

IVO JUCKSCH

Meios Mecânicos e Concentrações de NaOH na
Dispersão e Estabilidade de Suspensões de
Argila

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
FEVEREIRO - 1995

IVO JUCKSCH

MEIOS MECÂNICOS E CONCENTRAÇÕES DE NaOH NA
DISPERSÃO E ESTABILIDADE DE SUSPENSÕES DE ARGILA

Tese Apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como Parte das Exigências do Curso de Solos e Nutrição de Plantas, para Obtenção do Título de "*Doctor Scientiae*".

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
FEVEREIRO - 1995

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

J91m
1995

Jucksch, Ivo, 1952-
Meios mecânicos e concentrações de NaOH na dis-
persão e estabilidade de suspensões de argila/
Ivo Jucksch. - Viçosa : UFV, 1995.
50p. : il.

Orientador: Liovando Marciano da Costa.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Vi-
çosa.

1. Argila - Análise textural. 2. Argila - Dis-
persão. 3. Argila - Estabilidade de suspensão. 4.
Argila - Concentração de hidróxido de sódio. 5.
Argila - Agitação - Meios mecânicos. I. Universi-
dade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD. 18. ed. 631.43

CDD. 19. ed. 631.43

IVO JUCKSCH

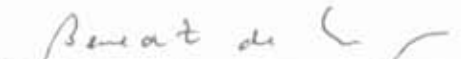
MEIOS MECÂNICOS E CONCENTRAÇÕES DE NaOH NA
DISPERSÃO E ESTABILIDADE DE SUSPENSÕES DE ARGILA

Tese Apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como Parte das Exigências do Curso de Solos e Nutrição de Plantas, para Obtenção do Título de "*Doctor Scientiae*".

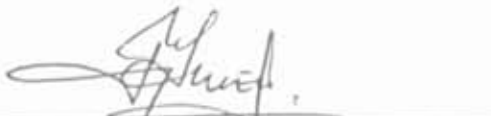
APROVADA: 10 de junho de 1994



Prof. Mozart Martins Ferreira



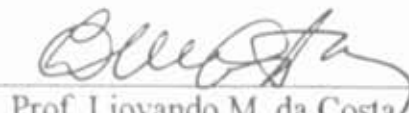
Prof. Benedito de Souza Bueno



Prof. Jaime W. Vargas de Mello



Prof. Luiz Eduardo F. Fontes



Prof. Liovando M. da Costa
(Orientador)

À Esposa, Maria Marta.

Aos Filhos, Arthur e Simone.

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Solos da UFV, pela oportunidade e pelo apoio.

À CAPES, pelo suporte financeiro.

Ao Professor Liovando Marciano da Costa, pelo estímulo, pela orientação e pela amizade.

Aos Professores Maurício Paulo Ferreira Fontes e Adair José Regazzi, pelas contribuições, pelo estímulo e pela amizade.

Aos Professores Mozart Martins Ferreira, Benedito de Souza Bueno, Jaime Wilson Vargas de Mello e Luiz Eduardo Ferreira Fontes, pelo apoio, pela colaboração e pela amizade.

Aos Professores do Departamento de Solos da UFV, em especial a Victor Hugo Alvarez Venegas e Julio César Lima Neves, pelo apoio e pelos esclarecimentos.

Aos amigos Professor Luiz Eduardo Dias e Professora Cristina M. G. Chaves Dias, pelo apoio, pelo estímulo e pelos momentos de convivência.

Aos Companheiros de Luta, em especial ao brilho da estrela da Professora Irene Maria Cardoso.

Ao amigo Ricardo Frederico Euclides, pela colaboração e pelo apoio.

Ao amigo Ricardo Borges Neto, "Taxinha", que cedo nos deixou em função da injustiça e violência do lado escuro dos homens.

Aos colegas de curso, pelo agradável convívio.

Aos funcionários do Departamento de Solos da UFV, em especial a Zélia Estevão Barbosa, Geraldo Neri Ferreira e José Braz Júlio, pelas colaborações.

