

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO
FACULDADE DE LINGUAGEM, CIÊNCIAS AGRÁRIAS E SOCIAIS APLICADAS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ZOOTECNIA

FABÍOLA D'AVILA ANELI

**COMPARAÇÃO DE DOIS MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO GRANULOMÉTRICA
DO SOLO: MÉTODO DA PIPETA E MÉTODO DE BOUYOUCOS**

PONTES E LACERDA – MT
DEZEMBRO/2023

FABÍOLA D'AVILA ANELI

**COMPARAÇÃO DE DOIS MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO GRANULOMÉTRICA
DO SOLO: MÉTODO DA PIPETA E MÉTODO DE BOUYOUCOS**

“Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado a Coordenação do Curso de Graduação em Zootecnia da Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências para obtenção do título de BACHAREL EM ZOOTECNIA”.

Orientador: Prof. Dr. EURICO LUCAS DE SOUSA NETO

PONTES E LACERDA – MT
DEZEMBRO/2023

FABÍOLA D'AVILA ANELI

COMPARAÇÃO DE DOIS MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO GRANULOMÉTRICA DO SOLO: MÉTODO DA PIPETA E MÉTODO DE BOUYOUCOS

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado a
Coordenação do Curso de Graduação em
Zootecnia da Universidade do Estado de Mato
Grosso, como parte das exigências para obtenção
do título de Bacharel em Zootecnia.

APROVADO EM: 08/12/2023



Documento assinado digitalmente
EURICO LUCAS DE SOUSA NETO
Data: 13/12/2023 07:42:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Eurico Lucas de Sousa Neto
Orientador / UNEMAT-Pontes e Lacerda



Documento assinado digitalmente
RAFAEL KILL SILVEIRA
Data: 14/12/2023 11:39:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Rafael Kill Silveira
Membro/ UNEMAT- Pontes e Lacerda



Documento assinado digitalmente
UBIARA HENRIQUE GOMES TEIXEIRA
Data: 13/12/2023 10:16:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Ubiara Henrique Gomes Teixeira
Membro/ UNEMAT- Pontes e Lacerda

“A Deus que me criou e foi criativo nesta tarefa. Aos meus queridos pais Antônio e Raimunda (*in memoriam*), cujo empenho em me educar sempre veio em primeiro lugar, e a minha irmã Elisangela que nunca se negou a nada a mim direcionado, pelo excepcional apoio e suporte que me deu durante todo o curso. Aqui estão os resultados dos seus esforços. Com muita gratidão. ”

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado recursos para viver todas as minhas conquistas e superações.

A esta universidade seu corpo docente, direção, administração e funcionários terceirizados que oportunizaram a janela que hoje vislumbro.

Ao meu orientador Eurico Lucas, pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelos seus incentivos, conversas e oportunidades a mim propiciadas.

A minha querida amiga de infância Jucelia que mesmo longe me ajudou, incentivou e me direcionou a performar por caminhos profissionais.

Aos amigos de faculdade Aline, e a melhor equipe de laboratório Diego, Davi e Milena obrigada pelo companheirismo. Este TCC também é de vocês!

A Suellem, Edjane e Gilberto amigos que os experimentos da Zootecnia me deram, cada um contribuindo com seu conhecimento, obrigada por toda a ajuda.

A Elaine por me mostrar que Pontes e Lacerda é um lugar de pessoas acolhedoras e maravilhosas.

Aos meus irmãos, pelo incentivo e apoio incondicional.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigada.

“A vida está no movimento.”

Aristóteles

RESUMO

Objetivou-se com esse trabalho realizar uma revisão bibliográfica com a finalidade de comparar os métodos de análise granulométrica tipo pipeta e Bouyoucos. Por meio deste, foi possível comparar os resultados publicados nos periódicos sobre a análise granulométrica do solo pelo método da pipeta e de Bouyoucos. Para atingir tais objetivos, realizou-se pesquisas em artigos científicos, com informações publicadas do ano de 1922 ao ano de 2018. Sendo assim, a análise granulométrica do solo consiste na determinação da distribuição do tamanho das partículas e classificadas em areia, silte e argila. Esta é uma característica importante para as propriedades físicas de um solo, como por exemplo a textura do solo. A avaliação das propriedades físicas do solo, principalmente os teores de argila é de suma importância para a agricultura. Por isso, é interessante a determinação correta do teor de argila nos solos e testar o emprego de diferentes métodos para sua quantificação. Com as pesquisas pode-se concluir que ambos os métodos, da pipeta e do Bouyoucos, apesar das limitações inerentes a cada um, alguns trabalhos indicam que foi possível estimar adequadamente os teores de areia, silte e argila dos solos, podendo ser empregados em análises de rotina em solos arenosos. Mas, os trabalhos em sua maioria tiveram como resultado que o método de Bouyoucos superestima os teores de areia e argila, sendo mais indicado o método da pipeta, mesmo sendo mais oneroso.

