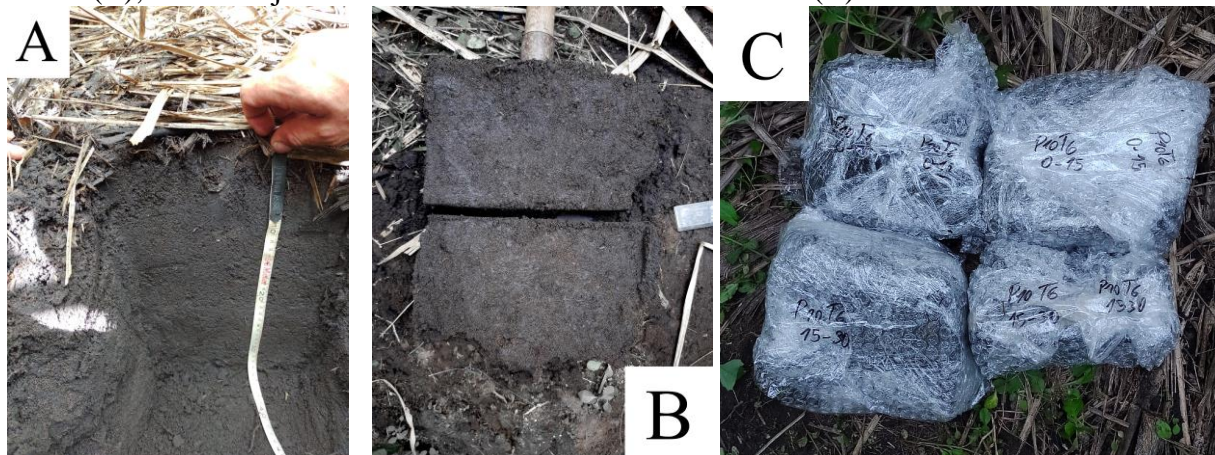
**Figura 3-** Vista do talhão na sua borda (A) e na entrelinha (B).



Fonte: arquivo pessoal.

A amostragem foi realizada nas profundidades de 0 a 15 cm e de 15 a 30 cm (ambas envolvendo o horizonte Ap). Para tanto, foram abertas trincheiras com dimensões de  $40 \times 40 \times 30$  cm (Figura 4 A) e, com o auxílio de pá reta e faca, retiraram-se, cuidadosamente, blocos de uma das laterais (Figura 4 B), seguindo-se metodologia sugerida em Marcelo et al. (2016). Os blocos foram envolvidos em plástico filme e plástico bolha (Figura 4 C), e acondicionados em caixa de isopor, para evitar alterações na estrutura durante o transporte para o laboratório.

**Figura 4-** Visão lateral da trincheira usada na coleta (A); remoção das amostras durante a coleta (B); amostras já embaladas e devidamente identificadas (C).



Fonte: arquivo pessoal.

No laboratório, os blocos foram submetidos ao umedecimento por capilaridade, até completa saturação. Em seguida, foram mantidos em condições de capacidade de campo,



termo aqui utilizado para máxima retenção de água dos blocos após drenagem natural. Nestas condições, os blocos foram separados em blocos menores (torrões, agregados) e parte destes, foram passados, gentilmente, em peneiras, utilizando-se uma com malha maior (7,10 mm) e outra menor (3,54 mm). Desse modo, os agregados que passaram na primeira peneira e foram retidos na segunda, tiveram o diâmetro médio de 5,32 mm. Estes agregados foram reservados para os ensaios de determinação dos índices de agregação de solo.

Para as análises de caracterização física e química dos solos, utilizou-se a outra parte dos blocos menores, sendo os torrões reservados para os ensaios de determinação da densidade do solo. O restante dos blocos foi seco ao ar, destorroado e passado em peneira com malha de 2 mm (9 mesh), obtendo-se assim a terra fina seca ao ar (TFSA), sendo essa forma de amostra utilizada nos demais ensaios de caracterização.

Parte da TFSA foi macerada e tamisada em peneira de 80 mesh, sendo reservada para análise de carbono orgânico total (C.O.).

### **3.3 Atributos físicos e químicos para caracterização dos solos**

Os solos foram caracterizados física e quimicamente, sendo determinado: frações granulométricas (areia, silte, argila total); fracionamento da areia (grossa e fina, sendo 0,25 mm o diâmetro limite entre elas); argila dispersa em água; além de pH em água, carbono orgânico total e estoque de carbono.

A granulometria e a argila dispersa em água foram determinadas utilizando-se o método do densímetro com modificações (ALMEIDA, 2008; GEE; OR, 2002). Assim, foram pesadas 50 g de TFSA, transferidas para garrafa plástica; utilizando-se o dispersante Calgon (hexametáfosfato de sódio + carbonato de sódio), adicionando-se 25 mL para cada garrafa, completando-se o volume com água; na sequência, as garrafas foram transferidas para o agitador tipo Wagner (50 rpm por 16 horas). Após este processo, transferiu-se o material das garrafas para provetas de 1 L, completando com água até o volume de 940 mL; e deixado em repouso por 24 horas, para assim efetuar a leitura da fração argila em suspensão, via densímetro. Na determinação da argila dispersa em água, realizou-se os mesmos procedimentos, porém sem o uso do dispersante.

Após a leitura da argila, o material das provetas foi passado em peneira de 0,053 mm, para realizar a separação da areia total em peneiramento via úmida; depois o material retido foi transferido para lata de alumínio e seco em estufa a 105°C, até peso constante e pesado.

A areia total ainda foi fracionada em duas subfrações (fina e grossa). Para isso utilizou-se de agitador eletromagnético, o qual contém uma peneira de malha igual ao

diâmetro limite das subfrações de areia (0,250 mm), conectada à uma base (depósito) e agitou-se até que cessasse a transferência de material da peneira para o depósito (peso constante), após esse procedimento, pesou-se o material do fundo e o retido.

Para a determinação da densidade do solo utilizou-se a metodologia proposta em Almeida et al. (2017), pelo método do torrão parafinado. Onde separou-se um torrão com diâmetro de aproximadamente 5 cm de cada bloco coletado, e após deixá-lo secar ao ar, este foi pesado e mergulhado em parafina aquecida a temperatura entre 60 – 65°C; deixou-se a parafina esfriar e pesou-se o torrão impermeabilizado. Posteriormente, com um béquer de 1000 mL parcialmente ocupado com água, sobre uma balança, verificou-se o volume do torrão a partir da massa de água movimentada ao inserir-se o torrão parafinado. Depois, para obtenção do fator de correção de umidade do torrão, removeu-se a cobertura de parafina e levou-se o restante do torrão para secar em estufa a 105°C, até o peso constante. Os resultados das análises de caracterização física podem ser encontrados na Tabela 1.

**Tabela 1-** Atributos físicos utilizados para a caracterização das amostras do Argissolo da área em estudo, sob cultivo de cana-de-açúcar.

Prof	Areia			Silte	Argila	ADA	GF	GD	S/A	Ds
	Grossa	Fina	Total							
- cm -	----- g kg <sup>-1</sup> -----			----- % -----			- adm -	- g cm <sup>-3</sup> -		
0-15	545	239	784	61	155	135	12,90	87,10	0,40	1,71
15-30	516	240	756	63	181	161	11,05	88,95	0,35	1,73

Prof. = profundidade amostrada; ADA= argila dispersa em água; GF = Grau de floculação; GD = Grau de dispersão; S/A = relação silte/argila; adm = adimensional; Ds = densidade do solo.

Na caracterização química, determinou-se o pH em água, de acordo com o descrito em Teixeira, Campos e Saldanha (2017), na proporção de 1:2,5, onde 10 g de TFSA foram colocadas num recipiente plástico, adicionando-se 25 mL de água destilada, agitou-se a mistura por 60 segundos e depois deixou-a em repouso por 1 hora; após este período, agitou-a ligeiramente para homogeneizar e proceder a leitura no potenciômetro.

Determinou-se o carbono orgânico total nas camadas avaliadas, usando a metodologia proposta por Fontana e Campos (2017); realizando a oxidação da matéria orgânica por dicromato de potássio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) em meio ácido. Foi utilizada amostras de TFSA, maceradas e passadas em peneiras de 80 mesh; destinando-se aproximadamente 0,5 g deste material para serem colocadas em erlenmeyer, adicionou-se 10 mL da solução de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0,0667 mol L<sup>-1</sup>, sendo o conjunto aquecido em temperatura de 150°C por 5 minutos; após esfriar, adicionou-se

80 mL de água destilada, 2 mL de ácido ortofosfórico e três gotas do indicador Ferroin 0,025 mol L<sup>-1</sup> e por fim procedeu-se a titulação com sulfato ferroso amoniacal a 0,1 mol L<sup>-1</sup>.

Para determinar o estoque de carbono, utilizou-se a metodologia proposta por Ellert e Bettany (1995) com as adaptações indicadas por Fernandes e Fernandes (2009), sendo calculado a partir do teor de carbono no solo, da densidade do solo e da profundidade da camada, conforme a equação (01).

$$\text{Est C} = (\text{CO} \times \text{Ds} \times e) / 10 \quad (01)$$

onde: Est C = Estoque de carbono orgânico do solo em determinada profundidade (Mg ha<sup>-1</sup>); CO = teor de carbono orgânico na profundidade amostrada (g kg<sup>-1</sup>); Ds = densidade do solo na profundidade amostrada (kg dm<sup>-3</sup>); e = espessura da camada considerada (cm).

Os dados resultantes das análises de caracterização química podem ser encontrados na Tabela 2.

**Tabela 2-** Atributos químicos utilizados para a caracterização das amostras do Argissolo da área em estudo, sob cultivo de cana-de-açúcar.

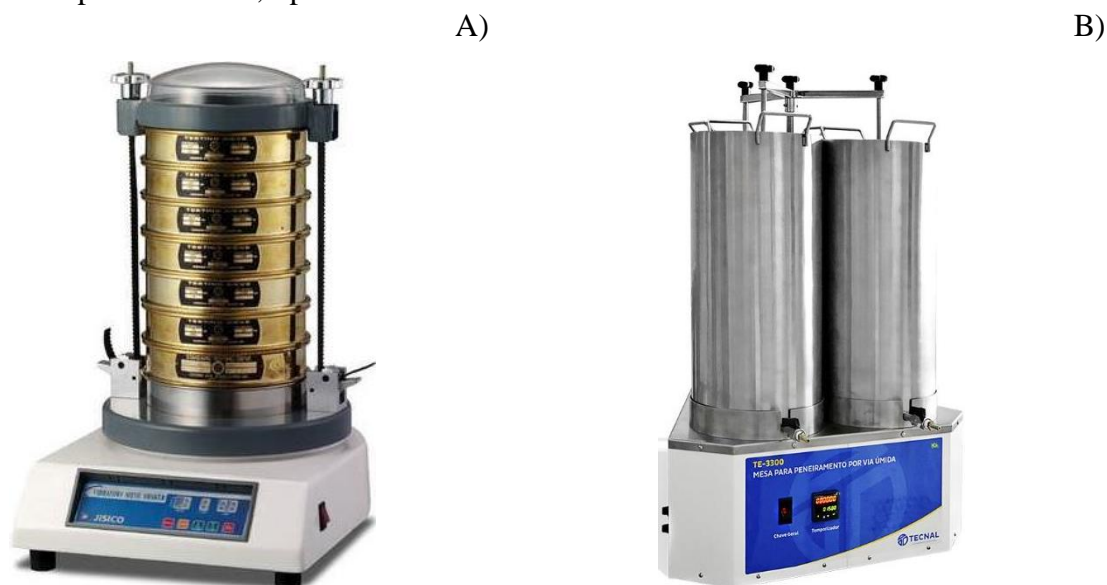
Prof. (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	C.O. (g kg <sup>-1</sup> )	Est.C (Mg ha <sup>-1</sup> )
0-15	6,63	20,12	51,48
15-30	6,56	19,31	50,19

Prof. = profundidade amostrada; C.O. = Teor de carbono orgânico total; Est.C: Estoque de carbono orgânico do solo.

### 3.4 Índices de agregação do solo

A metodologia usada tem como base o proposto em Nimmo e Perkins (2002) e em Salton et al. (2017), onde 25g de agregados de solo (secos ao ar, e com diâmetro médio de 5,32 mm) são colocados sobre um conjunto de peneiras com malhas de 2,0; 1,0; 0,5; 0,25 e 0,125 mm. A desagregação foi realizada por peneiramento em meio seco e úmido, utilizando-se o agitador mecânico vibratório e agitador do tipo Yoder, respectivamente (Figura 5).

**Figura 5-** Equipamentos utilizados para os ensaios da distribuição dos tamanhos de agregados do solo: A) agitador eletromagnético de peneiras para tamisação a seco; B) mesa para peneiramento por via úmida, tipo Yoder.



Fontes: A) <https://www.directindustry.com/pt/prod/jisico-co-ltd/product-40518-1351607.html>; e B) [https://tecna.com.br/pt-BR/produtos/detalhes/5938\\_mesa\\_para\\_peneiramento\\_por\\_via\\_umida](https://tecna.com.br/pt-BR/produtos/detalhes/5938_mesa_para_peneiramento_por_via_umida).

No peneiramento via seco a amostra de solo é colocada sob o conjunto de peneiras e a vibração, produzida por um agitador eletromagnético (Figura 5 A), durante 1 min, promoverá a quebra dos agregados, nas suas superfícies de fraqueza, gerando classes distintas por diâmetros equivalentes ( $\phi_{eq}$ ): i) 5,32 – 2,00 mm; ii) < 2,00 – 1,00 mm; iii) < 1,00 – 0,5 mm; iv) < 0,5 – 0,25 mm; v) < 0,25 – 0,125mm; vi) <0,125 mm. Após o término da agitação, pesou-se os agregados, que foram reservados para a separação das suas respectivas frações grosseiras (cascalho e areia).

No peneiramento via úmida, a amostra (25 g de agregados) foi colocada sobre o conjunto de peneiras, que é inserido no agitador tipo Yoder (Figura 5 B), onde a movimentação vertical do conjunto de peneiras sob água, durante 15 min, promoveu a fragmentação dos agregados, nas seis classes de tamanho citadas anteriormente. Cada uma das cinco classes de agregados retidos nas respectivas peneiras, foram secas em estufa (105°C, 48h), pesadas e reservadas para a separação das suas respectivas frações grosseiras (cascalhos e areia).

Para separar as frações grosseiras, os agregados de cada classe foram colocados em recipientes plásticos e dispersos em calgon, por 24h). Em seguida, foram transferidos para peneira com malha específica (0,053 mm), lavados em água corrente, secos em estufa (105°C, 24h) e pesados.

