

Comparação de métodos de determinação de argila em diferentes solos brasileiros¹

Gabriel Octávio de Mello Cunha², Jaime Antonio de Almeida³, Bethina Bastos Barboza⁴,

Augusto Friederichs⁵, Cleber Rech², Daniel Alexandre Heberle², Marco André Grohskopf⁶

Resumo - A textura do solo refere-se à proporção relativa das diversas frações granulométricas do solo (< 2 mm de diâmetro), a qual é expressa pelas classes texturais convencionais, definidas por diferentes combinações de argila, silte e areia. O trabalho teve como objetivo comparar os teores de argila determinados pelos métodos da pesagem e do densímetro “simplificado” com o método da pipeta, tomado como padrão (testemunha). O estudo foi conduzido no Laboratório de Gênese e Mineralogia do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina, em Lages, SC, sendo utilizadas amostras de dois horizontes (A e B) de doze perfis de solo de cinco estados brasileiros (Acre, Bahia, Pernambuco, Rio Grande do Sul e Santa Catarina). A dispersão das amostras dos solos foi realizada com hidróxido de sódio (NaOH) para a maioria dos solos, e com calgon, para os solos com elevados teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} e que apresentaram problemas na dispersão com NaOH 1 mol L⁻¹. O método do densímetro tendeu a superestimar ligeiramente os teores de argila, principalmente nos horizontes subsuperficiais, enquanto que no da pipeta não houve diferença para a maioria dos solos, principalmente nos horizontes superficiais, quando ambos foram comparados ao método da pesagem.

Palavras-chave: Análise granulométrica. Textura do solo. Dispersantes químicos.

Comparing methods for determination of clay contents in different Brazilian soils

Abstract - Soil texture refers to the relative proportions of various particle sizes of soil (<2 mm diameter), which are expressed by conventional textural classes defined by different combinations of clay, silt and sand. The study was carried out at the Laboratory of Soils Genesis and Mineralogy of the Universidade do Estado de Santa Catarina, in Lages, SC using samples from two horizons (A and B) of twelve soil profiles from five Brazilian states (Acre, Bahia, Pernambuco, Rio Grande do Sul e Santa Catarina). The dispersion of the soil samples was done by sodium hydroxide (NaOH) for most soil and with calgon for soils with high levels of Ca^{2+} and Mg^{2+} . Those soils showed problems to disperse particles with NaOH 1 mol L⁻¹ solution. The results indicated that the hydrometer method tended to slightly overestimate the clay content, mainly in subsurface horizons, whereas for pipette method there

¹ Manuscrito recebido em 19/09/2014 e aceito para publicação em 29/10/2014. Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor, apresentada no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). Executada com recursos da CAPES.

² Eng. Agr., Aluno de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). Av. Luís de Camões, 2090, CEP: 88520-000. Lages, SC. E-mail: gabriel.cunha4@gmail.com.

³ Professor do Departamento de Solos e Recursos Naturais do Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina. Av. Luís de Camões, 2090, CEP: 88520-000. Lages, SC. E-mail: a2jaa@cav.udesc.br.

⁴ Estudante de graduação em Engenharia Ambiental Centro de Ciências Agroveterinárias, UDESC. E-mail: bee.bz@hotmail.com.

⁵ Eng. Agr., Aluno de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). Av. Luís de Camões, 2090, CEP: 88520-000, Lages, SC. E-mail: augustofriederichs@hotmail.com.

⁶ Eng. Agr., Aluno de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Estadual de São Paulo (UNESP). Rua Quirino de Andrade, 215, CEP: 01049-010, São Paulo, SP. E-mail: marcogrohskopf@gmail.com.

were no differences for most soils, more precisely in topsoils horizons, when they were compared with weighing method.

Key words: Particle size analysis. Soil texture. Chemical dispersants.

Introdução

A textura do solo representa a distribuição quantitativa das partículas minerais menores que 2 mm, as quais são geralmente divididas em três frações: areia, silte e argila. Vários sistemas de classificação têm definido diferentes limites para essas frações (GEE e BAUDER, 1986). Na escala sugerida pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos e adotada no Brasil, a fração areia tem diâmetro compreendido entre 2,0 e 0,05 mm, o silte entre 0,05 e 0,002 mm e a argila constitui a fração menor do que 0,002 mm.

O tamanho das partículas do solo interfere diretamente na sua capacidade de retenção de água e de nutrientes, na dinâmica da adesão e coesão entre as partículas (MINASNY et al., 2007), na condição de drenagem (CHAKRABORTY et al., 2006) e suscetibilidade à erosão (KJAERGAARD et al., 2004).

É indispensável que, independentemente do método de análise granulométrica utilizado, obtenha-se completa dispersão das amostras do solo e a manutenção da fase dispersa, necessitando-se para tal a neutralização de qualquer agente que interfira na dispersão, principalmente aqueles ligados à fração argila (EMBRAPA, 1997; VITORINO et al., 2007). As partículas do solo estão agregadas por substâncias cimentantes, tais como matéria orgânica (MO), óxidos de ferro e de alumínio e íons floculantes como cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), alumínio (Al^{3+}) e hidrogênio (H^+) (DONAGEMA et al., 2003; TAVAREZ e MAGALHÃES, 2008).