Palavras-chave: Partículas. Granulometria. Sedimentação.

ABSTRACT

The objective of this work was to carry out a systematic bibliographical review with the purpose of comparing the pipette-type and Bouyoucos particle size analysis methods. Through this, it was possible to compare the results published in journals on soil particle size analysis using the pipette and Bouyoucos method. To achieve these objectives, research was carried out in scientific articles, with information published from 1922 to 2018. Therefore, soil granulometric analysis consists of determining the particle size distribution and classified into sand, silt and clay. . This is an important characteristic for the physical properties of a soil, such as soil texture. The assessment of soil physical properties, especially clay content, is of paramount importance for agriculture. Therefore, it is interesting to correctly determine the clay content in soils and test the use of different methods for its quantification. With the research it can be concluded that both methods, the pipette and the Bouyoucos, despite the limitations inherent to each one, some studies indicate that it was possible to adequately estimate the sand, silt and clay contents of the soils, and can be used in analyzes routine in sandy soils. However, most of the work resulted in the Bouyoucos method overestimating the sand and clay contents, with the pipette method being more suitable, even though it is more expensive.

Keywords: Particles. Granulometry. Sedimentation.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO SOLO	7
2.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	8
2.2.1 Método da pipeta	10
2.2.2 Método de Bouyoucos	10
2.2.3 Comparação do método Pipeta com o método Bouyoucos	11
3 MATERIAL E MÉTODOS	12
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
5 CONCLUSÃO	15
REFERÊNCIAS	16

1 INTRODUÇÃO

O solo é um dos recursos naturais mais utilizados, pois é onde se desenvolvem a maioria das espécies vegetais de interesse econômico. Quando mantido em estado natural, ou seja, com a vegetação nativa, geralmente apresenta características físicas, como densidade do solo, permeabilidade, estrutura e porosidade, adequadas ao desenvolvimento das plantas (ANDREOLA et al., 2000). Para que ocorra a agregação das partículas do solo (areia, silte e argila), substâncias colantes ou cimentantes, tais como, matéria orgânica, óxidos de ferro, alumínio e íons como Ca, Mg e H são de suma importância (MEURER, 2006).

A textura do solo, também conhecida como composição granulométrica, é um elemento essencial na pesquisa dos solos, consistindo na mensuração da distribuição do tamanho das partículas na fase sólida, expressa pelas frações argila, silte e areia (BONIFÁCIO et al., 2010) que influenciam diretamente propriedades do solo como porosidade, permeabilidade, capacidade de troca, retenção de água, e vulnerabilidade a processos erosivos (ALEXANDRE et al., 2001).

A análise granulométrica tem como objetivo quantificar a distribuição, conforme o tamanho, das partículas individuais que compõem os minerais do solo. Essas partículas individuais referem-se aos grãos de minerais distintos, fragmentos de rocha não alterada ou parcialmente alterada (que podem conter mais de um tipo de mineral), concreções, nódulos e materiais semelhantes que estão ligados entre si (DONAGEMMA et al., 2011).

A textura do solo, principalmente o teor de argila, define em boa parte a distribuição do diâmetro dos poros do solo, determinando assim a área de contato entre as partículas sólidas e a água, sendo por isso responsável pela força de retenção (REICHARDT, 1987). O teor de argila mais silte afeta de forma significativa o teor de água no solo principalmente nos potenciais mais baixos, nos quais a estrutura do solo tem menor influência na retenção da água (ARRUDA et al., 1987).

O solo brasileiro em termos de textura é diversificado, devido à extensão geográfica, diferentes climas e formações geológicas no país. No entanto, é possível fazer algumas generalizações sobre as texturas predominantes em diferentes regiões. Vale ressaltar que essas generalizações podem variar consideravelmente de uma área para outra.

O procedimento operacional tem como objetivo romper os agregados do solo e separar individualmente essas partículas, utilizando uma combinação de energia mecânica e química.

Isso resulta na formação de uma suspensão estabilizada, seguida pela quantificação após a separação das diferentes frações (DONAGEMMA et al., 2011).

Entre os métodos de análise granulométrica, temos: o método da pipeta e o método de Bouyoculos. Estes dois métodos são baseados na lei de Stokes, em que a velocidade final de sedimentação de partículas esféricas, de densidade uniforme, em um campo gravitacional é proporcional ao quadrado de seus raios (DAY, 1965). O efeito das diferentes formas das partículas é para Baver et al. (1972), uma das grandes limitações de precisão da lei de Stokes, além da variação de temperatura e densidade de partículas.