À Marta, Arthur e Simone, por acreditarem junto comigo que as mudanças são possíveis, pela força, paciência e pelo estímulo.

Aos amigos que, de alguma maneira e nas mínimas coisas, fizeram-se presentes.

BIOGRAFIA

Ivo Jucksch, filho de Arnaldo E. Jucksch e Ursula M. Staude Jucksch, nasceu em 3 de janeiro de 1952.

Em dezembro de 1975, graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal do Paraná.

Em janeiro de 1976, foi contratado pela Fundação Instituto Agrônomico do Paraná, exercendo a função de pesquisador na área de Manejo e Conservação do Solo.

Em maio de 1977, foi contratado pelo Instituto de Terras e Cartografia do Estado do Paraná.

Em março de 1978, foi contratado pela Central de Abastecimento do Estado do Paraná S.A.

Em janeiro de 1980, ingressou na Empresa Catarinense de Pesquisa Agropecuária S.A., exercendo a função de pesquisador no Programa de Solos.

Em dezembro de 1986, concluiu o Curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas na Universidade Federal de Viçosa.

Em março de 1988, iniciou o Curso de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas na Universidade Federal de Viçosa.

Em janeiro de 1990, foi contratado pela Universidade Federal de Viçosa.

CONTEÚDO

	Página
EXTRATO	vii
1. INTRODUÇÃO	1
2. MATERIAL E MÉTODOS	9
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
3.1. Os Solos e os Métodos	12
3.2. Solos, Métodos e Estabilidade das Suspensões	16
3.3. Algumas Conseqüências da Utilização dos Métodos Estudados	31
4. RESUMO E CONCLUSÕES	36
BIBLIOGRAFIA	38
APÊNDICE	42

EXTRATO

JUCKSCH, I., D.S., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 1995. **Meios Mecânicos e Concentrações de NaOH na Dispersão e Estabilidade de Suspensões de Argila.** Professor Orientador: Liovando Marciano da Costa. Professores Conselheiros: Maurício Paulo Ferreira Fontes e Adair José Regazzi.

O objetivo deste trabalho foi avaliar dois meios mecânicos de agitação associados a diferentes concentrações de NaOH na determinação de argila em amostras de horizontes A e B de um Podzólico e de três Latossolos. Foi utilizado, como método 1, o meio mecânico preconizado pela EMBRAPA (1979) e, como método 2, o preconizado por GROHMANN e RAIJ (1977). Os dois métodos foram combinados com as concentrações de 0, 3, 6, 12, 25, 50 e 100 mmol/L de NaOH, nas provetas de sedimentação. Foi utilizado o tempo de 4 horas de sedimentação para todos os casos. Após a retirada da alíquota para a determinação de argila, foram retirados os 100 ml de suspensão correspondente à parte superior da proveta de sedimentação, para determinação do pH, condutividade elétrica, carbono orgânico e concentração de íons na solução.

O ensaio foi conduzido no delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições em fatorial com quatro solos, dois horizontes, dois métodos e sete concentrações de NaOH.

Por meio dos resultados obtidos foi possível concluir que existem diferenças entre os métodos estudados, em função da maneira de agitação. Que existe comportamento diferenciado na determinação de argila para solos com características mineralógicas diferentes. Que a concentração de 10 mmol/L de NaOH nas provas de sedimentação foi eficiente para promover a estabilidade das suspensões nos solos estudados. Que, além do Na, as formas aniônicas de alumínio em solução colaboram na dispersão dos colóides do solo. Que existe necessidade de maiores estudos para identificar um método padronizado para determinação de argila dos solos brasileiros.

1. INTRODUÇÃO

A classe textural do solo é obtida a partir da análise textural ou mecânica, a qual permite separar os componentes sólidos, inferiores a 2,00 mm, em classes de acordo com seus diâmetros. A determinação desses componentes, que definem a classe textural do solo, as areias, o silte e a argila, tem importância nos estudos de gênese, morfologia, classificação e mapeamento dos solos, irrigação, adubação, manejo, trabalhos de engenharia, dentre outros.