O dispersante mais utilizado para a análise granulométrica de solos no Brasil tem sido o hidróxido de sódio (NaOH) 1 mol L^{-1} (EMBRAPA, 1997). Porém, em solos tropicais e subtropicais brasileiros que apresentam pH mais elevado (> 6,0), podem ocorrer altos teores de cátions floculantes como cálcio e magnésio (VITORINO et al., 2003), e o predomínio de argilominerais 2:1 de carga permanente na fração argila, como as esmectitas (CUNHA, 2013). Nesse caso, o dispersante mais indicado é o hexametáfosfato de sódio (EMBRAPA, 1997), também conhecido como calgon. O dispersante químico a ser utilizado depende do tipo de solo,

não podendo ser estabelecido um único dispersante para ser utilizado na rotina dos laboratórios de física do solo do país (VIANA et al., 2010).

Os principais métodos de análise granulométrica para determinação do conteúdo de argila são os métodos da pipeta e do densímetro (GEE e BAUDER, 1986) e ambos se baseiam no tempo de sedimentação das partículas de diferentes dimensões em meio líquido (KLEIN, 2008; VITORINO et al., 2007), com base na Lei de Stokes (1851), usada para calcular a velocidade em que as partículas de diferentes tamanhos sedimentam em meios líquidos. Após a dispersão e a sedimentação das partículas maiores, a argila é determinada pelo método da pipeta ou através de densímetro (método hidrômetro), sendo o silte normalmente calculado por diferença (VITORINO et al., 2007).

Outra maneira de determinar as frações granulométricas das amostras de solo (além dos métodos do granulômetro ou do NIR), embora não utilizado em rotina por ser bastante demorado em relação aos anteriores, consiste em quantificar o total das três frações (areia, silte e argila), utilizando o tamisamento mecânico para a separação da areia total e métodos baseados na velocidade e no tempo de sedimentação das partículas para separação do silte total da argila, através de sucessivos sinfonamentos da fração argila, até sua completa separação do silte. Esse método é muito utilizado para o estudo da composição mineral da fração argila, principalmente por difratometria de raios-X, sendo detalhadamente descrito por Jackson (1965). Após separar o silte da argila, ambos podem ser quantificados por pesagem do conteúdo total das frações na amostra.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar de forma comparativa a eficiência de dois métodos, da pesagem e do densímetro “simplificado”, em relação ao método da pipeta para quantificação da fração argila em amostras de solo de diferentes regiões brasileiras, com diferentes propriedades químicas, mineralógicas e granulométricas, bem como estabelecer as possíveis causas das diferenças entre os métodos.

Material e Métodos

Seleção dos solos

O estudo foi conduzido no Laboratório de Gênese e Mineralogia do Solo do Departamento de Solos e Recursos Naturais da Universidade do Estado de Santa Catarina, em Lages, SC, com amostras de horizontes A e B de cinco solos coletadas nos estados do Acre (perfis AC4, AC6, AC9 e AC11), Bahia (BA), Pernambuco (PE), Santa Catarina (Bom Retiro-SCBR, Rancho Queimado-SCRQ e São Joaquim perfil 8 – SC8SJ) e Rio Grande do Sul (Formigueiro-RS11 e Rosário do Sul-RSRS).

As amostras de solo foram coletadas em locais onde já haviam sido previamente descritos perfis de solo, cujos resultados foram publicados em trabalhos de pesquisa e dissertações, sendo sua classificação, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006) e respectivas fontes de referência, indicadas na Tabela 1. Um resumo dos principais atributos físicos e químicos obtidos desses trabalhos originais encontram-se na Tabela 2.

As amostras de solo, provenientes dos mesmos locais e horizontes descritos nos trabalhos originais, foram secas em estufa a 60 °C por 24 horas, destorroadas, moídas e peneiradas, restando-se a fração com diâmetro inferior a 2 mm (TFSA – terra fina seca ao ar) para as análises (EMBRAPA, 1997).

Análises físicas

Para os três métodos de análises granulométricas estudadas (densímetro “simplificado”, pipeta e pesagem), a dispersão das amostras foi realizada conforme descrito por Day (1965) e Gee e Bauder (1986) e modificado por Camargo et al. (2009), com as seguintes adaptações: pesaram-se 50 gramas de TFSA, adicionando-se 75 mL de água destilada e 5 mL de NaOH 1 mol L⁻¹ ou calgon (hexametáfosfato de sódio 0,35 mol L⁻¹ + carbonato de sódio anidro 0,08 mol L⁻¹) e duas esferas (bolitas) de nylon, com cerca de 10 mm de diâmetro cada. Após agitação manual, para homogeneização do material, as amostras ficaram uma noite em repouso (16 horas). Em seguida, foram dispersas mecanicamente em um agitador horizontal a 120 rpm por 4 horas, e posteriormente o conteúdo total foi transferido para uma proveta de 1 L, após separação da fração areia total por peneiramento em malha de 0,053 mm.

O material retido na peneira (areia total) foi transferido para uma lata de alumínio e seco em

estufa (105 °C) por 24 horas, sendo posteriormente pesado. O restante da suspensão, contendo as frações silte e argila, foi recolhido em proveta de 1 L, completando-se o volume com água destilada. A suspensão foi homogeneizada por 30 segundos e então deixada em repouso pelo tempo necessário para permitir a sedimentação das várias frações, em conformidade com a temperatura da água, como descrito no método.

Em cada amostra (após dispersão química e física) a argila foi determinada pelos métodos da pipeta, conforme Gee e Bauder (1986), do densímetro “simplificado”, de acordo com Bouyoucos (1962) e pelo método das pesagens da areia (peneiramento), argila e silte totais após separação completa do silte na mistura silte + argila, de acordo com Jackson (1965).