Os cálculos para obtenção dos índices de agregação de solos foram realizados com e sem a exclusão de partículas sólidas, considerando dois grupos de frações grosserias: fração areia total, definida como fração com diâmetro equivalente ( $\varnothing_{eq}$ ) entre:  $0,053 \leq \varnothing_{eq (mm)} < 2,00$ ; e frações com  $\varnothing_{eq}$  entre 5,32-2,00 mm, as quais estão incluídas na fração cascalho [ $2,00 \leq \varnothing_{eq (mm)} < 20,00$ ], de acordo com a classificação das frações granulométricas propostas em Fontana et al. (2017).

Assim, o peso da fração cascalho foi obtido após dispersão da maior classe de agregados [ $2,00 \leq \varnothing_{eq (mm)} \leq 5,32$ ], lavando em água corrente o material retido sobre a peneira com malha de 2 mm. Procedimento semelhante foi realizado para separar a fração areia total nas demais classes de agregados, retidos nas distintas peneiras (1,0; 0,50; 0,25 e 0,125 mm), sendo que, após dispersão, o material foi lavado sobre a peneira com 0,053 mm de abertura.

Além da massa da fração areia total ( $0,050 \leq \varnothing_{eq (mm)} < 2,00$ ), foram obtidas as massas das duas subclasses: areia grossa - AG ( $0,250 \leq \varnothing_{eq (mm)} < 2,00$ ) e areia fina - AF ( $0,050 \leq \varnothing_{eq (mm)} < 0,250$ ). Essas classes foram separadas via tamisação a seco, utilizando-se o agitador mecânico vibratório (Figura 5 A), colocando-se a massa da areia total sobre o topo da peneira com 0,250 mm de abertura; conectada e encaixada a um depósito. Após 2 min de vibração, o material retido na peneira e no depósito, foi pesado e registrado como massa de AG e AF, respectivamente. Assim para proceder a remoção da areia nos cálculos, subtrai-se a massa de areia (total ou subfrações) e de cascalho das respectivas classes de diâmetro de agregados.

A partir dos ensaios de agregação, conforme descritos neste tópico, obtém-se os valores da massa de agregados de solo retidos em cada peneira, bem como a massa de agregados após a subtração da massa das partículas grosseiras (Tabela 3). Maiores detalhes sobre os cálculos para obtenção dos índices de agregação de solos, a partir dos dados gerados pelos ensaios descritos neste tópico, são fornecidos a seguir.

**Tabela 3-** Massa dos agregados nas diferentes classes para as profundidades avaliadas, com e sem as frações grosseiras.

Via	Prof.	Classe	Normal	S/PG	S/A	S/C	S/AG	S/AF
	- cm -		----- g -----					
Úmida	0-15	1	14,731	4,078	4,743	14,066	8,935	10,538
		2	3,961	1,053	1,053	3,961	2,009	3,006
		3	3,226	0,801	0,801	3,226	1,479	2,548
		4	1,768	0,393	0,393	1,768	0,882	1,278
		5	0,706	0,179	0,179	0,706	0,698	0,187
		6	0,323	0,323	0,323	0,323	0,323	0,323
	15-30	1	13,729	3,949	4,601	13,077	8,310	10,020
		2	4,639	1,272	1,272	4,639	2,403	3,507
		3	3,530	0,902	0,902	3,530	1,658	2,774
		4	1,835	0,452	0,452	1,835	0,948	1,340
		5	0,680	0,185	0,185	0,680	0,674	0,191
		6	0,292	0,292	0,292	0,292	0,292	0,292
Seca	0-15	1	23,838	6,184	6,921	23,100	13,330	17,429
		2	0,269	0,062	0,062	0,269	0,125	0,206
		3	0,239	0,042	0,042	0,239	0,082	0,199
		4	0,209	0,036	0,036	0,209	0,075	0,169
		5	0,091	0,026	0,026	0,091	0,091	0,026
		6	0,069	0,069	0,069	0,069	0,069	0,069
	15-30	1	23,823	6,480	7,208	23,095	13,306	17,724
		2	0,293	0,075	0,075	0,293	0,142	0,226
		3	0,235	0,050	0,050	0,235	0,090	0,195
		4	0,189	0,034	0,034	0,189	0,072	0,152
		5	0,078	0,016	0,016	0,078	0,078	0,016
		6	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049

Normal: massa total de agregados; S/P: sem partículas grosseiras; S/A: sem areia total; S/C: sem cascalho; S/AG: sem areia grossa; S/AF: sem areia fina.

### 3.4.1 Diâmetro médio ponderado (DMP)

A partir da massa de agregados retida em cada peneira, nos ensaios específicos (seco e úmido), o diâmetro médio dos agregados da amostra foi calculado usando-se a equação (02).

$$DMP = \sum (X_i \times W_i) \quad (02)$$

onde: DMP é o diâmetro médio ponderado (mm);  $X_i$  é o diâmetro médio de cada classe de agregados (mm), que corresponde à média aritmética entre as peneiras que definem cada classe de agregados; e  $W_i$  é a proporção de agregados em cada classe em relação ao total, ou seja, é a relação entre a massa de agregados na classe  $i$  e a massa total de agregados.

Os valores de  $X_i$  foram calculados com base nos diâmetros de cada par de peneiras usados para agrupar as classes de tamanho de agregados, conforme pode ser observado na Tabela 4.

**Tabela 4-** Diâmetro médio equivalente dos agregados ( $X_i$ ) e sua respectiva classe de tamanho.

Classe de Tamanho	$X_i$
(mm)	
i: 5,32 – 2,00	3,66
ii: < 2,00 – 1,00	1,50
iii: < 1,00 – 0,50	0,75
iv: < 0,50 – 0,250	0,375
v: <0,250 – 0,125	0,187
vi: <0,125	0,052

### 3.4.2 Diâmetro médio geométrico (DMG)

Na prática, os valores do DMG (mm), calculados a partir dos pesos dos agregados estáveis em cada peneira, indicarão qual dessas classes os agregados, após energia de ruptura, têm mais frequência, verificada pelo maior agrupamento em certas classes.

O DMG, calculado segundo Kemper e Rosenau (1986) com as modificações indicadas por Cesário et al. (2010), foi obtido pela equação (03).

$$DMG = \text{EXP} \left( \frac{\sum (W_i \times \ln X_i)}{\sum W_i} \right) \quad (03)$$

onde: DMG é o diâmetro médio geométrico (mm);  $X_i$  é o diâmetro médio de cada classe de agregados (mm); e  $W_i$  é a massa de agregados em cada classe. Do mesmo modo como para o DMP, nos cálculos do DMG foram considerados os dados gerados pelos ensaios sob condição seca e úmida.

### 3.4.3 Índice de estabilidade dos agregados (IEA)

O índice de estabilidade de agregados foi calculado de duas maneiras. Na primeira, os cálculos foram realizados conforme a metodologia proposta em Salton et al. (2017), a partir da relação entre o diâmetro médio ponderado via úmida e seca, conforme equação (04).

$$IEA_1 = \left( \frac{DMP_u}{DMP_s} \right) \times 100 \quad (04)$$

onde:  $IEA_1$  é o índice de estabilidade de agregados (%), considerando os ensaios via úmida e seca;  $DMP_u$  é o diâmetro médio ponderado via úmida (mm); e  $DMP_s$  é o diâmetro médio ponderado via seca (mm).

Nos procedimentos para remoção das frações grosseiras foram utilizados os valores de DMP onde houve desconto da fração areia.

Na segunda forma de cálculo, onde se considera apenas os dados gerados pelos ensaios sob condições via úmida, foram utilizados os procedimentos sugeridos em Castro Filho, Muzilli e Podanoschi (1998), expresso pela equação (05).

$$IEA_2 = \left( \frac{\text{peso total dos agregados} - \text{peso dos agregados} < 0,25\text{mm}}{\text{peso da amostra}} \right) \times 100 \quad (05)$$

onde:  $IEA_2$  é o índice de estabilidade de agregados (%), considerando apenas os dados via úmida; os todos os pesos citados na equação (05) foram expressos como secos à 105° C.

### 3.4.4 Índice de sensibilidade (IS)

O índice de sensibilidade (IS), baseado no proposto por Bolinder et al. (1999), foi obtido pela relação entre os DMP determinados nos solos sob dois procedimentos matemáticos: cálculo a ser testado (sem incluir as frações grosseiras); e o cálculo controle (com frações grosseiras), considerado como referência; utilizando-se a equação (06).

$$IS = \frac{DMP_{\text{sem a fg}}}{DMP_{\text{com a fg}}} \quad (06)$$

onde: IS é o índice de sensibilidade (adimensional);  $DMP_{\text{sem a fg}}$  (mm) é o diâmetro médio ponderado calculado descontando a fração grosseira (areia e/ou cascalho); e  $DMP_{\text{com a fg}}$  (mm) é o diâmetro médio ponderado calculado com a fração grosseira.



### **3.5 Análise estatística**

A análise de variância (ANOVA) juntamente com o teste F foram utilizados para avaliar a ocorrência de diferenças significativas entre os procedimentos de cálculos quanto às percentagens de agregados e partículas simples nas classes de diâmetro. Nos casos com diferenças significativas, o teste de Tukey foi utilizado para comparação entre as médias em um nível de significância de 5 %. Foi realizada também a análise de correlação de Pearson entre os índices de agregação e os dados da caracterização física e química do solo.

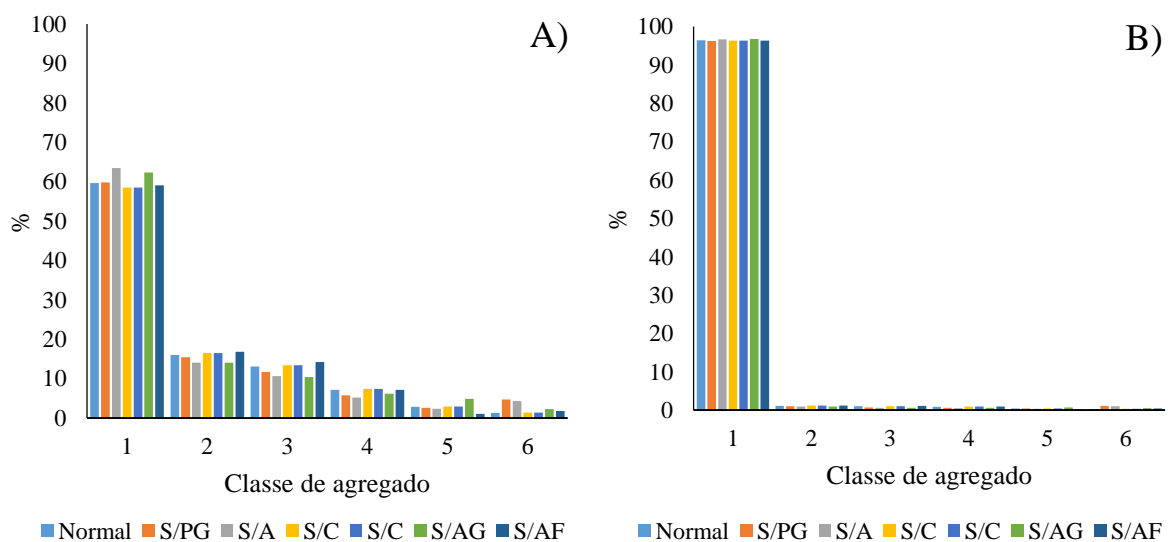
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Distribuição das classes de agregados

As proporções dos agregados retidos em cada classe podem ser encontradas nas Figuras 6 e 7. Para ambas as camadas a maior parte dos agregados ficaram retidos na primeira peneira, sendo que na camada superior (0 – 15) cm, as porcentagens variaram, na via úmida, de 58,44 a 63,46 % e, na via seca, de 96,27 a 96,72 % a depender da classe de partículas grosseiras (PG) subtraída. Na camada de 15 – 30 cm (Figura 7) os resultados foram semelhantes, com 54,34 e 59,71% dos agregados retidos na primeira classe, via úmida, e entre 96,46 e 96,95% na via seca.

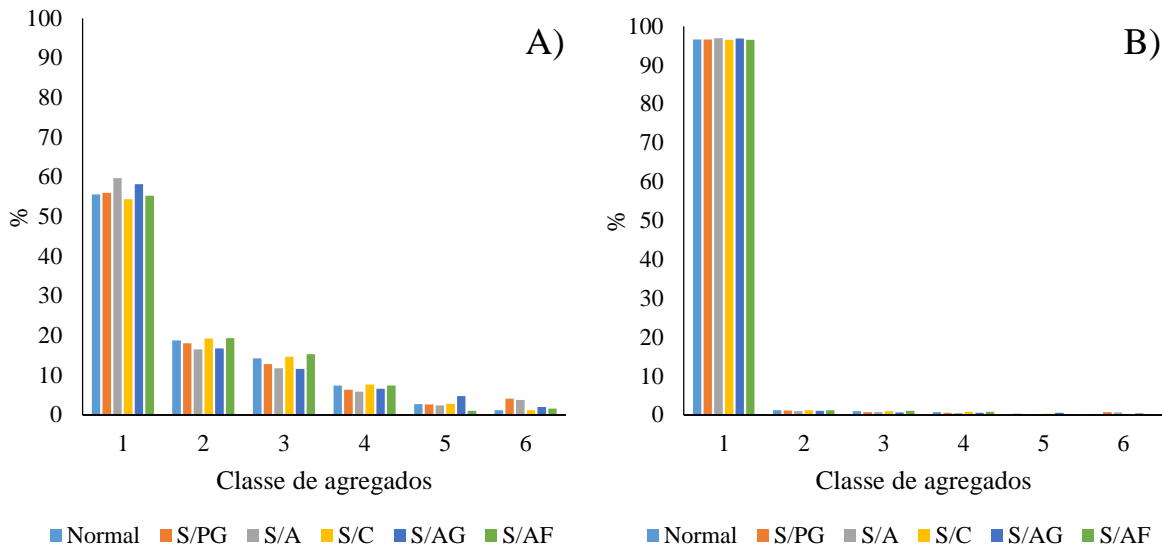
Por outro lado, quando se compara as proporções dos agregados na classe 1 entre os processos via úmida e seca, nota-se que, independentemente da profundidade, os valores são menores em via úmida (Figuras 6 e 7). Esse comportamento é esperado em vista que, na via úmida, é aplicada uma maior força de ruptura para promover a quebra dos agregados; neste sentido, a permanência de agregados nas peneiras superiores em ambas as vias, é um indicativo de uma boa estruturação (SILVA; MIELNICZUK, 1998).

**Figura 6-** Proporção de agregados dos solos em cada classe na profundidade de 0 a 15 cm, com e sem as frações grosseiras. A) agregados via úmida; B) agregados via seca.



Normal: massa total de agregados; S/P: sem partículas grosseiras; S/A: sem areia total; S/C: sem cascalho; S/AG: sem areia grossa; S/AF: sem areia fina.

**Figura 7-** Proporção de agregados de solo em cada classe na profundidade de 15 a 30 cm, com e sem as frações grosseiras. A) agregados via úmida; B) agregados via seca.