O método da pipeta é um dos mais difundidos e exatos para medir a concentração das partículas em suspensão. O método de Bouyoucos, foi desenvolvido em 1926 por Bouyoucos, sendo também um método útil para muitos propósitos, mas menos exato que o método da pipeta (BOUYOUCOS, 1927).

Ao revisar a literatura, é possível comparar o desempenho dos métodos de Bouyoucos e da pipeta em termos de precisão, sensibilidade e eficiência, conhecendo as vantagens e limitações de cada método, indicando qual método é mais apropriado para determinadas condições ou tipos de solo. Sendo assim, este trabalho tem por objetivo, realizar uma revisão bibliográfica sistemática com a finalidade de compreender e comparar uma análise granulométrica realizada pelo método tipo pipeta e o método de Bouyoucos, bem como estabelecer as vantagens e desvantagens entre os métodos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO SOLO

As características físicas do solo se referem à composição de sua matriz sólida e do conteúdo dos poros (VAN LIER, 2010). Em relação à matriz sólida, têm-se o tamanho das frações granulométricas, o formato dos sólidos, a natureza (minerais, componentes orgânicos) e a estruturação de seus componentes (CAVALHEIRO et al., 2017). Quanto ao conteúdo dos poros pode se fazer a separação entre fase líquida e gasosa (VAN LIER, 2010).

A interação dos atributos físicos, químicos, biológicos do solo com as plantas e o ambiente externo, resulta em diversas respostas dos solos ao manejo ao longo do tempo. Alguns atributos físicos dos solos sofrem variações temporais devido a fatores como o clima, práticas de manejo e presença de plantas, ocorrendo o aumento da densidade; redução da estabilidade de agregados; redução da macroporosidade e consequentemente da porosidade total (REICHERT et al., 2010).

O tamanho das partículas sólidas que compõem uma camada de solo é determinante para muitas de suas propriedades físicas e químicas. Normalmente distinguem-se três classes granulométricas principais, a areia, o silte e a argila (MELO et al., 2002).

Para realizar a quantificação das frações do solo, é essencial separá-las previamente. O peneiramento é empregado para as frações de areia grossa e areia fina, enquanto a sedimentação é utilizada para as frações de silte e argila, dependendo do tamanho. Embora a separação por peneiramento proporcione resultados mais confiáveis, a separação por sedimentação é necessária para distinguir as frações de silte e argila, uma vez que não existem peneiras com abertura de 0,002 mm (RUIZ, 2005).

O estudo sobre a função da fração de argila no solo não é algo recente, especialmente no que se refere à sua atividade na adsorção e fornecimento de água para as plantas (ALBRECHT; MCCALLA, 1938). Em um estudo realizado por Salter et al. (1966) sobre a influência da textura na umidade do solo, chegou-se à conclusão de que a capacidade de água disponível no solo é inversamente proporcional ao percentual de areia grossa e diretamente proporcional ao percentual de partículas finas (silte + argila).

2.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A análise granulométrica de solos pode ser definida como a distribuição do tamanho das partículas primárias de sua fase sólida, baseada nos diâmetros equivalentes destas partículas. Aquelas menores que 2 mm são geralmente divididas em três frações: areia, silte e argila (ALMEIDA, 2008). É amplamente empregada na estimativa de diversas propriedades hidráulicas, incluindo a curva de retenção de água (HWANG; POWERS, 2003).

Há uma variedade de técnicas em análise granulométrica de solos disponível na literatura, atualmente são cerca de 500 métodos conhecidos. De modo geral, os diferentes métodos incluem: peneiramento; peneiramento combinado com sedimentação e métodos de sedimentação (RYŽAK et al., 2007), cujos procedimentos podem ser resumidos em três etapas: o pré-tratamento das amostras, para remoção de agentes cimentantes e flocculantes; dispersão das amostras e quantificação das frações do solo (Figura 1).