No método da pipeta, após a homogeneização da suspensão, foi calculado um tempo de aproximadamente 4 horas para sedimentação do silte, dependendo da temperatura da água (GEE e BAUDER, 1986), numa altura de 5 cm da superfície da suspensão, segundo a Lei de Stokes (1851). Nessa profundidade, coletaram-se com pipeta 50 mL da suspensão contendo a fração argila que foi transferida para bécker de 100 mL, seca em estufa a 105 °C por 24 horas e determinada a massa seca das partículas.

Na análise granulométrica pelo método do densímetro “simplificado”, conforme Bouyoucos (1962), o tempo de sedimentação para leitura da fração argila com o densímetro foi de 2 horas, após homogeneização da suspensão. Utilizou-se o método do densímetro “simplificado”, ou seja, com leitura da densidade diretamente no volume total da proveta de 1 L, e não o completo, cuja leitura é feita após transferir o volume dos 250 mL da porção superior da proveta de 1 L para uma proveta de 250 mL. Anotou-se a temperatura da suspensão para ajuste das leituras do densímetro. Após a quantificação da argila pelos métodos da pipeta e do densímetro, a fração silte foi obtida por diferença em relação ao total de argila mais areia.

No método das pesagens, o volume total das mesmas amostras de suspensão do silte e argila, usada conforme os métodos da pipeta e do densímetro, foi transferido para recipientes plásticos de 1 L, de fundo largo e altura aproximada de 10 cm. Com base na Lei de Stokes (1851), calculou-se o tempo (5 horas) necessário para que toda a fração silte ultrapassasse uma altura (6 cm) fixada no balde, retirando-se, por sifonamento, todo volume

imediatamente acima da marca dos 6 cm, que foi transferida para outro recipiente. O restante da suspensão contida na porção inferior (6 cm) à altura fixada, contendo silte e ainda parte da argila, foi ressuspensa novamente e completado o volume para 1 L, com adição de NaOH ou calgon suficiente para que o pH se mantivesse em torno de 9,0. Novas retiradas (no total de oito) da fração argila foram realizadas até que, após decorrido o tempo necessário para sedimentação de todo o silte, não houvesse mais argila em suspensão. Após a última retirada da argila, a fração silte total contida no fundo do balde sofreu sete lavagens com água destilada, sendo seca em estufa a 105 °C por 24 h e depois pesada. Com base nos teores de areia e silte totais obtidos por pesagem, a argila total foi calculada por diferença.

Amostras separadas da fração TFSA foram pesadas antes e após secagem em estufa a 105 °C, para cálculo da umidade gravimétrica e posterior correção dos dados de TFSA para terra fina seca em estufa (TFSE). Não foi realizado nenhum pré-tratamento para a destruição da MO, de óxidos e/ou hidróxidos presentes nas amostras de solo, como sugerido por Embrapa (1997), Donagema et al. (2003), Vitorino et al. (2003), entre outros autores.

Para interpretação dos dados, foi utilizado o programa SAS 9.2. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, e as médias foram comparadas pelo teste de Dunnett ao nível de significância de 1% ($p < 0,01$), nos horizontes A e B, separadamente. Quando necessário, o teste de regressão foi aplicado para correlacionar os teores de argila obtidos pelos métodos do densímetro “simplificado”, e da pipeta com os obtidos pela pesagem.

Resultados e Discussão

De acordo com os resultados o método de determinação da fração argila interferiu na exatidão dos valores quantificados. De modo geral, observou-se que, independentemente do horizonte e do dispersante utilizado, os teores de argila pelo método do densímetro “simplificado” foram maiores quando comparados com os obtidos pelos métodos da pesagem e da pipeta (testemunha). Exceções ocorreram para o horizonte superficial do Argissolo Vermelho Alítico plíntico (AC4), do Cambissolo Húmico Alítico típico (SCBR) e do Cambissolo Háplico Alítico típico (SC8SJ), os quais não apresentaram diferenças nos valores da fração argila em relação

Pesq. Agrop. Gaúcha, v. 20, ns.1/2, p. 121-130, 2014.

à testemunha, e para os horizontes subsuperficiais do Argissolo Vermelho Alítico (AC6), do Vertissolo Háplico Órtico luvisólico (AC11) e do Vertissolo Háplico órtico típico (BA), cujos teores de argila foram mais baixos do que a testemunha (Tabela 3).

Segundo Gee e Bauder (1986) e Miller (1988), os maiores teores de argila obtidos pelo método do densímetro estão relacionados ao pouco tempo para sedimentação das partículas do silte (2 horas), que não é suficiente para sedimentá-las. No método do densímetro, o maior teor de argila pode estar relacionado à “simplificação” realizada. No método original, (densímetro “padrão”), após duas horas de sedimentação na proveta de 1000 mL, 250 mL da parte superior da suspensão são transferidos para uma proveta de 250 mL, para homogeneização e leitura da densidade. Nessa suspensão, a quantidade de silte deve ser mais baixa. Já no método “simplificado”, a leitura da densidade é realizada diretamente na proveta de 1000 mL (BOUYOUCUS, 1962). Com isso, o densímetro registra a densidade da suspensão pela presença de argila, mas também pelo silte fino, que interfere na região do bulbo do densímetro, podendo aumentar a densidade.