Normal: massa total de agregados; S/P: sem partículas grosseiras; S/A: sem areia total; S/C: sem cascalho; S/AG: sem areia grossa; S/AF: sem areia fina.

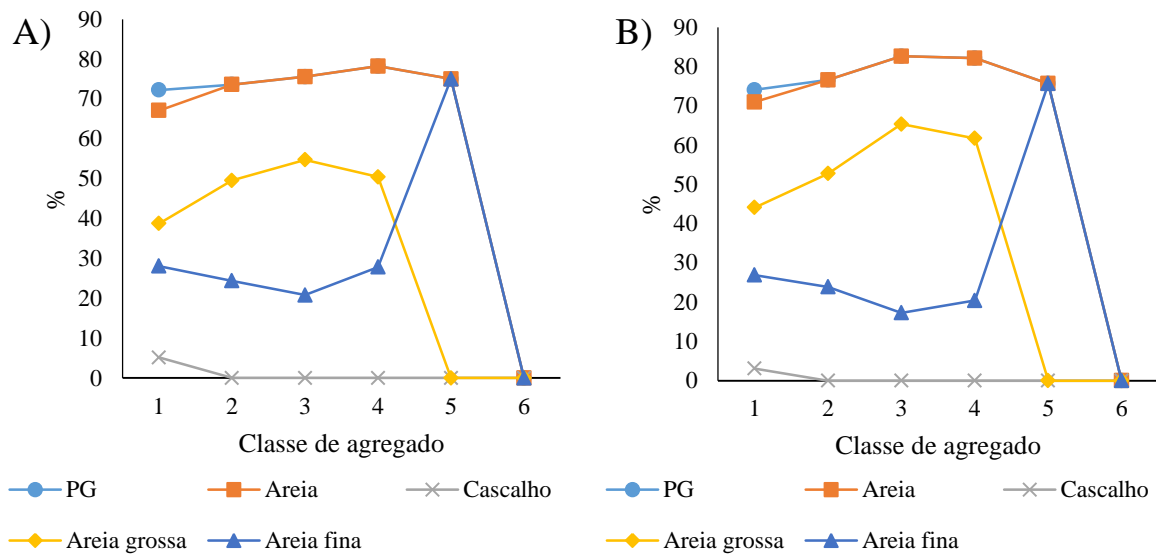
As alterações nas proporções de agregados após a correção das partículas grosseiras (PGs) foram pequenas, isto pode indicar, conforme Carvalho et al. (2014) uma distribuição semelhante das PGs nas diferentes classes.

A classe 6 não teve seus valores de massa alterados em nenhuma condição avaliada (Tabela 3); contudo, a sua proporção foi modificada após a remoção das frações grosseiras; uma vez que com a redução da massa total, aquele valor passou a representar uma porção proporcionalmente maior da amostra.

#### 4.2 Percentual de frações grosseiras nas classes de agregados

Na camada de 0 a 15 cm, o percentual das partículas grosseiras nos agregados ficou acima de 70 %, em ambas as vias de separação, com leve tendência de aumento no sentido da classe 1 para 5 (Figura 8 A e B), onde os diâmetros das classes de agregados diminuem nessa ordem.

**Figura 8-** Teor das frações grosseiras em cada classe de agregado da camada de 0 a 15 cm. A) Via úmida; B) Via seca.



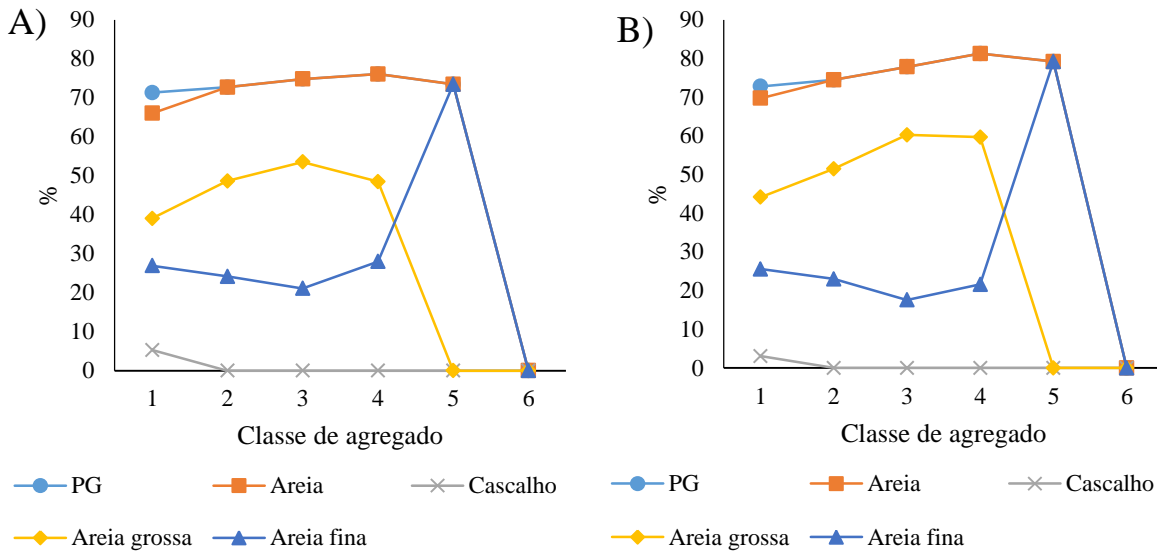
PG = partículas grosseiras (cascalho + areia total).

Observa-se que os 72,25 % de partículas grosseiras presentes na primeira classe de agregados, na via úmida, são constituídos basicamente por areia total (grossa + fina), confirmado pela distribuição: 67,09 % com a fração areia total; 5,16 % de cascalho; 38,74 % de areia grossa e 28,06 % de areia fina (Figura 8 A).

Na camada de 15 a 30 cm, seus agregados também apresentaram altos percentuais de partículas grosseiras (> 70%), independentemente do processo de ruptura (via úmida ou seca), seguindo a mesma tendência da camada superior, com um leve aumento da proporção dessas partículas, conforme diminui o diâmetro da classe (Figura 8 A e B).

A fração cascalho está presente apenas nos agregados da primeira classe ( $\varnothing_{eq.}$  entre 5,32 e 2,00 mm), pois o limite inferior da peneira usada ( $\varnothing_{eq.} = 2,0$  mm) é também o limite inferior desta fração [ $2,00 \leq \varnothing_{eq. \text{ cascalho (mm)}} < 20,00$ ]. Na classe 5 ( $\varnothing_{eq.}$  entre < 0,250 e 0,125mm) há apenas a fração areia fina, pois o seu limite superior ( $\varnothing_{eq.} = 0,250$  mm) também é o limite para separação entre as subclasses areia grossa e fina.

**Figura 9-** Teor das frações grosseiras em cada classe de agregado da camada de 15 a 30 cm. A) Via úmida; B) Via seca.



PG = partículas grosseiras (cascalho + areia total).

O aumento dos percentuais de areia total conforme a redução dos  $\varnothing_{eq}$  das classes de agregados (1 para 5) também foi observado no trabalho de Kristiansen et al. (2006), onde os teores de areia apresentaram um comportamento semelhante ao desta pesquisa, inclusive com a particularidade da redução dos teores de areia total na classe 5. De fato, os solos em estudo têm baixos teores de argila total (155 a 181 g kg<sup>-1</sup>), podendo-se esperar que o material retido, ainda em forma de agregado (matéria orgânica, areia, silte e argila), seja constituído em maior proporção pelas partículas grosseiras. Porém, conforme os dados apresentados por Schweizer et al. (2019), o aumento nos teores de areia total nos agregados entre as classes 1 e 5 pode ser explicado pelos fatores de agregação do solo. Esses autores comentam que, para a formação de agregados grandes e estáveis, e conseqüentemente maior percentual de agregados nas primeiras classes (1 a 3), são necessários maiores teores de argila, que aumentam as forças envolvidas na sua formação, justificando o aumento dessa fração nas classes de menor  $\varnothing_{eq}$ .

#### 4.3 Diâmetro médio ponderado (DMP)

Conforme as Tabelas 5 e 6, o DMP ficou acima de 2 mm nas duas profundidades, independentemente das vias para separação, indicando que a maior parte dos agregados ficaram retidos nas peneiras superiores, refletindo os dados das Figuras 6 e 7.

Quando comparados os resultados das amostras da profundidade 0 a 15 cm em ambas profundidades, entre a via úmida e a seca, observa-se que houve diferença significativa entre

os índices de agregação, sendo maiores os via seca. Entretanto, quando comparado o efeito da remoção das partículas grosseiras (totalmente ou de subfrações) não houve diferença significativa (Tabela 5).

**Tabela 5** - Diâmetro médio ponderado de agregados dos solos na profundidade de 0 a 15 cm, com e sem as frações grosseiras.

Via	DMP	DMP S/P	DMP S/A	DMP S/C	DMP S/AG	DMP S/AF	CV
	----- mm -----						%
Úmida	2,55aB	2,53aB	2,63aB	2,52aB	2,60aB	2,54aB	16,66
Seca	3,55aA	3,54aA	3,55aA	3,55aA	3,56aA	3,55aA	2,11

DMP: Diâmetro médio ponderado, S/P: sem partículas grosseiras; S/A: sem areia total; S/C: sem cascalho; S/AG: sem areia grossa; S/AF: sem areia fina. As letras indicam as diferenças entre os tratamentos no teste de Tukey a 5%, onde as minúsculas comparam os resultados entre a mesma linha; e as maiúsculas entre a mesma coluna.

Na camada subsuperficial (Tabela 6) os resultados foram semelhantes à superficial, com o DMP da via úmida diferindo significativamente da via seca. Contudo, também não houve diferença entre o DMP calculado com e sem as partículas grosseiras e as subfrações.

**Tabela 6** - Diâmetro médio ponderado de agregados dos solos na profundidade de 15 a 30 cm, com e sem as frações grosseiras.

Via	DMP	DMP S/P	DMP S/A	DMP S/C	DMP S/AG	DMP S/AF	CV
	----- mm -----						%
Úmida	2,45aB	2,44aB	2,54aB	2,42aB	2,50aB	2,45aB	17,89
Seca	3,56aA	3,56aA	3,57aA	3,56aA	3,56aA	3,56aA	1,85

DMP: Diâmetro médio ponderado, S/P: sem partículas grosseiras; S/A: sem areia total; S/C: sem cascalho; S/AG: sem areia grossa; S/AF: sem areia fina. As letras indicam as diferenças entre os tratamentos no teste de Tukey a 5%, onde as minúsculas comparam os resultados entre a mesma linha; e as maiúsculas, entre a mesma coluna.

A permanência dos agregados nas primeiras peneiras, conforme Figuras 6 e 7, e os resultados de DMP acima de 2 mm, indicam uma forte agregação do solo. Normalmente, os aumentos nos valores do DMP são relacionados com o teor de argila, grau de flocculação e teor da MOS, enquanto a desagregação do solo está relacionada com o aumento do teor de areia (AZEVEDO; SCHULE, 2007; BARTLOVÁ et al. 2015; LI et al. 2019; MOTA; FREIRE; ASSIS-JÚNIOR, 2013; PI; HUGGINS; SHARRATT, 2019; TERASSI; SILVEIRA; BONIFÁCIO, 2014).

Contudo, de acordo com os coeficientes de correlações das características do solo com o DMP (vistos mais adiantes nas Tabelas 17, 19, 25 e 27), os fatores citados não se

relacionaram ao DMP da forma normal; pois as correlações na maioria são fracas e algumas que normalmente são positivas (como teor de argila e carbono orgânico), foram negativas; e outras que são negativas, (como teor de areia), em alguns casos foram positivas. Assim torna-se difícil atribuir, com firmeza, o papel destes fatores na agregação; o mais provável é que não haja um fator de destaque

De acordo com Boix-Fayos et al. (2001) e Dufrac et al. (2004) a relação positiva com a areia ocorre quando ela está incluída nos agregados de solo e provavelmente servindo como um agente de estabilização da estrutura (destaque para a fração areia grossa). Neste sentido, trabalhos como os de Saiedi et al. (2017) demonstram que mesmo em solos de duna com 92% de areia e 1% de argila, a adição de um agente cimentante (no caso polímeros combinados com cascas de pistache) possibilitou a reestruturação do solo e a formação de agregados com as partículas de areia.

Deve-se considerar que, no caso dos solos em estudo, apesar da maior parte do material dos agregados ser composta por partículas grosseiras (acima de 70%), o restante (mais de 20%) da sua massa é formada por argila, silte e matéria orgânica (Figuras 8 e 9) e pode ter influência na agregação. As correlações fracas e negativas com o carbono orgânico total podem, de acordo com Li et al. (2019) indicar que há outros fatores interferindo na agregação, como a presença de óxidos de ferro e alumínio. Neste sentido, o trabalho de Costa et al. (2014) indica que nos solos da EECAC a goethita seria o segundo mineral predominante nas argilas.

Estes valores das correlações também podem estar ocorrendo devido a má representação da fração da matéria orgânica que melhor contribui para formação de agregados por parte da análise do carbono orgânico total (CARRIZO et al., 2015). Também não se pode descartar a possibilidade de outro(s) fator(es), não analisados nos solos estudados, estarem contribuindo para a agregação.

As diferenças não significativas nos valores de DMP após a remoção das partículas grosseiras ocorreram devido a não alteração das proporções dos agregados entre as diferentes classes apresentadas nas Figuras 6 e 7, indicando que não houve o efeito “areia solta”, que poderia interferir nos dados (MÁRQUEZ et al., 2004).

#### **4.4 Diâmetro médio geométrico (DMG)**

O DMG para os solos com profundidade de 0 a 15 cm foi de 3,42 mm na via seca e, com a remoção das partículas grosseiras, variou entre 3,35 e 3,42 mm. Na via úmida, os resultados foram menores, sendo 1,98 mm, e com a remoção das partículas grosseiras, variou

entre 1,86 e 2,00 mm (Tabela 7). Na camada de 15 a 30 cm (Tabela 8) o DMG foi de 3,44 mm na via seca, variando de 3,40 a 3,44 mm quando das remoções das partículas nos cálculos. Na via úmida, os resultados também diminuíram em relação à via seca, com 1,90 mm, variando entre 1,81 e 1,92 mm com a remoção das partículas grosseiras.

**Tabela 7** - Diâmetro médio geométrico de agregados dos solos na profundidade de 0 a 15 cm, com e sem as frações grosseiras.

Via	DMG	DMG S/P	DMG S/A	DMG S/C	DMG S/AG	DMG S/AF	CV
	----- mm -----						%
Úmida	1,98aB	1,86aB	1,97aB	1,95aB	1,95aB	2,00aB	25,60
Seca	3,42aA	3,35aA	3,38aA	3,41aA	3,40aA	3,42aA	5,68

DMG: Diâmetro médio geométrico, S/P: sem partículas grosseiras; S/A: sem areia total; S/C: sem cascalho; S/AG: sem areia grossa; S/AF: sem areia fina. As letras indicam as diferenças entre os tratamentos no teste de Tukey a 5%, onde as minúsculas comparam os resultados entre a mesma linha; e as maiúsculas, entre a mesma coluna.