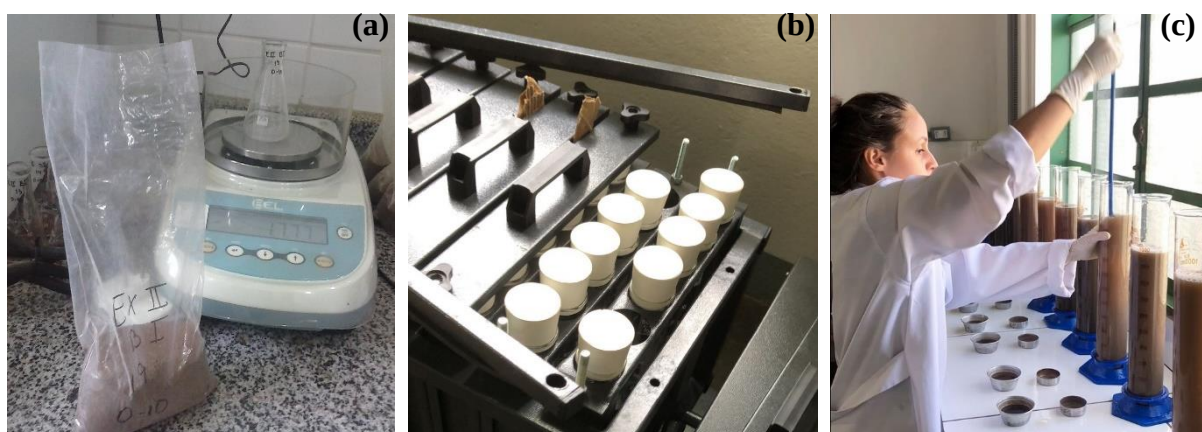


Figura 1 – Procedimentos para análise granulométrica do solo: pré-tratamento das amostras (a), remoção de agentes cimentantes e flocculantes e dispersão das amostras (b) e quantificação das frações do solo (c).

Fonte: Elaborado pelo autor.

A primeira etapa, normalmente pouco utilizada nas análises de rotina, tem como objetivo a eliminação de matéria orgânica, óxidos de ferro, carbonatos e sais solúveis. Esse procedimento preliminar pode dissolver partículas de óxidos de ferro com dimensões semelhantes às argilas, impactando nos resultados da análise textural (TEIXEIRA et al., 2017).

A fase de dispersão da amostra de solo desempenha um papel fundamental na análise granulométrica, sendo executada por meio da aplicação de uma combinação de processos químicos e desagregação mecânica. A dispersão química baseia-se principalmente no aumento

da repulsão entre as partículas, resultante do incremento do potencial zeta. Este procedimento implica a saturação do complexo de troca catiônico com sódio, o aumento das cargas negativas em resposta ao aumento do pH e a diminuição da concentração de eletrólitos na solução. Isso leva à precipitação de compostos de alumínio ou cálcio, dependendo do cátion predominante no complexo de troca. Quanto à dispersão mecânica, pode ser realizada por meio de agitação rápida, agitação lenta ou ultrassom (RUIZ, 2005).

Na etapa de análise granulométrica por peneiramento, as partículas de solo, após dispersão, são passadas em peneiras com malha quadrada de dimensões específicas; por exemplo, 53 μm no caso da separação da areia das outras frações (BLOTT; PYE, 2006). Em contrapartida, no método de sedimentação, o tamanho das partículas é determinado com base na medida do tempo de queda delas em um líquido. Dois dos métodos mais frequentemente utilizados são o da pipeta e o do densímetro (ELLIOTT et al., 1999).

Esses métodos geralmente consideram a sedimentação de partículas teoricamente esféricas em um regime de fluxo laminar (não turbulento), conforme indicado pela Lei de Stokes (Figura 2) (STOKES, 1851), que é utilizada para calcular a velocidade de sedimentação das partículas em suspensão. Com base nessa velocidade, é possível calcular o tempo necessário para que uma partícula do solo com determinado diâmetro seja sedimentada.

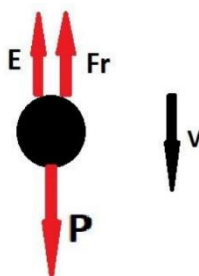


Figura 2 - Forças agindo sobre um corpo imerso em um fluido (Lei de Stokes). E = Força empuxo, Fr= Força de fricção, P = Força peso e V = Velocidade da esfera.

Fonte: SILVA (2021).

A quantificação do material que permanece em suspensão aquosa pode ser realizada de duas maneiras: por meio da coleta de alíquotas (método da pipeta, micro-pipeta) ou com base em sua densidade (método do hidrômetro ou método de Bouyucos), expressa em massa.

2.2.1 Método da pipeta

Um dos métodos mais tradicionais a usar a Lei de Stokes foi o de Casagrande (1934). Entretanto, uma abordagem mais precisa usando essa teoria é o método da pipeta, desenvolvido entre 1922 e 1923 (ROBINSON, 1922; JENNING et al., 1922)

Em 1926, esse método foi estabelecido como padrão para análises de rotina, seguindo a recomendação do subcomitê da "*Agricultural Education Association*" da Grã-Bretanha, que o escolheu após comparar várias abordagens para a análise granulométrica do solo (COMBER et al., 1926). Mesmo diante dos avanços tecnológicos atuais, que introduziram novos equipamentos e métodos, o método da pipeta continua sendo utilizado como ponto de referência na avaliação da precisão e exatidão de outras técnicas (RYŽAK et al., 2007).