Na mesma tabela, observa-se que não há diferença na obtenção da argila pelo método da pipeta quando comparado com o método da pesagem, principalmente no horizonte A das amostras dos Argissolos Vermelho Alítico (AC6), Vermelho-Amarelo Alítico típico (PE), Vermelho-Amarelo latossólico (SCRQ) e do Vermelho-Amarelo Alítico plíntico (AC9), e dos Vertissolos: Háplico Órtico luvisólico (AC11), e Háplico Órtico típico (BA), mostrando que o método da pesagem (apesar da morosidade na obtenção dos resultados) foi eficiente na obtenção da fração argila nessas amostras de solo. Isso ocorreu, provavelmente por que os métodos têm princípios semelhantes de quantificação dos teores de argila, ambos obtidos a partir da pesagem das amostras. No primeiro método a argila é obtida pela pesagem de 50 mL da solução de argila coletada a 5 cm de profundidade e no segundo método a partir da pesagem da areia e silte totais (argila obtida subtraindo-se de 100 a soma das frações areia e silte totais). Ambas as determinações são feitas após a secagem do material em estufa a 105 °C por um período de 24 horas.

Por outro lado, nesse mesmo horizonte das amostras dos Cambissolos Húmico Alítico típico (SCBR), Háplico Alítico típico (SC8SJ), e do

Argissolo Bruno-Acinzentado Alítico típico (RSRS) foram obtidos maiores teores de argila pelo método da pesagem em relação ao da pipeta, e no Luvissole Hipocrômico Órtico aluminoso (RS11) o método da pipeta foi maior que o da pesagem. Esse comportamento pode estar relacionado com a imprecisão na determinação do silte, uma vez que é muito difícil separar o silte da argila (pseudo-silte), pois mesmo que a fração argila seja dispersa várias vezes, sempre haverá contaminação por silte.

Nos horizontes subsuperficiais das amostras dos Argissolos Vermelho Alítico típico (AC4), Vermelho-Amarelo latossólico (SCRQ), e Vermelho-Amarelo Alítico plúvico (AC9), do Cambissolo Háplico Alítico típico (SC8SJ), do Luvissole Hipocrômico Órtico aluminoso (RS11), e do Argissolo Bruno-Acinzentado Alítico típico (RSRS) os teores foram maiores no método da pipeta quando comparados com os da pesagem.

No caso do Argissolo Vermelho Alítico (AC6) e dos Vertissolos Háplico Órtico luvisólico (AC11) e Háplico Órtico típico (BA), em que os teores de argila pelos métodos do densímetro e da pipeta foram subestimados em relação ao da pesagem, pode ter ocorrido a floculação das argilas, devido à presença de íons floculantes Ca^{2+} , Mg^{2+} , matéria orgânica e óxidos e hidróxidos presentes nas amostras (DONAGEMA et al., 2003, MESQUITA, 1992) e com problemas na dispersão da argila. Esse comportamento, segundo Camargo et al. (2009) em uma comunicação pessoal com Lepsch e Grohmann, concluíram que o hidróxido de sódio sem pré-tratamento ácido não é adequado para dispersar solos com altos teores de bases trocáveis. Opta-se atualmente pela mistura de hidróxido de hexametáfosfato de sódio, que vem levando sempre a resultados mais consistentes. Quanto à desagregação, usa-se a metodologia preconizada por GROHMANN e RAIJ (1973), consistindo em agitação lenta por tempo prolongado.

Nas amostras dos Vertissolos Háplico Órtico luvisólico (AC11), Háplico Órtico típico (BA), e do Argissolo Vermelho Alítico (AC6), ambos no horizonte B, também dispersas com o NaOH 1 mol L^{-1} , os teores de argila obtidos pelos métodos do densímetro e da pipeta foram menores quando comparados com os obtidos pelo método da pesagem (Tabela 3). Isso ocorreu com maior discrepância no método da pipeta, pois esse método tem como possíveis limitações (além de ser considerada como padrão): a) dispersão inadequada (MIYAZAWA e BARBOZA, 2011;

DONAGEMA et al., 2003), b) tempo de agitação das amostras (MIYAZAWA e BARBOZA, 2011) c) tempo de sedimentação das frações silte e argila e profundidade de coleta da solução do solo (STOKES, 1851), d) o hidróxido de sódio não se mostrou adequado na dispersão das amostras, devido à presença de altos teores de cátions floculantes como o cálcio e magnésio (VIANA et al., 2010), e) erros na pesagem (MIYAZAWA e BARBOZA, 2011), podendo assim, aumentar os erros na determinação da argila por esse método. Vale ressaltar que, no método da pipeta a argila é quantificada, enquanto que no método do densímetro ela é estimada, a partir da densidade da suspensão. Em contrapartida, o método do densímetro simplificado, embora utilizado pela maioria dos laboratórios de prestação de serviços no Brasil, proporciona uma estimativa grosseira da argila, e que muitas vezes chega a valores próximos dos reais, pois o processo de dispersão do solo utilizado na prática nem sempre é eficiente, restando muito silte e argila floculados que acabam sendo quantificados como argila o que muitas vezes proporciona resultados próximos dos determinados pela pipeta (neste caso só argila).