**Tabela 8** - Diâmetro médio geométrico de agregados dos solos na profundidade de 15 a 30 cm, com e sem as frações grosseiras.

Via	DMG	DMG S/P	DMG S/A	DMG S/C	DMG S/AG	DMG S/AF	CV
	----- mm -----						%
Úmida	1,90aB	1,81aB	1,91aB	1,87aB	1,88aB	1,92aB	27,39
Seca	3,44aA	3,40aA	3,43aA	3,43aA	3,43aA	3,44aA	4,29

DMG: Diâmetro médio geométrico, S/P: sem partículas grosseiras; S/A: sem areia total; S/C: sem cascalho; S/AG: sem areia grossa; S/AF: sem areia fina. As letras indicam as diferenças entre os tratamentos no teste de Tukey a 5%, onde as minúsculas comparam os resultados entre a mesma linha; e as maiúsculas, entre a mesma coluna.

Assim, como visto para o DMP, os valores de DMG, em ambas as profundidades, mostram que houve diferenças entre as vias de separação, porém o mesmo não aconteceu com remoção das partículas grosseiras e as subfrações. O DMG é um índice que indica a classe de maior ocorrência, onde seu valor fica compreendido entre a faixa de  $\phi_{eq}$  que define a classe de agregados. Ele é considerado como o melhor índice para representação da agregação do solo, por conseguir representar bem a condição estrutural, expressando a distribuição dos agregados em um valor único (DEMARCHI; PERUSI; PIROLI, 2012).

A não alteração dos valores de DMG, após a remoção das frações grosseiras, reforça os resultados obtidos para o DMP, indicando também que, ao menos nas condições avaliadas, as frações grosseiras dos solos estudados possuem alguma influência na estrutura.



O conteúdo de areia nos solos é comumente atribuído como indicativo de sua baixa estabilidade, como abordado em Aksakal, Angin e Sari (2020) e Terassi, Silveira e Bonifácio (2014); ou que tem influência específica na agregação, a depender da subfração (areia grossa ou areia fina), como indicado em Dufranc et al. (2004). Contudo, conforme os resultados apresentados em outros trabalhos como Borges, Calonego e Rosolem (2019); Dai et al. (2019) e Rosa et al. (2018); é possível uma boa agregação, em solos arenosos, a depender do sistema de manejo e características do solo.

A areia não tem uma ação tão ativa no processo de formação de agregados, como a argila e a MOS, por exemplo. No entanto, a areia pode ser coberta por uma camada de argila, de material orgânico, ou envoltas por raízes e hifas de fungos, sendo incluídas na estrutura do solo, dentro dos agregados; e a depender de como ocorre o processo, a areia pode servir como “esqueleto” para o agregado (DEGENS; SPARLING; ABBOTT, 1996; DENEFF et al. 2001; DUFRANC et al., 2004; KHEIRFAM; ASADZADEH, 2020; SAIEDI et al., 2017; SINGER et al., 1992).

Uma vez que as frações grosseiras estejam bem incluídas na estrutura, não ocorrerá a sua liberação durante a quebra dos agregados e o acúmulo nas peneiras em quantidade suficiente para que o “efeito areia solta” - conforme descrito por Márquez et al. (2004) - ocorra e possa interferir nos índices.

No trabalho de Carvalho et al. (2014), que avaliam a agregação de solos muito argilosos, a correção das partículas grosseiras não alterou as proporções da distribuição das classes de agregados, gerando uma redução não significativa no valor do DMG; corroborando os resultados encontrados nesta pesquisa.

Assim, o principal fator para a ocorrência de interferências por parte das partículas grosseiras na avaliação dos agregados parece ser o acúmulo destas em determinadas peneiras, gerando uma proporção desigual dentre as classes. Neste sentido, o que mais aparenta interferir na proporção desigual é a baixa estabilidade dos agregados (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1993; CHRISTENSEN, 1986; KRISTIANSEN et al., 2006; PASSOS et al., 2007).

#### **4.5 Índices de estabilidade de agregados (IEA)**

O IEA<sub>1</sub>, conforme a Tabela 09, foi de 71,82% na camada de 0 a 15 cm, variando de 70,99 a 74,18 %, quando removidas as frações grosseiras. Na camada de 15 a 30 cm, o valor foi de 68,92 %, variando entre 68,05 e 71,39 %, quando removidas as partículas grosseiras. Em ambas as camadas a remoção de quaisquer das frações grosseiras não alterou, significativamente, os índices.

**Tabela 9** - Índice de estabilidade de agregados (IEA<sub>1</sub>) considerando os ensaios via úmida e seca, com e sem as frações grosseiras.

Prof	IEA <sub>1</sub>	IEA <sub>1</sub> S/P	IEA <sub>1</sub> S/A	IEA <sub>1</sub> S/C	IEA <sub>1</sub> S/AG	IEA <sub>1</sub> S/AF	CV
- cm -	----- % -----						
0-15	71,82a	71,55a	74,18a	70,99a	73,08a	71,80a	17,10
15-30	68,92a	68,69a	71,39a	68,05a	70,15a	69,01a	17,75

IEA<sub>1</sub>: Índice de estabilidade de agregados, considerando os ensaios via úmida e seca, S/P: sem partículas grosseiras; S/A: sem areia total; S/C: sem cascalho; S/AG: sem areia grossa; S/AF: sem areia fina. Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

O IEA<sub>1</sub>, calculado pela equação (4), é estimado com base na redução do DMP entre as vias seca e úmida de separação. Assim, quanto maior for a redução, menor é a resistência dos agregados peneirados em água, logo, menor será o IEA<sub>1</sub> (SALTON et al. 2018). Assim, pela forma de calcular o IEA<sub>1</sub> ( $DMP_{úmido}/DMP_{seco}$ ) é esperada uma associação entre os valores de IEA<sub>1</sub> e DMP (VASCONCELOS et al., 2010). Conseqüentemente, as causas para que a remoção da areia não tenha efeito sobre o DMP podem estar associadas ao IEA<sub>1</sub>. Reforça-se que uma boa relação entre as partículas grosseiras e os agentes agregantes, favorece a estrutura do agregado de forma que, sua remoção não altere a proporção da massa dos agregados o suficiente para gerar uma diferença nos índices DMP, DMG e IEA<sub>1</sub>.

Os resultados do IEA<sub>2</sub>, na profundidade de 0 a 15 cm, considerando apenas os dados via úmida (Tabela 10), ficaram acima de 95,83 %, variando entre 92,68 e 97,15%, nas diferentes condições de remoção das partículas grosseiras. Da mesma forma, na profundidade de 15 a 30 cm, o IEA<sub>2</sub> foi de 96,06 %, variando entre 93,23 e 97,33 %.

Diferente dos outros índices de agregação, o IEA<sub>2</sub> apresentou diferença significativa após a correção das partículas grosseiras, onde os maiores valores ocorreram no cálculo normal e com a remoção da areia fina e cascalho (as subfrações de menor massa) e os menores onde removeu-se as partículas totais, a areia total e areia grossa.

**Tabela 10** - Índice de estabilidade de agregados (IEA<sub>2</sub>), considerando apenas os dados via úmida, com e sem as frações grosseiras.

Prof	IEA <sub>2</sub>	IEA <sub>2</sub> S/P	IEA <sub>2</sub> S/A	IEA <sub>2</sub> S/C	IEA <sub>2</sub> S/AG	IEA <sub>2</sub> S/AF	CV
- cm -	----- % -----						
0-15	95,83a	92,68b	93,34b	95,71a	92,86b	97,15a	2,84
15-30	96,06a	93,26c	93,82bc	95,95ab	93,23c	97,33a	2,86

IEA<sub>2</sub>: Índice de estabilidade de agregados, considerando apenas os dados via úmida, S/P: sem partículas grosseiras; S/A: sem areia total; S/C: sem cascalho; S/AG: sem areia grossa; S/AF: sem areia fina. Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Este comportamento indica que a proporção de macroagregados ( $\varnothing_{eq.} > 0,250$  mm) foi alterada, pois de acordo com Demarchi, Perusi e Piroli (2012), o IEA será maior quanto maior for a concentração de material nestas classes. Essa diferença na proporção macro/microagregados se deve a porcentagem de macroagregados ser reduzida após as correções; pois, enquanto a massa dos macroagregados foi reduzida em mais de 70%, nos microagregados a redução foi de 50%; assim, a correção das partículas grosseiras

A remoção da areia, já está prevista no estudo de Castro Filho; Muzilli e Podanoschi (1998), onde foi indicada a equação para calcular o IEA<sub>2</sub>. Uma vez que esse índice é calculado usando diretamente o valor da massa dos agregados enquanto os outros usam este valor junto da média da classe de agregados, é possível que haja uma maior sensibilidade às partículas grosseiras que nos outros índices. Assim, a partir dos dados desta pesquisa, houve uma provável superestimação do IEA<sub>2</sub> devido à presença de partículas grosseiras; nos trabalhos de Elliott et al., 1991 e Hillel (2003), este comportamento já foi indicado como provável influência.

#### 4.6 Índice de sensibilidade (IS)

Os índices de sensibilidade, usados para comparar o efeito da remoção de partículas grosseiras, também mostram como a alteração nos índices de agregação foi mínima com a remoção das partículas grosseiras. Assim, para o DMPu, o IS variou de 0,99 a 1,03 na camada superior, e de 0,99 a 1,04 na camada inferior (Tabela 11).

**Tabela 11** - Índice de sensibilidade (IS) comparando o diâmetro médio ponderado via úmida (DMPu) com e sem as frações grosseiras.

Prof	DMPu	DMPu S/P	DMPu S/A	DMPu S/C	DMPu S/AG	DMPu S/AF
- cm -	----- IS (adm.) -----					
0-15	1,00	0,99	1,03	0,99	1,02	1,00
15-30	1,00	1,00	1,04	0,99	1,02	1,00

DMPu: Diâmetro médio ponderado via úmida, S/P: sem partículas grosseiras; S/A: sem areia total; S/C: sem cascalho; S/AG: sem areia grossa; S/AF: sem areia fina, adm.: adimensional

Ainda em relação aos valores da Tabela 11, observa-se que na camada superficial, as alterações nos cálculos (sem partículas grosseiras e sem cascalho) promoveram redução nos valores (IS <1,00); enquanto o melhor índice (sem areia total) houve um aumento de 3 % (IS = 1,03). Na camada subsuperficial, o DMPu sem cascalho teve uma redução de 1 % (IS = 0,99) e nos cálculos sem areia total o aumento foi de 4 % (IS = 1,04).

Desse modo, nota-se que as alterações nos cálculos dos índices observadas nesse estudo foram de baixa magnitude, podendo ser negligenciadas, uma vez que foram bem inferiores ao encontrado em outras pesquisas (BERTOL et al., 2004; MELO et al., 2014).

Apesar da pequena diferença entre os tratamentos, nota-se uma tendência que reflete alguns efeitos das partículas grosseiras; como a redução dos índices pelo acúmulo de areia, indicada por Márquez et al. (2004) e o aumento gerado pelas partículas maiores, como o cascalho, indicado por Hillel (2003).

Essa tendência também foi observada na obtenção dos valores dos IS do diâmetro médio ponderado via seca (DMPs), apontando que não houve alteração entre as formas de cálculo em ambas as profundidades (Tabela 12).

**Tabela 12** - Índice de sensibilidade (IS) comparando o diâmetro médio ponderado via seca (DMPs) com e sem as frações grosseiras.

Prof	DMPs	DMPs S/P	DMPs S/A	DMPs S/C	DMPs S/AG	DMPs S/AF
- cm -	----- IS (adm.) -----					
0-15	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
15-30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

DMPs: Diâmetro médio ponderado via seca, S/P: sem partículas grosseiras; S/A: sem areia total; S/C: sem cascalho; S/AG: sem areia grossa; S/AF: sem areia fina, adm.: adimensional

Esse resultado decorre, provavelmente, pela grande proporção de partículas que ficou retida na primeira peneira (Figuras 6 B e 7 B) quando os agregados foram separados pela via seca, nas duas profundidades. Como o cálculo do DMP confere peso maior às peneiras maiores, a baixa proporção de material nas outras peneiras reduz as possibilidades de alterações nos resultados, quando são removidas as frações grosseiras (DEMARCHI; PERUSI; PIROLI, 2012).

Para o diâmetro médio geométrico via úmida (DMGu), a remoção das frações grosseiras também causou variações pequenas no IS (Tabela 13). As maiores reduções, em ambas as profundidades, ocorreram quando se removeu totalmente as partículas grosseiras, diminuindo 6 e 5 % nas camadas de 0 a 15 e de 15 a 30 cm, respectivamente. No entanto, houve aumento de 1 % no valor do índice quando se removeu a areia fina (nas duas profundidades) e a areia total, apenas na de 15 a 30 cm.

**Tabela 13** - Índice de sensibilidade (IS) comparando o diâmetro médio geométrico via úmida (DMGu), com e sem as frações grosseiras.

Prof	DMGu	DMGu S/P	DMGu S/A	DMGu S/C	DMGu S/AG	DMGu S/AF
- cm -	----- IS (adm.) -----					
0-15	1,00	0,94	0,99	0,98	0,99	1,01
15-30	1,00	0,95	1,01	0,98	0,99	1,01

DMGu: Diâmetro médio geométrico via úmida, S/P: sem partículas grosseiras; S/A: sem areia total; S/C: sem cascalho; S/AG: sem areia grossa; S/AF: sem areia fina, adm.: adimensional

No diâmetro médio geométrico pela via seca (DMGs), a remoção das partículas grosseiras promoveu uma pequena redução no índice de sensibilidade (Tabela 14). Na camada de 0 a 15 cm, a redução com a remoção total das partículas grosseiras foi de 2%; e com a remoção da areia total e areia grossa, foi de 1 %. Na camada de 15 a 30 cm, houve redução de 1 % apenas com a remoção total das partículas grosseiras.

**Tabela 14** - Índice de sensibilidade (IS) comparando o diâmetro médio geométrico via seca (DMGs) com e sem as frações grosseiras.

Prof	DMGs	DMGs S/P	DMGs S/A	DMGs S/C	DMGs S/AG	DMGs S/AF
- cm -	----- IS (adm.) -----					
0-15	1,00	0,98	0,99	1,00	0,99	1,00
15-30	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00

DMGs: Diâmetro médio geométrico via seca, S/P: sem partículas grosseiras; S/A: sem areia total; S/C: sem cascalho; S/AG: sem areia grossa; S/AF: sem areia fina, adm.: adimensional

Assim como no DMP as diferenças geradas com as correções foram, em geral, pequenas, o que ser explicado pelo fato de que, no cálculo para o DMG é usada, diretamente, a massa das classes de agregados e não as proporções como no DMP (KEMPER; ROSENAU, 1986). Essa condição que se assemelha aos resultados encontrados por Carvalho et al. (2014) para o DMG, onde também não houve diferenças significativas.