O método da pipeta consiste pipetar uma subamostra de um solo em suspensão aquosa mantida numa proveta de 1 L, após o tempo t de sedimentação, a uma profundidade h da suspensão abaixo da qual todas as partículas com diâmetro maior que 0,002 encontram-se sedimentadas. Segundo a Lei de Stokes, o tempo t (s), que determina o momento da coleta da fração argila, a uma determinada temperatura, conforme proposto por Teixeira et al. (2017):

A fração argila, sifonada pela pipeta, é seca em estufa e pesada. A fração areia, separada por peneiramento ($< 53 \mu\text{m}$), logo após a dispersão, é obtida gravimetricamente. O percentual de silte é calculado pela diferença: $100 - (\text{Areia} + \text{Argila}) \%$ (TEIXEIRA et al., 2017).

O momento da coleta da subamostra pela pipeta, a uma determinada profundidade (10 cm), para determinar fração argila ($< 2 \mu\text{m}$) depende da temperatura da suspensão, que para 20 °C exige pelo menos 8 h de sedimentação (TEIXEIRA et al., 2017). Consequentemente, pesquisadores preferem utilizar o método de Bouyucos, mais rápido, principalmente quando se têm grande quantidade de amostras (INDORANTE et al., 1990).

2.2.2 Método de Bouyucos

O método do hidrômetro, também conhecido como método de Bouyucos, fundamenta-se no princípio de que a taxa de sedimentação é proporcional ao tamanho das partículas do solo. Dessa forma, as partículas de areia sedimentam-se mais rapidamente do que as de silte, que, por sua vez, sedimentam-se mais rapidamente do que as de argila (ELLIOTT et al., 1999). Um

dos pioneiros na utilização do hidrômetro para estimar a quantidade de sólidos em uma suspensão de solução de solo foi Bouyoucos (1927).

As percentagens de areia, silte e argila são obtidas a partir de leituras no hidrômetro em 40 s, 4 min e 2h, respectivamente. O método sugerido por Bouyoucos (1962) ainda é muito utilizado atualmente em análises de rotina por várias universidades e institutos de pesquisas. Este se baseia em apenas duas leituras no hidrômetro (40 s e 2 h).

O hidrômetro padrão recomendado pela "American Society for Testing and Materials" é o modelo nº 152H, que utiliza a escala de Bouyoucos em g L^{-1} . Esse instrumento, em um período específico, fornece uma leitura diretamente relacionada a uma determinada profundidade linear efetiva de leitura. Essa profundidade varia de acordo com a densidade das partículas sólidas em suspensão. Dessa forma, por meio da aplicação da Lei de Stokes, é viável calcular o diâmetro médio das partículas em uma solução de solo em suspensão (ALMEIDA, 2008).

2.2.3 Comparação do método Pipeta com o método Bouyoucos

Sarache e Souza (2017) coletaram amostras de solos na região Noroeste do Paraná para determinação da granulometria pelo método do densímetro e do método da pipeta, observaram que houve uma pequena variação do teor de argila entre os métodos com apenas 3%. Em contrapartida os valores de areia média tiveram uma variação de 8% e o método do densímetro obteve as maiores porcentagens. Por outro lado, o teor de silte apresentou uma variação de 13% de um método para o outro, sendo a maior porcentagem encontrado pelo método da pipeta.

O método de Bouyoucos superestima o teor de areia e argila em um solo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico com 54,3% de areia e 37,8% de argila, enquanto o método da pipeta estimou 51,6% de areia e 34,2% de argila. Já o teor de silte foi subestimado pelo método de Bouyoucos, com 7,8% e o método da pipeta estimou o teor de silte em 14,1% (CIPRIANO et al., 2016).

Já Cunha et al. (2014) observaram que em um Argissolo Vermelho alítico o método da pipeta subestimou os teores de argila (263 g kg^{-1}) quando comparado com método do densímetro (344 g kg^{-1}). Enquanto que em um solo Argissolo Bruno-Acizentado alítico típico, não houve diferença entre métodos de quantificação da argila, com 101 g kg^{-1} de argila.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização da pesquisa foi escolhido o tipo de revisão bibliográfica sistemática, onde as etapas para a elaboração foram: I) Identificação do tema e seleção da questão de pesquisa; II) Definição das informações a serem extraídas de estudos selecionados, utilizando o termo booleano AND; III) Categorização dos estudos, interpretação dos resultados e apresentação da síntese/conhecimento (SILVA E MARTINS-REIS, 2016).

Foram realizadas pesquisas no ano de 2023 para seleção dos artigos por meio das bases de dados: Scielo, Science Direct, Wiley Online Library, Portal de Periódicos Capes, Google Scholar, Redalyc e Agris-FAO, utilizando as palavras chaves: solo, granulometria, sedimentação, argila em suspensão, partículas, método pipeta e método de Bouyoucos.