Tendo em vista esses problemas e, principalmente, a dificuldade na dispersão das amostras supracitadas, testou-se o emprego do dispersante calgon (hexametáfosfato de sódio $0,35 \text{ mol L}^{-1}$ + carbonato de sódio anidro $0,08 \text{ mol L}^{-1}$) para as amostras, recomendado para solos com altos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} (EMBRAPA, 1997). Os resultados, indicados na Tabela 4, evidenciaram valores mais representativos, mas com o mesmo comportamento obtido pelo NaOH para a maioria dos solos, ou seja, o densímetro continuou apresentando maiores teores de argila quando comparado com os métodos da pipeta e da pesagem, exceto no Vertissolo Háplico Órtico luvisólico (AC11) em que não houve diferença em relação à pesagem. Mesmo com o uso do calgon os teores de argila pelo método da pipeta foram inferiores quando comparados aos da pesagem.

Para Miyazawa e Barboza (2011), a matéria orgânica do solo interfere na análise granulométrica em duas etapas: a primeira, subestimando os valores das partículas obtidas (argila, silte e areia) da TFSA, pois quando se pesa uma amostra de solo para análise, está incluído o peso da MO; e a segunda, quando se pesa a massa de argila da suspensão, está incluído

também o peso da matéria orgânica, adsorvida na argila, superestimando, conseqüentemente, os valores da argila.

Para os mesmos autores, quando se pesa uma amostra de solo para análise, está incluído o peso da MO e faz-se necessária a correção do peso da mesma. Por outro lado, quando se pesa a massa de argila da suspensão, está incluída a massa da MO adsorvida à argila, superestimando, os valores de argila.

Apesar de os métodos subestimarem ou superestimarem os teores de argila, a correlação do densímetro e da pesagem com o método da pipeta foi alta (exceto na comparação entre o primeiro método e a pipeta no horizonte B), considerando os teores de argila obtidos pela dispersão com NaOH na maioria das amostras dos horizontes A (Figura 1A) e B (Figura 1B), incluindo os teores de argila obtidos com o calgon nas amostras dos Vertissolos Háplico Órtico luvisólico (AC11) e Háplico Órtico típico (BA); e do Argissolo Vermelho Alítico (AC6) do horizonte B, o que indica que ambos os métodos podem ser empregados na rotina de determinações de argila em laboratórios, conforme relatado por Bouyoucus (1962) e Day (1965).

Conclusões

O método do densímetro superestimou os teores de argila, principalmente nos horizontes A e B da maioria dos solos avaliados, enquanto o método da pesagem subestimou os teores principalmente no horizonte B dos solos de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul. Já nos horizontes superficiais não houve diferença para algumas amostras, quando comparadas ao método da pipeta.

Apesar da não utilização do método da pesagem na determinação da textura do solo em laboratórios de rotina no Brasil, devido à sua morosidade e demora na obtenção dos resultados, os teores de argila obtidos por esse método, mostrou-se eficaz para algumas amostras dos horizontes superficiais de alguns solos testados no presente estudo, podendo haver uma subestimação e/ou superestimação quando comparado com o método da pipeta.

Para solos com altos teores de cálcio e magnésio e com problemas na dispersão das amostras de solo, o dispersante químico calgon foi eficaz para a dispersão da argila.

Ambos os métodos, da pipeta e do densímetro, apesar das limitações inerentes a Pesq. Agrop. Gaúcha, v. 20, ns.1/2, p. 121-130, 2014.

cada um, estimaram adequadamente os teores de argila dos solos estudados, podendo ser empregados em análises de rotina. Em contrapartida, devido à morosidade e principalmente à demora (impraticável em laboratórios de rotina) na obtenção dos resultados, o método da pesagem não é adequado (apesar da alta correlação obtida entre esse método e o da pipeta), em vista da dificuldade na separação da argila e do silte.

Referências

ALMEIDA, J. A.; SANTOS, P. G.; SHIMIZU, S. H. et al. Guia de excursão pedológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34., Florianópolis. **Anais...** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013. 56 p.

BOUYOUCUS, G. J. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. **Agronomy Journal**, v. 54, p. 464-465, 1962.

CAMARGO, O. A. et al. **Métodos de análise química, mineralogia e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: IAC, 2009. 77 p. (Boletim Técnico, 106).

CHAKRABORTY, D. et al. Prediction of hydraulic conductivity of soils from particle-size distribution. **Current Science**, Bangalore, v. 90, n. 11, p. 1526-1531, Jun. 2006.

CUNHA, G. O. M. **Mineralogia e formas de alumínio em solos ácidos brasileiros**. Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2013. 153 p. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2013.

DAY, P. R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C. A. **Methods of soil analysis**. **American Society of Agronomy**, v. 1, p. 545-566, 1965.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro

- Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- _____. _____. In: ANJOS, L. H. C.; SILVA, L. M.; WADT, P. G. S. (Eds.) **Solos sedimentares em sistemas amazônicos**: potencialidades e demandas de pesquisas. Rio de Janeiro, 2010. 95 p. (Guia de Campo).
- _____. _____. Sistema Brasileiro de Classificação de Solo: projeto solos alíticos. Recife, 2011. 63 p.
- _____. _____. **Guia de excursão de estudos de solos nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 222 p.
- _____. _____. Sistema Brasileiro de Classificação de Solo. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, Produção de informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.
- GEE, G. W.; BAUDER J. W. Particle size analysis by hydrometer: a simplified method for routine textural analysis and a sensitivity test of measured parameters. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 43, n. 5, p. 1004-1007, Sept./Oct. 1986.
- GROHMANN, F.; RAIJ, B. van. Influência dos métodos de agitação na dispersão da argila do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 14., Santa Maria, 1973. **Anais...** p. 123-132.
- JACKSON, M. L. **Soil chemical analysis**. 2. ed. Madison: Department of Soil Science, University of Wisconsin, 1965. 991 p.
- JACOMINE, P. K. T.; CAVALANTI, A. C.; SILVA, F. B. R. et al. **Levantamento exploratório**: reconhecimento de solos da margem direita do Rio São Francisco Estado da Bahia. Recife: Embrapa/ SNLCS; SUDENE/DRN, 1979. 2 v.
- KJAERGAARD, et al. Water-dispersible colloids: effects of measurement method, clay content, initial soil matric potential and wetting rate. **Vadose Zone Journal**, v. 3, p. 403-412, 2004.
- KLEIN, V. A. **Física do solo**. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2008. 212 p.
- Pesq. Agrop. Gaúcha, v. 20, ns.1/2, p. 121-130, 2014.
- MESQUITA, M. G. B. F. **Dispersão da fração argila e estabilidade de agregados em função da aplicação de calcário e gesso agrícola em Latossolos da Região dos Campos das Vertentes (MG), cultivados com *Andropogon e Estilosantes***. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1992. 112 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 1992.
- MILLER, W. P. et al. An historical perspective on the theory and practice of soil mechanical analysis. **Journal of Agronomic Education**, Madison, v. 17, n. 1, p. 24-28, 1988.
- MINASNY, B. et al. Relationships between field texture and particle-size distribution in Australia and their implications. **Australian Journal Soil Research**, Collingwood, v. 45, n. 6, p. 428-437, 2007.
- MIYAZAWA, M; BARBOSA, G. M. C. Efeitos da agitação mecânica da matéria orgânica na análise granulométrica do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 7, p. 680-685, 2011.
- PAES SOBRINHO, J. B. **Mineralogia da fração argila de solos das serras do leste catarinense**. Lages: Universidade do Estado de Santa Catarina, 2005. 100 p. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2005.
- SANTOS, G. S. Mineralogia, **Gênese e relações pedogeomórficas de solos desenvolvidos de litologias das formações piramboia, Sanga do Cabral e Guará na região sudeste do estado do Rio Grande do Sul**. Lages: Universidade do Estado de Santa Catarina, 2012. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2012.
- 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.
- TAVAREZ FILHO, J.; MAGALHÃES, F. S. Dispersão de amostras de Latossolo Vermelho

Eutroférico influenciadas por pré-tratamento para oxidação da matéria orgânica e pelo tipo de agitação mecânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1429-1435, 2008.

TESKE, R. **Relações solo**: litologia numa sequência de solos desenvolvidos de rochas efusivas no Planalto Sul de Santa Catarina. Lages: Universidade do Estado de Santa Catarina, 2010. 121 p. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2010.

VIANA, J. H. M. et al. Granulometria dos solos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE

SOLOS: SISTEMAS AMAZÔNICOS, SOLOS SEDIMENTARES EM POTENCIALIDADE E DEMANDA DE PESQUISA, 9., Rio Branco. In: ANJOS, L. H. C.; SILVA, L. M.; WADT, P. G. S. (Eds.). **Solos sedimentares em sistemas amazônicos**: potencialidades e demandas de pesquisas. Rio de Janeiro, 2010. p. 56-63.

VITORINO, A. C. T. et al. Mineralogia, química e estabilidade de agregados do tamanho de silte de solos da Região Sudeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 1, p. 133-141, 2003.

_____. et al. Uso de energia ultra-sônica e turbidimetria na análise textural de pequenas amostras de solo. **Revista Ciências Técnicas Agropecuárias**, v. 16, p. 43-48, 2007.

Tabela 1 - Classificação dos solos segundo o SiBCS (EMBRAPA, 2006) dos solos estudados.

Solo	Fonte	Horizonte	Prof.		Classificação dos solos
			cm		
AC4	Embrapa (2010)	Ap	0-10		Argissolo Vermelho alítico plíntico
AC4	Embrapa (2010)	Bt ₂	34-64		Argissolo Vermelho alítico plíntico
AC6	Embrapa (2010)	Ap	0-6		Argissolo Vermelho alítico
AC6	Embrapa (2010)	Bt ₃	100-138		Argissolo Vermelho alítico
AC9	Embrapa (2010)	Ap	0-16		Argissolo Vermelho-Amarelo alítico plíntico
AC9	Embrapa (2010)	Bt ₂	60-102		Argissolo Vermelho-Amarelo alítico plíntico
AC11	Embrapa (2010)	Ap	0-20		Vertissolo Háplico órtico luvisólico
AC11	Embrapa (2010)	Bv	49-77		Vertissolo Háplico órtico luvisólico
BA	Jacomine et al. (1979)	A	0- 21		Vertissolo Háplico órtico típico
BA	Jacomine et al. (1979)	B	56- 116		Vertissolo Háplico órtico típico
PE	Embrapa (2011)	Ap	0-20		Argissolo Vermelho-Amarelo alítico típico
PE	Embrapa (2011)	Bt ₂	55-105		Argissolo Vermelho-Amarelo alítico típico
RS11	Embrapa (2000)	A ₂	20-40		Luvissolo Háplico Órtico
RS11	Embrapa (2000)	Bt _x +Bt _{gx1}	50-60		Luvissolo Háplico Órtico
RSRS	Santos (2012)	A ₂	15-30		Argissolo Bruno-Acizentado alítico típico
RSRS	Santos (2012)	Bt ₃	65-80		Argissolo Bruno-Acizentado alítico típico
SCBR	Almeida et al. (2013)	A	0-20		Cambissolo Húmico alítico típico
SCBR	Almeida et al. (2013)	B _i	60-90		Cambissolo Húmico alítico típico
SCCB	Almeida et al. (2003)	A ₁	0-14		Latossolo Bruno
SCCB	Almeida et al. (2003)	Bw ₃	215-275 ⁺		Latossolo Bruno
SC8SJ	Teske (2010)	A ₁	0-12		Cambissolo Háplico alítico típico
SC8SJ	Teske (2010)	B _i	54-78		Cambissolo Háplico alítico típico
SCRQ	Paes Sobrinho (2005)	A	0-20		Argissolo Vermelho-Amarelo latossólico
SCRQ	Paes Sobrinho (2005)	B _i	100-120		Argissolo Vermelho-Amarelo latossólico