O IS calculado para o IEA<sub>1</sub> (Tabela 15), também indicou pequenas alterações, com aumento nos índices em função da remoção das frações areia total e areia grossa, em ambas as profundidades. A única redução ocorreu com a remoção do cascalho, na grandeza de 1 % em ambas as camadas.

**Tabela 15** - Índice de sensibilidade (IS) para o índice de estabilidade de agregados (IEA<sub>1</sub>), considerando os ensaios via úmida e seca, calculado com e sem as frações grosseiras.

Prof	IEA <sub>1</sub>	IEA <sub>1</sub> S/P	IEA <sub>1</sub> S/A	IEA <sub>1</sub> S/C	IEA <sub>1</sub> S/AG	IEA <sub>1</sub> S/AF
- cm -	----- IS (adm.) -----					
0-15	1,00	1,00	1,03	0,99	1,02	1,00
15-30	1,00	1,00	1,04	0,99	1,02	1,00

IEA1: Índice de estabilidade de agregados, considerando os ensaios via úmida e seca, S/P: sem partículas grosseiras; S/A: sem areia total; S/C: sem cascalho; S/AG: sem areia grossa; S/AF: sem areia fina. adm.: adimensional.

Da mesma forma, o IS calculado para o IEA<sub>2</sub> (Tabela 16), também foram pouco alterados. As condições em que os maiores valores de massa foram removidos, ocorreram nos solos da profundidade de 0 a 15 cm, com redução de até 3% (de 1,00 % para 0,97%). Nessa profundidade, não foram observadas alterações quando o índice foi determinado removendo apenas o cascalho (IEA<sub>2</sub> S/C = 1,00%); sendo superior à testemunha (IEA<sub>2</sub>) quando da remoção da areia fina (IEA<sub>2</sub> S/AF = 1,01%).

**Tabela 16** - Índice de sensibilidade (IS) para o índice de estabilidade de agregados (IEA<sub>2</sub>), considerando apenas os ensaios via úmida, calculado com e sem as frações grosseiras.

Prof	IEA <sub>2</sub>	IEA <sub>2</sub> S/P	IEA <sub>2</sub> S/A	IEA <sub>2</sub> S/C	IEA <sub>2</sub> S/AG	IEA <sub>2</sub> S/AF
- cm -	----- IS (adm.) -----					
0-15	1,00	0,97	0,97	1,00	0,97	1,01
15-30	1,00	0,97	0,98	1,00	0,97	1,02

IEA2: Índice de estabilidade de agregados, considerando apenas os ensaios via úmida, S/P: sem partículas grosseiras; S/A: sem areia total; S/C: sem cascalho; S/AG: sem areia grossa; S/AF: sem areia fina; adm.: adimensional.

Diante desses resultados, e nas condições dessa pesquisa, pode-se afirmar que, as pequenas alterações observadas nos IS (máximo de 3%) podem ser consideradas como não representativas, para o efeito da remoção das frações grosseiras, como indicado nos índices apresentados nas Tabelas 15 e 16, podendo-se inferir que o IS não seja um índice adequado para identificar esse tipo de alteração.

#### 4.7 Coeficiente de correlação de Pearson

A tabela de correlação entre o diâmetro médio ponderado via úmida (DMPu) e os parâmetros de caracterização do solo, na camada de 0 -15 cm (Tabela 17), mostra que houve correlação significativa, e positiva, entre o índice de agregação com as frações areia total e areia grossa; enquanto foi negativa com a fração silte e a densidade do solo.

**Tabela 17** - Coeficientes de correlação de Pearson entre os parâmetros de caracterização do solo e o diâmetro médio ponderado via úmida (DMPu), na camada de 0 a 15 cm, com e sem as frações grosseiras.

Variáveis	DMPu	DMPu S/P	DMPu S/A	DMPu S/C	DMPu S/AG	DMPu S/AF
AT	0,415*	0,496*	0,489*	0,419*	0,452*	0,418*
AG	0,345*	0,358*	0,350*	0,349*	0,353*	0,342*
AF	-0,193	-0,152	-0,145	-0,196	-0,176	-0,186
Silte	-0,330*	-0,313	-0,336*	-0,322	-0,340*	-0,329
Arg. T	-0,183	-0,286	-0,260	-0,194	-0,217	-0,188
ADA	-0,138	-0,241	-0,238	-0,141	-0,176	-0,147
GF	-0,039	-0,061	-0,035	-0,048	-0,042	-0,036
S/A	-0,234	-0,171	-0,197	-0,225	-0,226	-0,229
pH	-0,008	-0,067	-0,041	-0,017	-0,026	-0,009
Ds	-0,437*	-0,476*	-0,464	-0,443	-0,462	-0,433*
C.O.	0,128	0,184	0,169	0,134	0,157	0,122
ESTC	-0,291	-0,237	-0,249	-0,288	-0,267	-0,297

AT: Areia total; AG: Areia grossa; AF: Areia fina; Arg. T: Argila total; ADA: Argila dispersa em água; GF: Grau de flocculação; S/A: Silte/Argila; Ds: Densidade do solo; C. O.: Carbono orgânico; ESTC: Estoque de carbono; DMPu: Diâmetro médio ponderado via úmida, S/P: sem partículas grosseiras; S/A: sem areia total; S/C: sem cascalho; S/AG: sem areia grossa; S/AF: sem areia fina. Os valores seguidos de \* indicam a ocorrência de correlação significativa.

Correlações positivas entre a fração areia e a agregação do solo são incomuns. Normalmente é atribuído a este fator o efeito de desagregação do solo (TERASSI; SILVEIRA; BONIFÁCIO, 2014). Contudo, estes resultados podem indicar que esta fração granulométrica está fazendo parte dos agregados do solo. No trabalho de Boix-Fayos et al. (2001) as correlações positivas entre frações de areia e macroagregados, foi atribuída a inclusão delas nos agregados a partir da ação da biota do solo, cobrindo as partículas com algum agente cimentante.

No entanto vale notar que dentre as subfrações da areia total, a areia grossa apresentou correlação positiva (variando de 0,342\* a 0,350\*); enquanto a areia fina (apesar de não significativa) apresentou correlações negativas (com variação entre -0,145 e -0,196). Resultados semelhantes foram encontrados por Dufranc et al. (2004), onde há indicações que a areia grossa, além de fazer parte do agregado, também pode ter função de estabilização da estrutura; enquanto à areia fina é atribuído um efeito de desestruturação do solo. Ambos os efeitos estão relacionados com a capacidade das raízes de se fixarem ou não na superfície das partículas.

Semelhante ao DMPu, o diâmetro médio geométrico via úmida (DMGu), na camada de 0 - 15 cm (Tabela 18), apresentou correlações significativas e positivas com as frações areia total e areia grossa, mas negativas e significativas com a fração silte e densidade do solo.

**Tabela 18** - Coeficientes de correlação de Pearson entre os parâmetros de caracterização do solo e o diâmetro médio geométrico via úmida (DMGu), na camada de 0 a 15 cm, com e sem as frações grosseiras.

Variáveis	DMGu	DMGu S/P	DMGu S/A	DMGu S/C	DMGu S/AG	DMGu S/AF
AT	0,437*	0,507*	0,497*	0,441*	0,474*	0,437*
AG	0,340*	0,350*	0,342*	0,344*	0,351*	0,333*
AF	-0,170	-0,131	-0,127	-0,171	-0,157	-0,159
Silte	-0,366*	-0,353*	-0,371*	-0,360*	-0,377*	-0,363*
Arg. T	-0,178	-0,266	-0,239	-0,188	-0,209	-0,181
ADA	-0,169	-0,253	-0,247	-0,173	-0,206	-0,176
GF	0,007	-0,017	0,006	0,000	0,006	0,009
S/A	-0,274	-0,219	-0,241	-0,266	-0,268	-0,267
pH	0,018	-0,035	-0,012	0,011	0,006	0,016
Ds	-0,388*	-0,433*	-0,429*	-0,391*	-0,412*	-0,388*
C.O.	0,072	0,108	0,098	0,076	0,100	0,062
ESTC	-0,325	-0,296	-0,309	-0,321	-0,303	-0,337

AT: Areia total; AG: Areia grossa; AF: Areia fina ; Arg. T: Argila total; ADA: Argila dispersa em água; GF: Grau de floculação; S/A: Silte/Argila; Ds: Densidade do solo; C. O.: Carbono orgânico; ESTC: Estoque de carbono; DMGu: Diâmetro médio geométrico via úmida, S/P: sem partículas grosseiras; S/A: sem areia total; S/C: sem cascalho; S/AG: sem areia grossa; S/AF: sem areia fina. Os valores seguidos de \* indicam a ocorrência de correlação significativa.

A correlação negativa com o teor de silte pode estar relacionada à obstrução de poros, caso essas partículas estejam se desprendendo da estrutura (BANDINI; SATHISKUMAR, 2009). Assim, o menor teor de silte poderia estar relacionado com uma melhor circulação da água dentro do agregado e uma melhor resistência à quebra.

A correlação negativa entre os DMPu e DMGu e a densidade do solo, podem ocorrer em função da melhor estrutura e maior agregação dos solos e assim, tendem a apresentar menor densidade (BRONICK; LAL, 2005).

Por outro lado, na camada de 15 a 30 cm, a maioria das correlações entre o DMPu e os parâmetros de caracterização do solo não foram significativas (Tabela 19), as exceções foram o carbono orgânico total e o estoque de carbono, que apresentaram correlação negativa e significativa com os índices de agregação.



**Tabela 19** - Coeficientes de correlação de Pearson entre os parâmetros de caracterização do solo e o diâmetro médio ponderado via úmida (DMPu), na camada de 15 a 30 cm, com e sem as frações grosseiras.

Variáveis	DMPu	DMPu S/P	DMPu S/A	DMPu S/C	DMPu S/AG	DMPu S/AF
AT	-0,007	0,033	0,041	-0,007	0,034	-0,021
AG	0,043	0,071	0,073	0,043	0,083	0,024
AF	-0,085	-0,079	-0,072	-0,086	-0,097	-0,073
Silte	0,149	0,180	0,170	0,152	0,161	0,152
Arg. T	-0,077	-0,138	-0,141	-0,078	-0,128	-0,063
ADA	0,059	0,019	0,008	0,060	0,017	0,073
GF	-0,259	-0,279	-0,265	-0,263	-0,262	-0,262
S/A	0,169	0,223	0,217	0,172	0,205	0,163
pH	-0,011	-0,025	-0,011	-0,014	-0,027	0,001
Ds	-0,178	-0,238	-0,237	-0,178	-0,216	-0,176
C.O.	-0,600*	-0,561*	-0,554*	-0,601*	-0,581*	-0,596*
ESTC	-0,640*	-0,619*	-0,613*	-0,640*	-0,634*	-0,634*

AT: Areia total; AG: Areia grossa; AF: Areia fina ; Arg. T: Argila total; ADA: Argila dispersa em água; GF: Grau de floculação; S/A: Silte/Argila; Ds: Densidade do solo; C. O.: Carbono orgânico; ESTC: Estoque de carbono; DMPu: Diâmetro médio ponderado via úmida, S/P: sem partículas grosseiras; S/A: sem areia total; S/C: sem cascalho; S/AG: sem areia grossa; S/AF: sem areia fina. Os valores seguidos de \* indicam a ocorrência de correlação significativa.

Da mesma maneira como observado para o DMPu, as correlações entre a maioria dos parâmetros de caracterização do solo e o DMGu, na camada de 15 a 30 cm (Tabela 20), não foram significativas. Com exceção do carbono orgânico e estoque de carbono do solo, onde foram significativas e negativas.

Diferente da camada superficial (Tabelas 17 e 18), não houve correlação significativa com a fração areia total e subfrações (Tabelas 19 e 20). Assim, provavelmente ela não está mais servindo como um fator de estabilização estrutural. Contudo, como nos dados de percentagem de frações grosseiras (Figura 9), não houve indícios de acúmulo de partículas grosseiras em alguma classe de agregados e nem houve diferença no DMP e DMG após a correção (Tabelas 6 e 8), também provavelmente as partículas grosseiras não está sendo um fator para desestabilização.

Não é comum que o teor de carbono orgânico (C.O.) seja negativamente correlacionado com a agregação do solo, e, nesse caso, os resultados indicam que a matéria orgânica do solo (MOS) está influenciando pouco na agregação. Apesar disso, é interessante notar que na camada de 0 - 15 cm o teor de C.O. teve correlação fraca e positiva com os índices de agregação (DMPu e DMGu, Tabelas 17 e 18, respectivamente), enquanto na subsuperfície foi forte e negativa (DMPu e DMGu, Tabelas 19 e 20, respectivamente).

**Tabela 20** - Coeficientes de correlação de Pearson entre os parâmetros de caracterização e o diâmetro médio geométrico via úmida (DMGu), na camada de 15 a 30 cm, com e sem as frações grosseiras.

Variáveis	DMGu	DMGu S/P	DMGu S/A	DMGu/SC	DMGu S/AG	DMGu S/AF
AT	-0,013	0,005	0,011	-0,012	0,016	-0,024
AG	0,022	0,031	0,036	0,021	0,052	0,005
AF	-0,058	-0,050	-0,050	-0,057	-0,071	-0,045
Silte	0,160	0,201	0,191	0,163	0,174	0,165
Arg. T	-0,077	-0,119	-0,121	-0,079	-0,116	-0,068
ADA	0,058	0,030	0,022	0,058	0,025	0,067
GF	-0,254	-0,268	-0,256	-0,257	-0,256	-0,256
S/A	0,173	0,226	0,219	0,175	0,204	0,171
pH	-0,020	-0,024	-0,012	-0,023	-0,030	-0,011
Ds	0,089	0,050	0,049	0,090	0,062	0,090
C.O.	-0,609*	-0,610*	-0,602*	-0,610*	-0,607*	-0,609*
ESTC	-0,588*	-0,602*	-0,594*	-0,589*	-0,595*	-0,587*

AT: Areia total; AG: Areia grossa; AF: Areia fina ; Arg. T: Argila total; ADA: Argila dispersa em água; GF: Grau de floculação; S/A: Silte/Argila; Ds: Densidade do solo; C. O.: Carbono orgânico; ESTC: Estoque de carbono; DMGu: Diâmetro médio geométrico via úmida, S/P: sem partículas grosseiras; S/A: sem areia total; S/C: sem cascalho; S/AG: sem areia grossa; S/AF: sem areia fina. Os valores seguidos de \* indicam a ocorrência de correlação significativa.