Na seleção dos artigos mais relevantes, optou-se por aqueles publicados em revistas com melhor enquadramento dentro do sistema Qualis-Capes (faixa de classificação: A1 até B4), sendo o A1 o de maior impacto científico. Ao todo foram utilizados na construção da presente revisão 22 artigos, 8 livros, 5 resumos expandidos, 2 teses e 1 monografia. Do todo, 72,7% dos artigos selecionados foram publicados em revistas internacionais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tanto o método de Bouyoucos como o da pipeta, se forem seguidos os procedimentos de pré-tratamento das amostras, fornecem resultados semelhantes (WALTER et al., 1978). Jorge et al. (1985) ao determinarem a fração areia, silte e argila, pelo método da pipeta e de Bouyoucos, verificaram que não houve diferença significativa entre os métodos. Sarache; Souza (2017) também observaram que não houve diferença na estimação do teor de areia, silte e argila pelos métodos da pipeta e de Bouyoucos em um solo arenoso de textura média.

Com o objetivo de comparar diferentes metodologias na determinação granulométrica em diferentes solos do Rio Grande do Sul (Santa Maria, Pelotas e Passo Fundo) e Santa Catarina (Lages, Campos Novos), Kunz et al. (2007) observaram que os teores de areia total e silte não apresentaram diferença entre os métodos avaliados nos diferentes tipos de solos.

Entretanto, Jorge et al. (1985) ao analisarem os resultados da fração areia fina (0,2 - 0,05 mm) foi maior no método de Bouyoucos, enquanto a areia grossa os valores foram mais altos para o método da pipeta. Resultados semelhantes foi encontrado por Ayres (2018) que o comparar o método da pipeta com o método de Bouyoucos, os valores de areia fina foram superestimado pelo método de Bouyoucos e a areia grossa os valores fora mais altos para o método da pipeta.

O método de Bouyoucos superestimou ligeiramente os teores de argila, quando comparado com o método da pipeta os solos do estado do Acre, Bahia, Santa Catarina e Rio Grande do Sul segundo trabalho realizado por Rech et al. (2013).

Já Cunha et al. (2014) ao compararem a eficiência do método da pipeta e do densímetro para quantificação da fração argila em amostras de solo de diferentes regiões brasileiras, com diferentes propriedades químicas, mineralógicas e granulométricas, verificaram que o método do densímetro superestimou os teores de argila, principalmente nos horizontes A e B da maioria dos solos avaliados.

Segundo Rech et al. (2013) a superestimação do teor de argila obtido pelo método do densímetro está relacionada ao pouco tempo para sedimentação das partículas do silte (2 horas), que não é suficiente para sedimentá-las. Sendo esses valores o somatório do valor real da argila com o restante do silte, que não sedimentou.

De acordo com Ashworth et al. (2001) apesar método de Bouyoucos ser muito utilizado, esse método não é recomendado devido aos erros nas estimativas dos conteúdos de areia e argila. Conforme Mulazzani; Guibiani (2015) o método do densímetro é menos preciso que o

método da pipeta para a construção da curva granulométrica, especialmente para solos com maior conteúdo de argila.

A menor precisão do método do densímetro decorre da dificuldade de leitura da escala graduada da haste. Além disso, quando há pequena diferença na quantidade de partículas suspensas entre duas leituras sucessivas, a variação na profundidade do densímetro não é percebida na escala graduada da haste. Isso representa um valor nulo de massa de partículas para o intervalo de diâmetro medido, o que é fisicamente inconsistente, pois a variação de diâmetro das partículas é contínua (MULAZZANI; GUIBIANI, 2015).

Mas, mesmo o método da pipeta ser o mais recomendado, a desvantagem deste método é requerer um tempo maior e mão de obra para execução da análise (GOOSSENS, 2008). Esta desvantagem está relacionada aos diferentes tempos de leituras na determinação das frações do solo (BOHN; GEBHARDT, 1989).

5 CONCLUSÃO

Os trabalhos em sua maioria tiveram como resultado que o método da pipeta estima de forma adequada os teores de areia e argila, sendo mais adequado para solos com altos teores de areia e argila. Dentre as vantagens que o método da pipeta apresenta temos a simplicidade e custo relativamente baixo em termos de equipamento e materiais. No entanto, é um o método mais demorado, especialmente quando há necessidade de avaliar um número maior de amostras.

Em contrapartida, o método de Bouyoucos oferece alta precisão, adaptabilidade a diferentes tipos de solo e potencial para automação, sendo particularmente eficaz em solos com distintas frações de textura. No entanto, sua complexidade e os custos associados a equipamentos mais específicos podem ser um desafio, além de ser menos adequado para solos arenosos.