*Acre Perfil 4 (AC4), AC6; Acre Perfil 6, AC11; Acre Perfil 11, BA; Bahia, PE; Pernambuco, RS11; Rio Grande do Sul Perfil 11, RSRS; Rio Grande do Sul – Rosário do Sul; SCBR; Santa Catarina – Bom Retiro, SC8SJ; Santa Catarina Perfil 8 – São Joaquim e SCRQ; Santa Catarina. – Rancho Queimado.

Tabela 2 - Características químicas dos solos estudados.

Solo	Horizonte	pH		Ca ²⁺	Mg ²⁺	S	CTC pH 7	CO
		Água	KCl					
	1:1.....						
AC4	Ap	5,3	3,9	0,9	0,8	1,8	5,9	11,0
AC4	Bt ₂	5,1	3,8		0,3	0,3	11,7	3,7
AC6	Ap	5,1	3,7	1,7	2,1	4,2	12,2	18,5
AC6	Bt ₃	5,0	3,7	0,5	2,1	2,7	20,1	3,3
AC9	Ap	6,1	4,5	15,3	2,4	17,8	20,2	8,0
AC9	Bt ₂	5,5	3,6	1,6	7,8	9,6	24,7	2,5
AC11	Ap	5,4	4,2	19,0	5,1	24,3	29,7	18,8
AC11	Bv	4,7	3,6	15,1	5,4	20,8	42,9	5,8
BA	A	5,3	4,2	15,1	10,1	26,0	36,8	22,4
BA	B	5,3	3,6	13,0	10,2	24,8	45,6	4,6
PE	Ap	5,3	3,9	5,8	3,9	10,1	21,9	14,3
PE	Bt ₂	4,7	3,8	1,2	3,6	5,0	25,5	3,6
RS11	A ₂	4,5	3,8	5,2	1,8	7,2	12,4	11,3
RS11	Bt _x +Bt _{gx1}	5,3	3,7	8,0	5,3	13,7	26,1	8,6
RSRS	A ₂	5,27	4,10	1,62	1,67	3,49	5,02	6,4
RSRS	Bt ₃	5,60	3,54	12,57	8,03	21,06	29,21	5,7
SCBR	A	4,5	-		3,0		4,7	199,7
SCBR	B _i	4,5	-		1,1		2,5	126,5
SC8SJ	A ₁	4,5	3,7	0,7	0,6	3,7	23,4	33
SC8SJ	B _i	4,5	3,8	0,1	0,1	0,8	9,32	5,6
SCRQ	A	4,37	3,73	0,09	0,27	0,69	6,65	210
SCRQ	B _i	4,75	4,04	0,01	0,01	0,30	2,08	1,0

*Acre Perfil 4 (AC4), AC6; Acre Perfil 6, AC11; Acre Perfil 11, BA; Bahia, PE; Pernambuco, RS11; Rio Grande do Sul Perfil 11, RSRS; Rio Grande do Sul – Rosário do Sul; SCBR; Santa Catarina– Bom Retiro, SC8SJ; Santa Catarina Perfil 8 – São Joaquim e SCRQ; Santa Catarina. – Rancho Queimado. Obs: CO: Carbono orgânico.

Tabela 3 - Teores de argila obtidos pelos métodos densímetro, pesagem e pipeta (testemunha) com o uso do NaOH 1 mol L⁻¹ como dispersante químico. Média de três repetições.

Solo	Horizonte	Horizonte A			CV %
		Densímetro	Pipeta	Pesagem	
	g kg ⁻¹			
AC4	Ap	155 ^{ns}	140 ^{ns}	146	4,11
AC6	Ap	344**	263 ^{ns}	269	2,28
AC9	Ap	292**	235 ^{ns}	236	3,00
AC11	Ap	482**	365 ^{ns}	359	1,10
BA	A	462**	307 ^{ns}	316	6,20
PE	Ap	378**	334 ^{ns}	350	3,03
SCBR	A	188 ^{ns}	163**	194	3,94
SC8SJ	A	330 ^{ns}	247**	348	5,61
SCRQ	A	288**	241 ^{ns}	242	2,66
RS11	A ₂	207**	200**	190	0,96
RSRS	A ₂	102**	101**	124	1,15
Horizonte B					
AC4	Bt ₂	548**	492**	424	1,73
AC6	Bt ₃	214**	17**	472	1,86
AC9	Bt ₂	338**	297**	264	2,00
AC11	Bv	458**	47**	702	3,62
BA	B	520**	178**	660	13,0
PE	Bt ₂	234**	194**	204	1,25
SCBR	B _i	541 ^{ns}	517 ^{ns}	513	2,77
SC8SJ	B _i	560**	456**	404	1,24
SCRQ	Bt	492**	434**	353	2,41
RS11	Bt _x +Bt _{gx1}	375**	364**	334	1,08
RSRS	Bt ₃	483**	398**	365	2,00

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < 0,01), ns não significativo pelo teste de Dunnett.