Portanto, há indícios que na camada de 0 - 15 cm, existe alguma influência da MOS, uma vez que a fração areia apresentou correlação positiva e significativa (Tabelas 17 e 18), e de acordo com Dufranc et al. (2004) esta condição está relacionada a inclusão da areia na estrutura por meio da ação do sistema radicular e que na camada superficial a correlação com o C.O. foi positiva.

Na camada de 15 - 30 cm, apenas o C.O. e o ESTC apresentaram correlações significativas com os índices de agregação (Tabelas 19 e 20). O ESTC é calculado com base nas variáveis densidade do solo e teor de C.O. [equação (01)], e percebe-se que ele tende a se assemelhar ao comportamento apresentado pelas duas variáveis a partir das quais é calculado. Já os resultados para o C.O. indicam que a influência da MOS não está clara.

Segundo Li et al. (2019), a presença de óxidos de ferro e de alumínio no solo pode influenciar na agregação, podendo "encobrir" o efeito da MOS. Neste sentido, os dados de Costa et al. (2014) indicam que a gibsita seria o segundo mineral predominante nas argilas dos solos na estação experimental (EECAC), local onde realizou-se esta pesquisa. Também é possível que a análise utilizada para determinar o teor de C.O. não esteja representando a fração da MOS, que poderia estar melhor contribuindo para a agregação (CARRIZO et al., 2015). Em todos estes cenários a MOS (ao menos na fração avaliada) ainda teria sua ação obscurecida na estruturação do solo.

**Tabela 21** - Coeficientes de correlação de Pearson entre os parâmetros de caracterização e o índice de estabilidade de agregados (IEA<sub>1</sub>) considerando os ensaios via úmida e seca, na camada de 0 a 15 cm, com e sem as frações grosseiras.

Variáveis	IEA <sub>1</sub>	IEA <sub>1</sub> S/P	IEA <sub>1</sub> S/A	IEA <sub>1</sub> S/C	IEA <sub>1</sub> S/AG	IEA <sub>1</sub> S/AF
AT	0,431*	0,512*	0,506*	0,435*	0,459*	0,441*
AG	0,326	0,337*	0,329	0,330*	0,325	0,330*
AF	-0,154	-0,110	-0,102	-0,157	-0,131	-0,151
Silte	-0,308	-0,299	-0,320	-0,301	-0,317	-0,310
Arg. T	-0,219	-0,315	-0,291	-0,229	-0,243	-0,229
ADA	-0,133	-0,252	-0,250	-0,136	-0,169	-0,150
GF	-0,090	-0,086	-0,060	-0,098	-0,084	-0,084
S/A	-0,201	-0,143	-0,168	-0,191	-0,194	-0,196
pH	-0,061	-0,099	-0,075	-0,068	-0,066	-0,064
Ds	-0,428*	-0,469*	-0,452*	-0,435*	-0,446*	-0,428*
C.O.	0,001	0,055	0,042	0,005	0,009	0,009
ESTC	-0,378*	-0,342*	-0,347*	-0,376*	-0,379*	-0,371*

AT: Areia total; AG: Areia grossa; AF: Areia fina ; Arg. T: Argila total; ADA: Argila dispersa em água; GF: Grau de floculação; S/A: Silte/Argila; Ds: Densidade do solo; C. O.: Carbono orgânico; ESTC: Estoque de carbono; IEA<sub>1</sub>: Índice de estabilidade de agregados, considerando os ensaios via úmida e seca, S/P: sem partículas grosseiras; S/A: sem areia total; S/C: sem cascalho; S/AG: sem areia grossa; S/AF: sem areia fina. Os valores seguidos de \* indicam a ocorrência de correlação significativa.

**Tabela 22** - Coeficientes de correlação de Pearson entre os parâmetros de caracterização e o índice de estabilidade de agregados (IEA<sub>1</sub>) considerando os ensaios via úmida e seca, na camada de 15 a 30 cm, com e sem as frações grosseiras.

Variáveis	IEA <sub>1</sub>	IEA <sub>1</sub> S/P	IEA <sub>1</sub> S/A	IEA <sub>1</sub> S/C	IEA <sub>1</sub> S/AG	IEA <sub>1</sub> S/AF
AT	0,013	0,049	0,057	0,013	0,051	-0,001
AG	0,048	0,074	0,075	0,049	0,085	0,030
AF	-0,068	-0,062	-0,054	-0,069	-0,079	-0,056
Silte	0,157	0,189	0,181	0,159	0,170	0,160
Arg. T	-0,103	-0,161	-0,164	-0,104	-0,152	-0,090
ADA	0,043	0,002	-0,007	0,043	0,001	0,057
GF	-0,273	-0,288	-0,276	-0,276	-0,273	-0,278
S/A	0,194	0,247	0,241	0,196	0,230	0,188
pH	-0,057	-0,057	-0,044	-0,061	-0,065	-0,047
Ds	-0,198	-0,236	-0,234	-0,198	-0,224	-0,194
C.O.	-0,616*	-0,610*	-0,605*	-0,616*	-0,608*	-0,620*
ESTC	-0,653*	-0,658*	-0,654*	-0,653*	-0,654*	-0,655*

AT: Areia total; AG: Areia grossa; AF: Areia fina ; Arg. T: Argila total; ADA: Argila dispersa em água; GF: Grau de floculação; S/A: Silte/Argila; Ds: Densidade do solo; C. O.: Carbono orgânico; ESTC: Estoque de carbono; IEA<sub>1</sub>: Índice de estabilidade de agregados, considerando os ensaios via úmida e seca, S/P: sem partículas grosseiras; S/A: sem areia total; S/C: sem cascalho; S/AG: sem areia grossa; S/AF: sem areia fina. Os valores seguidos de \* indicam a ocorrência de correlação significativa.

Para o índice de estabilidade de agregados (IEA<sub>1</sub>), que considera os ensaios via úmida e seca (DMPu/DMPs), houve correlação significativa e positiva com a areia total e a areia grossa; e significativa e negativa com a densidade do solo e o estoque de carbono. As

correlações positivas entre o IEA<sub>1</sub> com os teores de areia total e areia grossa, na profundidade de 0 a 15 cm (Tabelas 21) indicam a relação destas frações mais grosseiras com a estruturação do solo, conforme apresentado por Dufranc et al. (2004), como também as relações entre agentes cimentantes e partículas de areia discutidas no item 4.6.

Na profundidade de 15 a 30 cm, o IEA<sub>1</sub> apresentou correlação significativa e negativa com o carbono orgânico total e o estoque de carbono (Tabela 22).

O índice de estabilidade de agregados (IEA<sub>2</sub>) apresentou, na camada de 0 a 15 cm, correlações significativas com a areia total (quando se removeu todas as partículas grosseiras) e com o silte (no cálculo normal e sem cascalho e areia grossa), como pode ser visto na Tabela 23.

**Tabela 23** - Coeficientes de correlação de Pearson entre os parâmetros de caracterização e o índice de estabilidade de agregados (IEA<sub>2</sub>) considerando apenas os ensaios via úmida, na camada de 0 a 15 cm, com e sem as frações grosseiras.

Variáveis	IEA <sub>2</sub>	IEA <sub>2</sub> S/P	IEA <sub>2</sub> S/A	IEA <sub>2</sub> S/C	IEA <sub>2</sub> S/AG	IEA <sub>2</sub> S/AF
AT	0,323	0,332*	0,322	0,327	0,326	0,329
AG	0,299	0,256	0,247	0,303	0,306	0,261
AF	-0,196	-0,127	-0,120	-0,198	-0,203	-0,136
Silte	-0,345*	-0,284	-0,300	-0,339*	-0,356*	-0,302
Arg. T	-0,070	-0,131	-0,107	-0,080	-0,064	-0,112
ADA	-0,055	-0,100	-0,096	-0,059	-0,063	-0,099
GF	-0,002	-0,034	-0,012	-0,009	0,012	-0,014
S/A	-0,288	-0,200	-0,221	-0,279	-0,299	-0,223
pH	0,096	0,040	0,063	0,089	0,113	0,060
Ds	-0,106	-0,151	-0,122	-0,116	-0,112	-0,119
C.O.	0,053	0,040	0,032	0,056	0,047	0,060
ESTC	-0,155	-0,168	-0,161	-0,157	-0,172	-0,123

AT: Areia total; AG: Areia grossa; AF: Areia fina ; Arg. T: Argila total; ADA: Argila dispersa em água; GF: Grau de floculação; S/A: Silte/Argila; Ds: Densidade do solo; C. O.: Carbono orgânico; ESTC: Estoque de carbono; DMGu: Diâmetro médio geométrico via úmida, S/P: sem partículas grosseiras; S/A: sem areia total; S/C: sem cascalho; S/AG: sem areia grossa; S/AF: sem areia fina. Os valores seguidos de \* indicam a ocorrência de correlação significativa.

No entanto, na camada de 15 a 30 cm, as únicas correlações significativas entre o IEA<sub>2</sub> e os parâmetros de caracterização foram com os teores de carbono orgânico e com o estoque de carbono do solo (Tabela 24).

No IEA<sub>2</sub> na camada de 0-15 cm, as características do solo não apresentaram correlações claras, o que é um indicativo de que não há um fator único que explique o índice. Já na camada de 15 a 30 cm, os resultados assemelham-se aos já discutidos nos DMPu e DMGu.

**Tabela 24** - Coeficientes de correlação de Pearson entre os parâmetros de caracterização e o índice de estabilidade de agregados (IEA<sub>2</sub>) considerando apenas os ensaios via úmida, na camada de 15 a 30 cm, com e sem as frações grosseiras.

Variáveis	IEA <sub>2</sub>	IEA <sub>2</sub> S/P	IEA <sub>2</sub> S/A	IEA <sub>2</sub> S/C	IEA <sub>2</sub> S/AG	IEA <sub>2</sub> S/AF
AT	-0,082	-0,038	-0,030	-0,082	-0,074	-0,022
AG	-0,021	-0,021	-0,019	-0,021	0,000	-0,033
AF	-0,078	-0,021	-0,013	-0,080	-0,104	0,023
Silte	0,161	0,143	0,136	0,163	0,143	0,146
Arg. T	-0,003	-0,040	-0,045	-0,003	-0,001	-0,059
ADA	0,098	0,041	0,032	0,099	0,089	0,028
GF	-0,211	-0,161	-0,150	-0,215	-0,190	-0,167
S/A	0,132	0,137	0,134	0,134	0,118	0,143
pH	0,076	0,038	0,043	0,074	0,082	0,037
Ds	0,212	0,173	0,173	0,210	0,215	0,168
C.O.	-0,781*	-0,771*	-0,765*	-0,780*	-0,785*	-0,750*
ESTC	-0,744*	-0,743*	-0,737*	-0,743*	-0,747*	-0,724*

AT: Areia total; AG: Areia grossa; AF: Areia fina ; Arg. T: Argila total; ADA: Argila dispersa em água; GF: Grau de floculação; S/A: Silte/Argila; Ds: Densidade do solo; C. O.: Carbono orgânico; ESTC: Estoque de carbono; IEA<sub>2</sub>: Índice de estabilidade de agregados, considerando apenas os ensaios via úmida, S/P: sem partículas grosseiras; S/A: sem areia total; S/C: sem cascalho; S/AG: sem areia grossa; S/AF: sem areia fina. Os valores seguidos de \* indicam a ocorrência de correlação significativa.

O IEA<sub>2</sub> foi o único índice de agregação em que ocorreram diferenças significativas após a remoção das frações grosseiras, contudo, na maioria das correlações não há mudanças; com exceção das correlações com o silte na camada superficial, que deixaram de ser significativas nos tratamentos que removeram a fração areia fina mas sem deixarem de serem negativas.

Em termos gerais, a remoção das partículas grosseiras na via úmida não proporcionou alterações lógicas nas correlações. Este resultado reforça a possibilidade de que a fração areia está incluída nos agregados, e pode contribuir para a manutenção daquela estrutura; pois segundo Márquez et al. (2004) o efeito negativo da areia nas análises ocorre quando esta se encontra fora da estrutura, em grãos individuais.

A tabela de correlação entre o diâmetro médio ponderado via seca (DMPs) e os parâmetros de caracterização do solo, na camada de 0 -15 cm (Tabela 25), mostra que houve correlação significativa e positiva com a argila total (no índice normal, DMPs: sem cascalho, sem areia fina), grau de floculação (no índice normal, sem cascalho, sem areia grossa e sem areia fina); pH (no índice normal, sem cascalho, sem areia grossa e sem areia fina); densidade do solo (em todas as condições); e estoque de carbono (apenas no índice sem areia grossa). Por outro lado, a correlação foi significativa e negativa com a areia fina, apenas no índice sem areia grossa (DMPs S/AG = -0,339\*).

**Tabela 25** - Coeficientes de correlação de Pearson entre os parâmetros de caracterização do solo e o diâmetro médio ponderado via seca (DMPs), na camada de 0 a 15 cm, com e sem as frações grosseiras.

Variáveis	DMPs	DMPs S/P	DMPs S/A	DMPs S/C	DMPs S/AG	DMPs S/AF
AT	-0,231	-0,164	-0,171	-0,230	-0,152	-0,271
AG	0,053	0,136	0,132	0,055	0,155	0,014
AF	-0,250	-0,321	-0,319	-0,252	-0,339*	-0,223
Silte	-0,107	-0,119	-0,114	-0,108	-0,145	-0,085
Arg. T	0,341*	0,279	0,281	0,341*	0,286	0,367*
ADA	0,009	0,134	0,137	0,007	-0,001	0,069
GF	0,406*	0,195	0,193	0,408*	0,352*	0,370*
S/A	-0,233	-0,243	-0,237	-0,234	-0,253	-0,227
pH	0,433*	0,279	0,281	0,435*	0,359*	0,437*
Ds	0,406*	0,346*	0,350*	0,406*	0,369*	0,426*
C.O.	0,090	0,115	0,109	0,092	0,189	0,036
ESTC	0,228	0,318	0,312	0,231	0,348*	0,192

AT: Areia total; AG: Areia grossa; AF: Areia fina ; Arg. T: Argila total; ADA: Argila dispersa em água; GF: Grau de floculação; S/A: Silte/Argila; Ds: Densidade do solo; C. O.: Carbono orgânico; ESTC: Estoque de carbono; DMPs: Diâmetro médio ponderado via seca, S/P: sem partículas grosseiras; S/A: sem areia total; S/C: sem cascalho; S/AG: sem areia grossa; S/AF: sem areia fina. Os valores seguidos de \* indicam a ocorrência de correlação significativa.

**Tabela 26** - Coeficientes de correlação de Pearson entre os parâmetros de caracterização do solo e o diâmetro médio geométrico via seca (DMGs), na camada de 0 a 15 cm, com e sem as frações grosseiras.