REFERÊNCIAS

- ALBRECHT, W.A.; MCCALLA, T.M. The colloidal clay fraction of soil as a cultural medium. **American Journal of Botany**, New York, v. 25, n. 6, p. 403-407, 1938.
- ALEXANDRE, C.; MARQUES DA SILVA, J. R.; FERREIRA, A. G. Comparação de dois métodos de determinação da textura do solo: sedimentometria por raios X vs. método da pipeta. **Revista de Ciências Agrárias, Évora**, v. 24, n. 3-4, p. 73-81, 2001.
- ALMEIDA, B. G. **Métodos alternativos de determinação de parâmetros físicos do solo e uso de condicionadores químicos no estudo da qualidade do solo**. 2008. 104f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.
- ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 857-865, 2000.
- ARRUDA, F. B.; ZULLO JR, J.; DE OLIVEIRA, J. B. Parâmetros de solo para o cálculo da água disponível com base na textura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.11, p.11-15, 1987.
- ASHWORTH, J.; KEYES, D.; KIRK, R.; LESSARD, R. Standard procedure in the hydrometer method for particle size analysis. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 32, n. 5-6, p. 633-642, 2001.
- AYRES, I. S. **Disponibilidade de água em solos de alegrete sob diferentes usos e manejos**. 2018. 56 f. Monografia (Curso de Engenharia Agrícola), Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2018.
- BONIFÁCIO, C.M.; NÓBREGA, M.T.; SILVEIRA, H. Análise comparativa de técnicas de determinação granulométrica aplicadas ao estudo de um sistema pedológico no município de Tamboara-PR. In: II SIMPÓSIO PARANAENSE DE ESTUDOS CLIMÁTICOS E XIX SEMANA DE GEOGRAFIA, 2010, Maringá. **Anais [...]**. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2010, p.488-500.
- BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. **Soil physics**. New York: Wiley, 1972.
- BLOTT, S.J.; PYE, K. Particle size distribution analysis of sand-sized particles by laser diffraction: an experimental investigation of instrument sensitivity and the effects of particle shape. **Sedimentology**, Oxford, v. 53, n. 3, p. 671–685, 2006.
- BOHN, C.C.; GEBHARDT, K. Comparison of hydrometer settling times in soil particle size analysis. **Journal of Range Management**, Baltimore, v. 42, n. 1, p. 81-83, 1989.
- BOUYOUCOS, G.J. The hydrometer as a new method for mechanical analysis of soils. **Soil Science**, New Brunswick, v. 23, n. 5, p. 343–352, 1927.
- _____. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. **Agronomy Journal**, Madison, v. 54, n. 5, p. 464–465, 1962.

CASAGRANDE, A. **Die Araometer-Methode zur bestimmung der kornverteilung von boden und anderen materialien.** Berlin: Julius Springer, 1934.

CAVALHEIRO, A. J.; FERREIRA, V. G.; LEME, G. M.; FUNARI, C. S. D. Aperfeiçoamento em cromatógrafo a líquido para extração de micromoléculas de matrizes sólidas e método de análise cromatográfica utilizando dito equipamento. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JULIO DE MESQUITA FILHO – Patente, 2017.

CIPRIANO, P. E.; SIUEIA JÚNIOR, M.; SILVA, R. F.; MARS, G.; SOARES, L. S.; ASSIS, E. S.; OLIVEIRA, J. M.; ASSINARI, D. T.; DIAS JUNIOR, M. S. Comparação de métodos de análise textural em diferentes solos de Minas Gerais. In: IV CONGRESSO DE AGRONOMIA, 2016. **Anais [...].** Online, 2016. Disponível em: https://convibra.org/congresso/res/uploads/pdf/2016_82_12488.pdf. Acesso em: 01 de dezembro de 2023.

COMBER, N.M.; DYER, B.; HENDRICK, J.; ROBINSON, G.W.; WALLACE, T.; KEEN, B.A. The mechanical analysis of soils: a report on the present position, and recommendations for a new official method. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 16, n. 1, p. 126-144, 1926.

CUNHA, G. O. M.; ALMEIDA, J. A.; BARBOZA, B. B.; FRIEDERICH, A.; RECH, C.; HEBERLE, D. A.; GROHSKOPF, M. A. Comparação de métodos de determinação de argila em diferentes solos brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 20, n. 1/2, p. 121-130, 2014.

DAY, P.R. Particle fractionation and particle - size analysis. In: BLACK, C.A., ed. **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965, p. 545-566.

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B. de; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.

ELLIOTT, E.T.; HEIL, J.W.; KELLY, E.F.; CURTIS MONGER, H. Soil structural and other physical properties. In: ROBERTSON, G.P.; BLEDSOE, C.S.; COLEMAN, D.C.; SOLLINS, P. (Ed.). **Standard soil methods for long-term ecological research**. New York: Oxford University Press, 1999. p. 74-85.