Acre Perfil 4 (AC4), AC6; Acre Perfil 6, AC11; Acre Perfil 11, BA; Bahia, PE; Pernambuco, RS11; Rio Grande do Sul Perfil 11, RSRS; Rio Grande do Sul – Rosário do Sul; SCBR; Santa Catarina– Bom Retiro, SC8SJ; Santa Catarina Perfil 8 – São Joaquim e SCRQ; Santa Catarina. – Rancho Queimado.

Tabela 4 - Teores de argila obtidos pelos métodos densímetro, pipeta (testemunha) e pesagem com o uso do calgon (hexametáfosfato de sódio 0,35 mol L⁻¹ + carbonato de sódio anidro 0,08 mol L⁻¹) como dispersante químico. Média de três repetições.

Solo	Horizonte	Horizonte B			CV %
		Densímetro	Pipeta	Pesagem	
AC6	Bt ₃	585**	451**	521	1,33
AC11	Bv	629 ^{ns}	476**	595	4,91
BA	B	643**	462**	554	2,55

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < 0.01), ns não significativo pelo teste de Dunnett.
AC6; Acre Perfil 6, AC11; Acre Perfil 11, BA; Bahia.

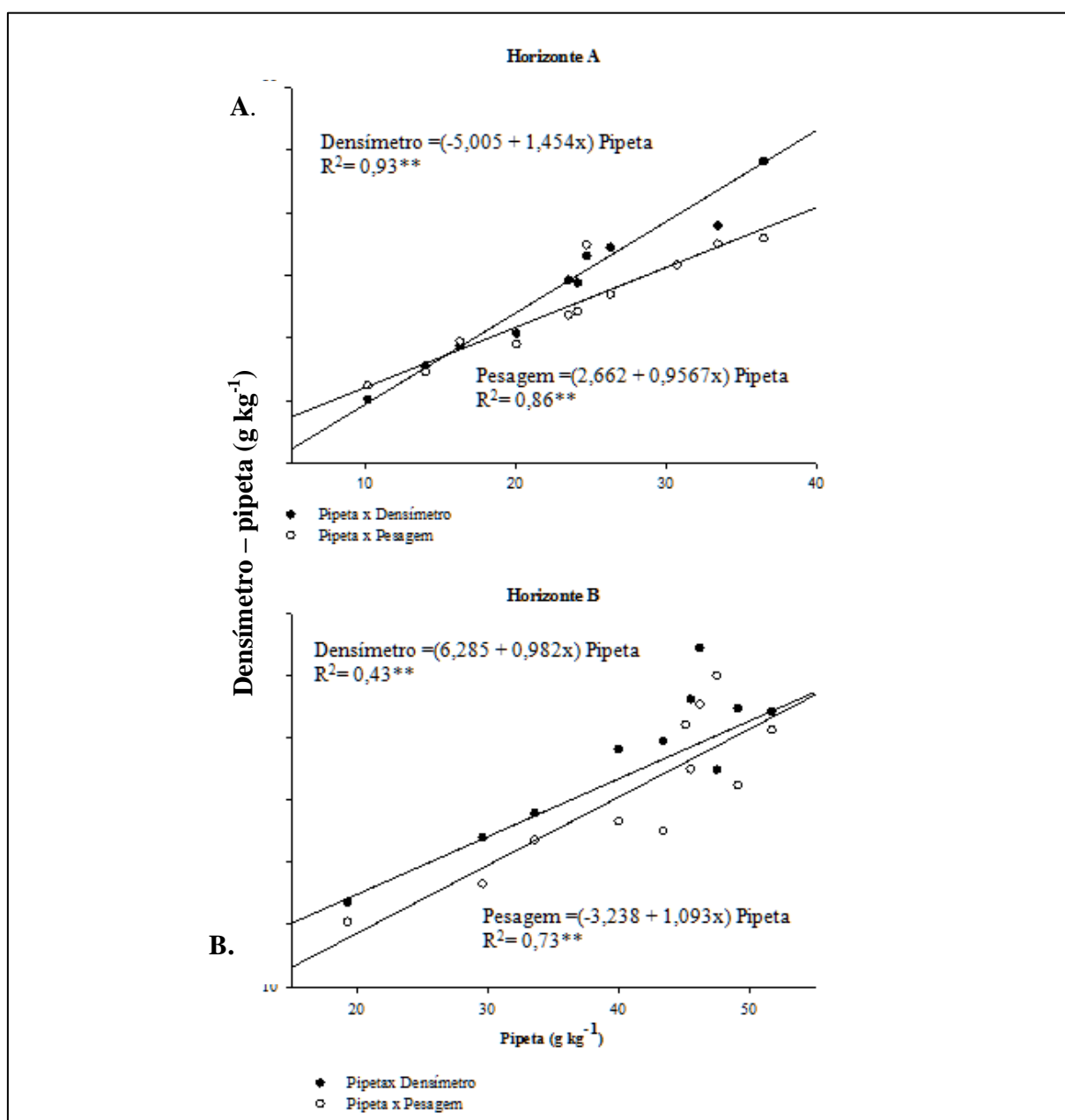


Figura 1 - Correlação entre os teores de argila obtidos pelos métodos do densímetro “simplificado”, pipeta e pesagem nos horizontes A (A); e B (B) dos solos estudados.