Variáveis	DMGs	DMGs S/P	DMGs S/A	DMGs S/C	DMGs S/AG	DMGs S/AF
AT	-0,219	-0,144	-0,147	-0,217	-0,130	-0,261
AG	0,092	0,149	0,147	0,093	0,185	0,051
AF	-0,297	-0,323	-0,322	-0,298	-0,366*	-0,270
Silte	-0,134	-0,131	-0,129	-0,135	-0,170	-0,108
Arg. T	0,351*	0,266	0,268	0,350*	0,283	0,375*
ADA	0,059	0,184	0,189	0,058	0,066	0,130
GF	0,363*	0,123	0,119	0,364*	0,276	0,313
S/A	-0,270	-0,251	-0,248	-0,271	-0,283	-0,259
pH	0,398*	0,206	0,205	0,399*	0,290	0,394*
Ds	0,383*	0,291	0,292	0,382*	0,326	0,399*
C.O.	0,242	0,149	0,151	0,241	0,285	0,167
ESTC	0,480*	0,392*	0,395*	0,479*	0,518*	0,426*

AT: Areia total; AG: Areia grossa; AF: Areia fina ; Arg. T: Argila total; ADA: Argila dispersa em água; GF: Grau de floculação; S/A: Silte/Argila; Ds: Densidade do solo; C. O.: Carbono orgânico; ESTC: Estoque de carbono; DMGs: Diâmetro médio geométrico via seca, S/P: sem partículas grosseiras; S/A: sem areia total; S/C: sem cascalho; S/AG: sem areia grossa; S/AF: sem areia fina. Os valores seguidos de \* indicam a ocorrência de correlação significativa.

A tabela de correlação entre o diâmetro médio geométrico via seca (DMGs) e os parâmetros de caracterização do solo, na camada de 0 -15 cm (Tabela 26), mostra que houve

correlação significativa e positiva com a argila total (no índice normal, sem cascalho e sem areia fina), grau de floculação (no índice normal e sem cascalho), pH (no índice normal, sem cascalho e sem areia fina), densidade do solo (no índice normal, sem cascalho e sem areia fina) e estoque de carbono (em todas as condições). Porém, a correlação entre a areia fina e o índice sem areia grossa (DMGs S/AG), foi significativa e negativa (-0,366\*), como também foi observado para o DMPs (Tabela 25).

Para o DMPs, na camada de 15 -30 cm, houve correlações significativas e positivas apenas com o pH (Tabela 27). No entanto, o DMGs, na profundidade de 15 a 30 cm, apresentou correlações significativas unicamente com o pH, nas condições normais de cálculo, sem cascalho e sem as subfrações da areia (Tabela 28).

Correlações significativas e positivas entre a agregação e os teores de argila e carbono são comuns em avaliações de agregado via seca, uma vez que estes fatores são importantes para a formação dos agregados; trabalhos que avaliaram agregados via úmida também indicam a importância destes fatores para a estrutura do solo (ABBAS et al., 2021; CAVALCANTI et al., 2020; HYUN et al., 2007; PI; HUGGINS; SHARRATT, 2019).

**Tabela 27** - Coeficientes de correlação de Pearson entre os parâmetros de caracterização do solo e o diâmetro médio ponderado via seca (DMPs), na camada de 15 a 30 cm, com e sem as frações grosseiras.

Variáveis	DMPs	DMPu S/P	DMPu S/A	DMPu S/C	DMPu S/AG	DMPu S/AF
AT	-0,163	-0,164	-0,150	-0,165	-0,152	-0,167
AG	-0,060	-0,041	-0,027	-0,062	-0,034	-0,065
AF	-0,117	-0,149	-0,154	-0,115	-0,145	-0,112
Silte	-0,069	-0,093	-0,109	-0,065	-0,096	-0,064
Arg. T	0,215	0,230	0,224	0,215	0,218	0,217
ADA	0,126	0,156	0,134	0,130	0,136	0,122
GF	0,130	0,098	0,127	0,122	0,118	0,138
S/A	-0,211	-0,240	-0,250	-0,207	-0,235	-0,207
pH	0,426*	0,357*	0,371*	0,422*	0,392*	0,430*
Ds	0,171	0,117	0,119	0,171	0,117	0,188
C.O.	0,128	0,008	0,022	0,125	0,044	0,143
ESTC	0,209	0,071	0,085	0,206	0,108	0,229

AT: Areia total; AG: Areia grossa; AF: Areia fina ; Arg. T: Argila total; ADA: Argila dispersa em água; GF: Grau de floculação; S/A: Silte/Argila; Ds: Densidade do solo; C. O.: Carbono orgânico; ESTC: Estoque de carbono; DMPu: Diâmetro médio ponderado via seca, S/P: sem partículas grosseiras; S/A: sem areia total; S/C: sem cascalho; S/AG: sem areia grossa; S/AF: sem areia fina. Os valores seguidos de \* indicam a ocorrência de correlação significativa.

**Tabela 28** - Coeficiente de correlação de Pearson entre os parâmetros de caracterização do solo e o diâmetro médio geométrico via seca (DMGs), na camada de 15 a 30 cm, com e sem as frações grosseiras.

Variáveis	DMGs	DMGs S/P	DMGs S/A	DMGs S/C	DMGs S/AG	DMGs S/AF
AT	-0,188	-0,204	-0,193	-0,189	-0,183	-0,193
AG	-0,061	-0,043	-0,031	-0,063	-0,036	-0,068
AF	-0,148	-0,199	-0,203	-0,147	-0,184	-0,143
Silte	-0,062	-0,084	-0,101	-0,058	-0,087	-0,058
Arg. T	0,238	0,269	0,265	0,238	0,248	0,241
ADA	0,168	0,223	0,204	0,172	0,189	0,166
GF	0,096	0,047	0,076	0,089	0,077	0,103
S/A	-0,215	-0,250	-0,261	-0,212	-0,240	-0,214
pH	0,392*	0,299	0,310	0,389*	0,343*	0,397*
Ds	0,218	0,158	0,165	0,216	0,168	0,234
C.O.	0,040	-0,066	-0,055	0,038	-0,050	0,063
ESTC	0,121	-0,003	0,009	0,118	0,016	0,149

AT: Areia total; AG: Areia grossa; AF: Areia fina ; Arg. T: Argila total; ADA: Argila dispersa em água; GF: Grau de floculação; S/A: Silte/Argila; Ds: Densidade do solo; C. O.: Carbono orgânico; ESTC: Estoque de carbono; DMGs: Diâmetro médio geométrico via seca, S/P: sem partículas grosseiras; S/A: sem areia total; S/C: sem cascalho; S/AG: sem areia grossa; S/AF: sem areia fina. Os valores seguidos de \* indicam a ocorrência de correlação significativa.

Nos ensaios via seca aparentemente houve um efeito mais lógico com a remoção da areia, onde fatores que haviam apresentado correlações significativas, mudaram o comportamento, passaram a ser não significativos nos tratamentos onde houve maior remoção da massa (sem partículas grosseiras e sem areia). Apesar de não haver interferência das partículas grosseiras nos valores de DMPs (Tabelas 5 e 6, profundidades de 0 – 15 e 15 – 30 cm, respectivamente) e DMGs (Tabelas 7 e 8, profundidades 0 – 15 e 15 – 30 cm, respectivamente), aparentemente a sua presença na via seca gerou correlações mais fortes.



## 5 CONCLUSÕES

A partir das características físicas do solo constatou-se que a areia é a fração predominante, uma vez que a textura foi classificada como franco arenosa, composição refletida nos teores destas frações presentes nos agregados.

O solo não apresentou um fator principal de agregação, apesar dos resultados dos ensaios de estabilidade de agregados mostrarem que o solo estava bem agregado, as correlações com as características a qual atribui-se a capacidade de agregar o solo (argila e matéria orgânica) foram fracas ou até negativas em alguns casos.

A agregação entre agente cimentante e fase mineral favorece a estrutura do agregado de forma que, a remoção das frações granulométricas grosseiras (cascalho e areia) não altera a proporção da massa dos agregados o suficiente para gerar uma diferença nos índices diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregados (IEA<sub>1</sub>), considerando os ensaios via úmida e seca. Assim, para condições de solo semelhantes às avaliadas nesta pesquisa, ou seja, onde a maior parte dos agregados está retida nas peneiras superiores, não é recomendado realizar o processo de remoção.

Diferente dos outros índices, o índice de estabilidade de agregados, onde se considera apenas os dados gerados pelos ensaios sob condições via úmida (IEA<sub>2</sub>), foi influenciado pelas frações grosseiras; sendo recomendado realizar a correção, removendo a totalidade das frações grosseiras.

As correções das partículas grosseiras não promoveram alterações significativas nas correlações entre os índices de agregação e os atributos de caracterização física e química do solo, não sendo recomendada sua remoção.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBAS, F.; LIN, F.; ZHU, Z.; AN, S. A Novel Index (RI) to Evaluate the Relative Stability of Soils Using Ultrasonic Agitation. **Sustainability**, v. 13, n. 8, p. 4229, 2021. <https://doi.org/10.3390/su13084229>
- AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMAS (APAC). **Histórico de Chuvas**. Disponível em: <<https://www.apac.pe.gov.br/>>. Acesso em: 16 dez. 2021.
- AKSAKAL, E. L.; ANGIN, I.; SARI, S. A new approach for calculating aggregate stability: Mean weight aggregate stability (MWAS). **CATENA**, v. 194, p. 104708, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104708>
- ALMEIDA, B. G.; VIANA, J. H. M.; TEIXEIRA, W. G.; DONAGEMMA, G. K. Densidade do solo. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília-DF: Embrapa, 2017. cap. 7, p. 65-75.
- ALMEIDA, B. G. **Métodos alternativos de determinação de parâmetros físicos do solo e uso de condicionadores químicos no estudo da qualidade do solo**. 2008. 103 f. Tese de Doutorado – ESALQ/USP, Piracicaba-SP, 2008.
- AMÉZKETA, E. Soil Aggregate Stability: A Review. **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 14, n. 2, p. 83–151, 1999. [https://doi.org/10.1300/J064v14n02\\_08](https://doi.org/10.1300/J064v14n02_08)
- AZEVEDO, A. C.; SCHULZE, D. G. Aggregate distribution, stability and release of water dispersible clay for two subtropical Oxisols. **Scientia Agricola**, v. 64, n. 1, p. 36–43, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162007000100006>
- BANDINI, P.; SATHISKUMAR, S. Effects of Silt Content and Void Ratio on the Saturated Hydraulic Conductivity and Compressibility of Sand-Silt Mixtures. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, v. 135, n. 12, p. 1976–1980, 2009. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000177](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000177)
- BARROS, R. P.; VIÉGAS, P. R. A.; SILVA, T. L.; SOUZA, R. M.; BARBOSA, L.; VIÉGAS, R. A.; BARRETTO, M. C. V.; MELO, A. S. Alterações em atributos químicos de solo cultivado com cana-de-açúcar e adição de vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 3, p. 341–346, 2010.
- BARTLOVÁ, J.; BADALÍKOVÁ, B.; POSPÍŠILOVÁ, L.; POKORNÝ, E.; ŠARAPATKA, B. Water stability of soil aggregates in different systems of tillage. **Soil and Water Research**, v. 10, n. 3, p. 147–154, 2015. <https://doi.org/10.17221/132/2014-SWR>
- BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28,n.1, p. 155–163, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000100015>

- BOIX-FAYOS, C.; CALVO-CASES, A.; IMESON, A. C.; SORIANO-SOTO, M. D. Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators. **CATENA**, v. 44, n. 1, p. 47–67, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(00\)00176-4](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(00)00176-4)
- BOLINDER, M. A.; ANGERS, D. A.; GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R. The response of soil quality indicators to conservation management. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 79, n. 1, p. 37–45, 1999. <https://doi.org/10.4141/S97-099>
- BORGES, W. L. B.; CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Impact of crop-livestock-forest integration on soil quality. **Agroforestry Systems**, v. 93, n. 6, p. 2111–2119, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0329-0>
- BRIZZI, R. R.; PORTOCARRERO, H.; SOUZA, A. P.; COSTA, A. J. S. T.; RANGEL, L. A. Avaliação macro e microestrutural de solos sob diferentes usos a partir de análises físicas, microscopia eletrônica e espectroscopia por energia dispersiva. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 46, n. 1, p. 25–40, 2019. <https://doi.org/10.5380/raega.v46i1.53023>
- BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v. 124, n. 1, p. 3–22, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.03.005>
- BÜNEMANN, E. K.; BONGIORNO, G.; BAI, Z.; CREAMER, R. E.; DEYN, G. D.; GOEDE, R.; FLESKENS, L.; GEISSEN, V.; KUYPER T. W.; MÄDER, P.; PULLEMAN, M.; SUKKEL, W.; GROENIGEN, J. W. V.; BRUSSAARD, L. Soil quality – A critical review. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 120, p. 105–125, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Carbon and Nitrogen Distribution in Aggregates from Cultivated and Native Grassland Soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, n. 4, p. 1071–1076, 1993. <https://doi.org/10.2136/sssaj1993.03615995005700040032x>
- CARRIZO, M. E.; ALESSO, C. A.; COSENTINO, D.; IMHOFF, S. Aggregation agents and structural stability in soils with different texture and organic carbon contents. **Scientia Agricola**, v. 72, n.1, p. 75–82, 2015. <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2014-0026>
- CARVALHO, M. A.; RUIZ, H. A.; COSTA, L. M.; PASSOS, R. R.; ARAUJO, C. A. S. Composição granulométrica, densidade e porosidade de agregados de Latossolo Vermelho sob duas coberturas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 10, p. 1010–1016, 2014. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n10p1010-1016>
- CASTIONI, G. A.; CHERUBIN, M. R.; MENANDRO, L. M. S.; SANCHES, G. M.; BORDONAL, R. O.; BARBOSA, L. C.; FRANCO, H. C. J.; CARVALHO, J. L. N. Soil physical quality response to sugarcane straw removal in Brazil: A multi-approach assessment. **Soil and Tillage Research**, v. 184, p. 301–309, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.08.007>

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n.3, p. 527–538, 1998. <https://doi.org/10.1590/S0100-06831998000300019>

CAVALCANTI, R. Q.; ROLIM, M. M.; LIMA, R. P.; TAVARES, U. E.; PEDROSA, E. M. R.; CHERUBIN, M. R. Soil physical changes induced by sugarcane cultivation in the Atlantic Forest biome, northeastern Brazil. **Geoderma**, v. 370, p. 114353, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114353>

CESÁRIO, F. V.; DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, H. A.; BALIEIRO, F. C. **Estabilidade de agregados em água**: análise crítica e padronização. Rio de Janeiro: Embrapa: CNPS, 2010. 7 p. (Embrapa-CNPS. Comunicado Técnico, 57)

CHRISTENSEN, B. T. Straw incorporation and soil organic matter in macro-aggregates and particle size separates. **Journal of Soil Science**, v. 37, n. 1, p. 125–135, 1986. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1986.tb00013.x>

COSTA, D. B.; ANDRADE, P. K. B.; SILVA, S. A. M.; SIMÕES NETO, D. E.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, E. C. A. Adubação fosfatada em cana planta e soca em argissolos do nordeste de diferentes texturas. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 4, p. 47–56, 2014.