Em razão da importância da classificação textural dos solos, a determinação da textura foi incluída nas análises de rotina, favorecendo a compreensão do comportamento dos solos, sendo um indicativo para as atividades de manejo.

Dentre as maneiras de determinação da textura do solo, os métodos químico-mecânicos de separação são os mais utilizados. O princípio consiste na separação das frações silte e argila do solo, baseada na velocidade desigual de sedimentação das partículas em suspensão, sendo a obtenção e manutenção desta suspensão dispersa a parte mais importante da análise e que nem sempre tem recebido a necessária atenção dos pesquisadores.

Uma das características importantes da fração argila é o fato de ser suscetível à dispersão e floculação. Para a determinação dos teores de argila de um solo, a dispersão é a característica fundamental nos atuais métodos.

Um método para análise mecânica de solos, considerado na época como novo, rápido e exato, foi desenvolvido por JENNINGS et al. (1922), e é aplicável para determinações de partículas com tamanho desde areia fina até colóides. O método assume a queda individual de partículas em meio aquoso, determinando as diferentes frações por meio de um equipamento cilíndrico de sedimentação, em que foram usados como dispersante 50 ml de solução de 5% de carbonato de sódio para 10 g de solo, agitado por duas horas.

Trabalhando com 29 solos, de diferentes locais, TYNER(1939) estudou o uso de metafosfato de sódio como agente dispersante na análise mecânica de solos. Foram utilizados 10 g de solo e as quantidades de 30, 50 e 70 ml de solução de 0,1 N de metafosfato de sódio, diluídas no final para provetas de um litro. A agitação lenta por 12 horas, com 50 ml de agente dispersante, foi adequada para a obtenção da máxima dispersão de argila nos solos estudados, com exceção de um solo que continha 3,3% de CaSO_4 e 12,8% de CaCO_3 .

Em trabalho de revisão bibliográfica, KILMER e ALEXANDER (1949) citam vários métodos utilizados para fazer a análise textural ou mecânica dos solos. Os autores comentam que a precisão da análise mecânica depende da completa dispersão da amostra do solo e que a manutenção da estabilidade da dispersão depende da hidratação das partículas de argila, juntamente com o estabelecimento de um alto potencial negativo pela adição de um agente dispersante adequado. Os agentes dispersantes mais comumente empregados são o hidróxido de amônio, hidróxido de sódio, carbonato de sódio, silicato de sódio, oxalato de sódio e metafosfato de sódio.

O método do hidrômetro foi comparado com o método da pipeta por DAY (1953) em 13 solos. Foram usados 40 g de solo tratados com H_2O_2 para oxidar a matéria orgânica e ajustado o pH para 1,0 com solução de 0,6 N de HCl. A

amostra foi transferida para um funil e lavada repetidas vezes com solução 0,1 N de HCl. A seguir, a amostra foi lavada com água até ficar livre de cloretos. A amostra transferida para um becker sofreu titulação com NaOH até o ponto de viragem da fenolftaleína (pH 9-8), para em seguida ser agitada por agitador tipo vai-e-vem, cerca de 12 horas e, a seguir, transferida para proveta de um litro, completando o volume. A concordância do método do hidrômetro com o da pipeta foi considerada boa e de aceitação garantida.

Para testar a eficiência de agitadores em análises de tamanho de partículas do solo, LEMIEUX (1964) utilizou amostras de um solo arenoso originário de granito e um franco-arenoso originário de ardósia, ambas procedentes do horizonte C. Foram usados 50 g de amostra de solo e 50 ml de solução 1 N de hexametáfosfato de sódio, que foram misturados em aparelho de Bouyoucos por 5 e 10 minutos e agitados em agitador tipo vai-e-vem por 30, 60 e 120 minutos. Os resultados mostraram diferenças entre os tratamentos. A angulosidade das partículas de areia foi fortemente afetada, mesmo com 5 minutos de tratamento, sendo que blocos de mica da areia de granito foram destruídos. A dispersão foi considerada completa quando individualmente todas as partículas se apresentaram, sob microscópio, completamente alvejadas, brilhantes e livres de filmes de argila. Pelas observações feitas, o misturador de Bouyoucos é muito abrasivo e é recomendado seu uso apenas para análise de rotina.