GOOSSENS, D. Techniques to measure grain-size distributions of loamy sediments: a comparative study of ten instruments for wet analysis. **Sedimentology**, Oxford, v. 55, n.1, p. 65– 96, 2008.

HWANG, S.I.; POWERS, S.E. Using particle-size distribution models to estimate soil hydraulic properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 67, n. 4, p. 1103–1112, 2003.

INDORANTE, S.J.; FOLLMER, L.R.; HAMMER, R.D.; KOENIG, P.G. Particle-size analysis by a modified pipette procedure. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 54, n. 2, p. 560-563, 1990.

JENNINGS, D.S.; THOMAS, M.D.; GARDNER, W. A new method of mechanical analysis of soils. **Soil Science**, v. 14, n. 6, p. 485-499, 1922.

JORGE, J. A.; PAULA, J. L.; MENK, J. R. F. Comparação de dois métodos de análise granulométrica de solos utilizados pelo SNLCS/Embrapa e IAC. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 20, n. 7, p. 865-871, 1985.

KUNZ, M.; BRAGA, F. V. A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; KUNZ, M.; WINK, C.; RODRIGUES, M. F.; DALBIANCO, L. Comparação de métodos de análise granulométrica para diferentes solos do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: XXXI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2007, Gramado. **Anais [...]**. Gramado: Universidade Federal de Rio Grande do Sul, 2007.

LEONI, A. Propiedades físicas de los suelos. **Ing. Leoni & Asociados**, v. 90, p. 1-90, 2015.

MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 2. ed. Porto Alegre: Genesis, 2006, 290p.

MELO, V. F.; NOVAIS, R. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FONTES, M. P. F.; SINGH, B. Mineralogia das frações areia, silte e argila de sedimentos do grupo Barreiras no município de Aracruz, estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 29-41, 2002.

MULAZZANI, R. P.; GUBIANI, P. I. Curva granulométrica gerada pelos métodos do densímetro e da pipeta. In: XXXV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2015, Natal. **Anais [...]**. Natal: 2015.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 188p.

REICHERT, J. M. REINERT, D. J. SUZUKI, L. E. A. S. HORN, R. Mecânica do Solo. In: JONG van LIER, Q. Ed. Física do Solo. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. 2010. p 29 - 103.

RECH, C.; CUNHA, G.O.M.; ALMEIDA, J.A.; BARBOZA, B.B.; SANTOS, H.J.; DALL'ORSOLETTA, D. Teores de argila determinado pelos métodos do densímetro “simplificado” e pipeta dos solos de diferentes regiões brasileiras. In: XXXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2013, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: 2013.

ROBINSON, G.W. New method for the mechanical analysis of soils and other dispersions. **The Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 12, p. 306-321, 1922.

RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 2, p. 297-300, 2005.

RYŻAK, M.; BIEGANOWSKI, A.; WALCZAK, R.T. Application of laser diffraction method for determination of particle size distribution of grey-brown podzolic soil. **Research Agricultural Engineering**, v. 53, n. 1, p. 34-38, 2007.

SALTER, P.J.; BERRY, G.; WILLIAMS, J.B. Influence of texture on the moisture characteristics of soils. III. Quantitative relationships between particle size, composition, and available-water capacity. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 17, n. 1, p. 93-98, 1966.

SARACHE, G. V.; SOUZA, M. L. Comparação de métodos de análise granulométrica para partículas da formação caiuíá, Cruzeiro do Oeste, Paraná. XXVI ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2017, Maringá. **Anais [...]**. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2017.

SILVA, A.A.M.; MARTINS-REIS, V.O. Influência da consistência morfológica na leitura e na escrita: Uma revisão sistemática de literatura. **CoDAS**, v. 29, n. 1, 1-8, 2016.

SILVA, H. B. A. D. **Bancada experimental: viscosímetro baseado na Lei de Stokes**. 2021. 32 f. Monografia (Curso de Engenharia Mecânica), Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2021.

STOKES, G.G. On the effect of the internal friction of fluids on the motion of pendulums. **Transaction of the Cambridge Philosophical Society**, Cambridge, v. 9, n. 2, p. 8-106, 1851.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análises de solo**. 3. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2017. 212 p.

VAN LIER, Q. de J. Física do solo. **Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2010.

WALTER, N.F.; HALLBERG, G.R.; FENTON, T.S. Particle size analysis by the Iowa State University: soil survey laboratory. In: HALLBERG, G.R. (Ed.). **Standard procedures for evaluation of quaternary materials in Iowa**. Ames: Iowa Geological Survey, 1978. p. 61–74. (Technical Information Series, 8).