DAI, H.; CHEN, Y.; LIU, K.; LI, Z.; QIAN, X.; ZANG, H.; YANG, X.; ZHAO, Y.; YAWEN, S.; LI, Z.; SUI, P. Water-stable aggregates and carbon accumulation in barren sandy soil depend on organic amendment method: A three-year field study. **Journal of Cleaner Production**, v. 212, p. 393–400, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.013>

DEGENS, B. P.; SPARLING, G. P.; ABBOTT, L. K. Increasing the length of hyphae in a sandy soil increases the amount of water-stable aggregates. **Applied Soil Ecology**, v. 3, n. 2, p. 149–159, 1996. [https://doi.org/10.1016/0929-1393\(95\)00074-7](https://doi.org/10.1016/0929-1393(95)00074-7)

DEMARCHI, J.; PERUSI, M.; PIROLI, E. Análise da estabilidade de agregados de solos da microbacia do Ribeirão São Domingos, Santa Cruz do Rio Pardo – SP, sob diferentes tipos de uso e ocupação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 4, p. 7–29, 2012. <https://doi.org/10.5777/PAeT.V4.N2.01>

DENEF, K.; SIX, J.; PAUSTIAN, K.; MERCKX, R. Importance of macroaggregate dynamics in controlling soil carbon stabilization: short-term effects of physical disturbance induced by dry–wet cycles. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 33, n. 15, p. 2145–2153, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(01\)00153-5](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(01)00153-5)

DEVIREN-SAYGIN, S.; CORNELIS, W. M.; ERPUL, G.; GABRIELS, D. Comparison of different aggregate stability approaches for loamy sand soils. **Applied Soil Ecology**, v. 54, p. 1–6, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.11.012>

DUFRANC, G.; DECHEN, S. C. F.; FREITAS, S. S.; CAMARGO, O. A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois latossolos em plantio direto no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 3, p. 505–517, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000300012>

ELLERT, B. H.; BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 75, n. 4, p. 529–538, 1995. <https://doi.org/10.4141/cjss95-075>

ELLIOTT, E. T.; PALM, C. A.; REUSS, D. E.; MONZ, C. A. Organic matter contained in soil aggregates from a tropical chronosequence: correction for sand and light fraction. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 34, n. 1, p. 443–451, 1991. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(91\)90127-J](https://doi.org/10.1016/0167-8809(91)90127-J)

FALCÃO, K.; MONTEIRO, F.; OZÓRIO, J.; SOUZA, C. S.; FARIAS, P. S.; MENEZES, R.; PANACHUKI, E.; ROSSET, J. Estoque de carbono e agregação do solo sob diferentes sistemas de uso no cerrado. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, v. 55, n. 2, p. 242–255, 2020. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820200695>

FERNANDES, F. A.; FERNANDES, A. H. B. M. **Cálculo dos estoques de carbono do solo sob diferentes condições de manejo**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2009. 4 p. (Embrapa Pantanal. Comunicado técnico, 69).

FONTANA, A.; CAMPOS, D. V. B. Carbono orgânico. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília-DF: Embrapa, 2017. cap. 46, p. 360-367.

FONTANA, A.; BRITO, R. J.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A. Índices de agregação e a relação com as substâncias húmicas em Latossolos e Argissolos de tabuleiros costeiros, Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 3, p. 291–297, 2010. <https://doi.org/10.5039/agraria.v5i3a461>

FONTANA, A.; VIANA, J. H. M.; DONAGEMMA, G. K.; ALMEIDA, B. G. Preparo de amostras e separação de terra fina, cascalho e calhaus. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília-DF: Embrapa, 2017. cap. 1, p. 21-28.

FRANCO, H. H. S.; GUIMARÃES, R. M. L.; TORMENA, C. A.; CHERUBIN, M. R.; FAVILLA, H. S. Global applications of the Visual Evaluation of Soil Structure method: A systematic review and meta-analysis. **Soil and Tillage Research**, v. 190, p. 61–69, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.01.002>

GEE, G. W.; OR, D. Particle-Size Analysis. In: DANE, J.H.; TOPP, G.C. **Methods of Soil Analysis: part 4 physical methods**. Madison: John Wiley & Sons, Ltd, 2002. cap. 12, p. 255–293.

HILLEL, D. Soil Structure and aggregation. In: \_\_\_\_\_. **Introduction to Environmental Soil Physics**. San Diego: Elsevier, 2003. cap. 5, p. 73-89.

HYUN, B. K.; JUNG, S. J.; SONG, K. C.; SONN, Y. K.; JUNG, W. K. Relationship Between Soil Water-Stable Aggregates and Physico-chemical Soil Properties. **Korean Journal of Soil Science and Fertilizer**, v. 40, n. 1, p. 57–63, 2007.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate Stability and Size Distribution. In: KLUTE, A. **Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods**. 2 ed. Madison: John Wiley & Sons, Ltd, 1986. cap. 17, p. 425–442.

KHEIRFAM, H.; ASADZADEH, F. Stabilizing sand from dried-up lakebeds against wind erosion by accelerating biological soil crust development. **European Journal of Soil Biology**, v. 98, p. 103189, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2020.103189>

KRISTIANSEN, S. M.; SCHJØNNING, P.; THOMSEN, I. K.; OLESEN, J. E.; KRISTENSEN, K.; CHRISTENSEN, B. T. Similarity of differently sized macro-aggregates in arable soils of different texture. **Geoderma**, v. 137, n. 1, p. 147–154, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.08.005>

LAL, R. Soil Structure and Sustainability. **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 1, n. 4, p. 67–92, 1991. [https://doi.org/10.1300/J064v01n04\\_06](https://doi.org/10.1300/J064v01n04_06)

LEPSCH, I. F. Histórico e fundamentos da ciência do solo. In: \_\_\_\_\_. **19 lições de Pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. cap. 1, p. 28–69.

LI, X.; VOGELER, I.; SCHWENDENMANN, L.; LI, X.; VOGELER, I.; SCHWENDENMANN, L. Soil aggregation and soil fraction associated carbon under different vegetation types in a complex landscape. **Soil Research**, v. 57, n. 3, p. 215–227, 2019. <https://doi.org/10.1071/SR18193>

LUAN, H.; YUAN, S.; GAO, W.; TANG, J.; LI, R.; ZHANG, H.; HUANG, S. Changes in organic C stability within soil aggregates under different fertilization patterns in a greenhouse vegetable field. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 20, n. 10, p. 2758–2771, 2021. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(21\)63646-8](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(21)63646-8)

MARCELO, V.; ALMEIDA, B.; ARAÚJO FILHO, J.; SOUZA, W. Disponibilidade hídrica de solo coeso sob a ação de poliácridamida: qualidade física ambiental. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, n. 42, p. 12–25, 2016. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820160009>

MÁRQUEZ, C. O.; GARCIA, V. J.; CAMBARDELLA, C. A.; SCHULTZ, R. C.; ISENHART, T. M. Aggregate-Size Stability Distribution and Soil Stability. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, n. 3, p. 725–735, 2004. <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.7250>

MAZURAK, A. P. Effect of gaseous phase on water-stable synthetic aggregates. **Soil Science**, v. 69, n. 2, p. 135–148, 1950. <https://doi.org/10.1097/00010694-195002000-00005>

MAZURANA, M.; LEVIEN, R.; MÜLLER, J.; CONTE, O. Sistemas de preparo de solo: alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 4, p. 1197–1206, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000400013>

MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M.; VIANA, M. A.; SILVA, V. P. Climate classification in köppen model for the state of pernambuco - brazil. **Revista de Geografia**, v. 35, n. 3, p. 219-234, 2018. <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2018.229388>

- MELO, D. V. M.; ALMEIDA, B. G.; SOUZA, E. R.; SILVA, L. S.; JACOMINE, P. K. T. Structural quality of polyacrylamide-treated cohesive soils in the coastal tablelands of Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n.2, p. 476–485, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000200012>
- MOTA, J. C. A.; FREIRE, A. G.; ASSIS JÚNIOR, R. N. Qualidade física de um cambissolo sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 5, p. 1196–1206, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000500009>
- NIMMO, J. R.; PERKINS, K. S. Aggregate Stability and Size Distribution. In: DANE, J.H.; TOPP, G.C. **Methods of Soil Analysis: part 4 physical methods**. Madison: John Wiley & Sons, Ltd, 2002. cap. 14, p. 317–328.
- NOURI, A.; LEE, J.; YIN, X.; TYLER, D. D.; SAXTON, A. M. Thirty-four years of no-tillage and cover crops improve soil quality and increase cotton yield in Alfisols, Southeastern USA. **Geoderma**, v. 337, p. 998–1008, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.10.016>
- PASSOS, R. R.; RUIZ, H. A.; CANTARUTTI, R. B.; MENDONÇA, E. S. Carbono orgânico e Nitrogênio em agregados de um Latossolo Vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, p. 1109–1118, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000500026>
- PI, H.; HUGGINS, D. R.; SHARRATT, B. Dry aggregate stability of soils influenced by crop rotation, soil amendment, and tillage in the Columbia Plateau. **Aeolian Research**, v. 40, p. 65–73, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2019.07.001>
- PORTELLA, C. M. R.; GUIMARÃES, M. F.; FELLER, C.; FONSECA, I. C. B.; TAVARES FILHO, J. Soil aggregation under different management systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1868–1877, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000600021>
- RABOT, E.; WIESMEIER, M.; SCHLÜTER, S.; VOGEL, H. J. Soil structure as an indicator of soil functions: A review. **Geoderma**, v. 314, p. 122–137, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.11.009>
- ROCHA, I. T. M.; FREIRE, F. J.; SOUZA, E. R.; OLIVEIRA, E. C. A.; SIMÕES NETO, D. E.; SANTOS, R. L. Qualidade de agregados em solo ácido tratado com gesso. **Revista Geama**, v. 6, n. 3, p. 54–59, 2020.
- ROSA, S. F.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; FLEIG, F. D.; RODRIGUES, M. F.; GELAIN, N. S. Propriedades físicas e químicas de um argissolo sob cultivo de *Eucalyptus dunnii* Maiden no pampa gaúcho. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, p. 580–590, 2018. <https://doi.org/10.5902/1980509832040>
- ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; MOURA, O. V. T.; ALMEIDA, A. P. C. Vias de formação, estabilidade e características químicas de agregados em solos sob sistemas de manejo agroecológico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1677–1685, 2016. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000700068>

SAIEDI, N.; BESALATPOUR, A. A.; SHIRANI, H.; ABBASZADEH DEHAJI, P.; ESFANDIARPOUR, I.; FARAMARZI, M. Aggregation and fractal dimension of aggregates formed in sand dunes stabilized by PistachioPAM and PistachioPVAc mulches. **European Journal of Soil Science**, v. 68, n. 5, p. 783–791, 2017. <https://doi.org/10.1111/ejss.12458>

SALTON, J. C.; SILVA, W. M.; TOMAZI, M.; HERNANI, L. C. Agregação do solo e estabilidade de agregados. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília-DF: Embrapa, 2017. cap. 13, p. 129-138.

SCHWEIZER, S. A.; BUCKA, F. B.; GRAF-ROSENFELLNER, M.; KÖGEL-KNABNER, I. Soil microaggregate size composition and organic matter distribution as affected by clay content. **Geoderma**, v. 355, p. 113901, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.113901>

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 2, p. 311–317, 1998. <https://doi.org/10.1590/S0100-06831998000200017>

SILVA, M. O.; VELOSO, C. L.; NASCIMENTO, D. L.; OLIVEIRA, J.; PEREIRA, D. F.; COSTA, K. D. S. Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 47838–47855, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-431>

SINGER, M. J.; SOUTHARD, R. J.; WARRINGTON, D. N.; JANITZKY, P. Stability of Synthetic Sand-Clay Aggregates after Wetting and Drying Cycles. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, n. 6, p. 1843–1848, 1992. <https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600060032x>

SIX, J.; PAUSTIAN, K. Aggregate-associated soil organic matter as an ecosystem property and a measurement tool. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 68, p. A4–A9, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.06.014>

TAVARES, U. E.; ROLIM, M. M.; SIMÕES NETO, D. E.; PEDROSA, E. M. R.; MAGALHÃES, A. G.; SILVA, Ê. F. F. E. Aggregate stability and penetration resistance after mobilization of a dystrocohesive Ultisol. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 11, p. 752–757, 2017. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n11p752-757>

TEIXEIRA, P. C.; CAMPOS, D. V. B.; SALDANHA, M. F. C. pH do solo. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília-DF: Embrapa, 2017. cap. 20, p. 199-202.

TERASSI, P. M. B.; SILVEIRA, H.; BONIFÁCIO, C. M. Variação da estabilidade de agregados e as suas relações com a vulnerabilidade dos solos ao longo de uma vertente na região noroeste do paraná. **Boletim de Geografia**, v. 32, n. 1, p. 166–176, 2014. <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v32i1.18169>

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v. 33, n. 2, p. 141–163, 1982. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1982.tb01755.x>



TIVET, F.; SÁ, J. C. M.; LAL, R.; BRIEDIS, C.; BORSZOWSKI, P. R.; SANTOS, J. B.; FARIAS, A.; EURICH, G.; HARTMAN, D. C.; NADOLNY JUNIOR M.; BOUZINAC S.; SÉGUY, L. Aggregate C depletion by plowing and its restoration by diverse biomass-C inputs under no-till in sub-tropical and tropical regions of Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 126, p. 203–218, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.09.004>

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ASSIS, R. L.; SOUZA, Z. M. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho cultivado com plantas de cobertura, em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p. 428–437, 2015. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140597>

TYE, A. M.; ROBINSON, D. A.; LARK, R. M. Gradual and anthropogenic soil change for fertility and carbon on marginal sandy soils. **Geoderma**, v. 207–208, p. 35–48, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.05.004>

VAEZI, A. R.; ESLAMI, S. F.; KEESSTRA, S. Interrill erodibility in relation to aggregate size class in a semi-arid soil under simulated rainfalls. **CATENA**, v. 167, p. 385–398, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.05.003>

VAN BAVEL, C. H. M. Mean Weight-Diameter of Soil Aggregates as a Statistical Index of Aggregation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 14, n. C, p. 20–23, 1950. <https://doi.org/10.2136/sssaj1950.036159950014000C0005x>

VASCONCELOS, R. F. B.; CANTALICE, J. R. B.; OLIVEIRA, V. S.; COSTA, Y. D. J.; CAVALCANTE, D. M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 309–316, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000200004>

WANG, D.; FONTE, S. J.; PARIKH, S. J.; SIX, J.; SCOW, K. M. Biochar additions can enhance soil structure and the physical stabilization of C in aggregates. **Geoderma**, v. 303, p. 110–117, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.05.027>