Quatro métodos de pré-tratamento do solo para análise de distribuição de tamanho de partículas foram comparados com o uso de dez solos diferentes por PROTZ e ARNAUD (1964). Foram avaliadas as percentagens de argila, os valores de pH das suspensões após a agitação e as perdas em razão dos vários tratamentos usados. O metafosfato de sódio foi usado como agente dispersante na proporção de 5 ml de solução de 15% de NaPO_3 para 10 g de amostra de solo (ajustado o pH para 9,5), com exceção do tratamento que utilizou hipobrometo de sódio para oxidar a matéria orgânica, sem remover os carbonatos, uma vez que os solos se encontravam saturados com sódio, proveniente do NaBrO. Os resultados

dos vários tratamentos usados apresentaram diferenças significativas para o grau de dispersão. O pré-tratamento com NaBrO promoveu a melhor dispersão em comparação com os outros métodos; por coincidência, foi o método que apresentou os valores de pH mais elevados das suspensões. Isto indicou a que manutenção de altos valores de pH nas suspensões é muito importante para a obtenção da dispersão na análise de distribuição de tamanho de partículas.

Estudando o tempo de sedimentação usado no método do hidrômetro para análise mecânica de solos, FLOATE (1965) utilizou amostras de 14 solos com teores de argila variando de 6 a 84%, determinados pelo método da pipeta como padrão. O procedimento incluiu a oxidação da matéria orgânica e a eliminação de sais solúveis, a dispersão com 10 ml de hexametáfosfato de sódio 5% seguida de 10 minutos de agitação em agitador de alta velocidade, encerrando em proveta de um litro para sedimentação, por um tempo de 465 minutos antes da retirada da alíquota a 10 cm de profundidade. Quando da utilização do hidrômetro, o procedimento incluiu os pré-tratamentos para remoção de matéria orgânica e sais solúveis, a adição de 100 ml de hexametáfosfato de sódio, isto é, 10 vezes mais que para o método da pipeta, seguida de agitação por 2 minutos, 5 vezes menos que no método da pipeta, encerrando em proveta de um litro por 480 minutos de repouso, com avaliações a cada 60 minutos. O autor pôde concluir que o tempo ótimo de sedimentação para o método do hidrômetro para estimativa de argila apresentou uma variação considerável entre os solos.

Análise mecânica em solos da zona semi-árida do nordeste do Brasil foi estudada por OLIVEIRA (1966), com a utilização do hidróxido de sódio e do hexametáfosfato de sódio como dispersantes e o método da pipeta com a utilização do cilindro de Koettinge e Koettinge modificado. Foram estudadas amostras de solos normais (sem sais solúveis e sem carbonatos), solos calcários, solos calcários com sais solúveis e solos salinos, com pré-tratamento de lavagem com HCl 10%, álcool etílico a 60% e água destilada. Considerando os resultados obtidos, o autor concluiu que para os solos normais é indiferente o emprego de

hidróxido ou hexametáfosfato de sódio na determinação de argila. Para os solos calcários o uso de NaOH associado à lavagem da amostra com HCl a 10% apresentou melhores resultados em todas as amostras, o mesmo acontecendo para os solos calcários com sais solúveis. Para os solos salinos também foi indiferente o tipo de dispersante, porém, em amostras com elevados teores de sais solúveis o hexametáfosfato de sódio foi mais eficiente. O NaOH não deve ser empregado para amostras de solos salinos sem pré-tratamentos.

NAKAYAMA (1966) estudou o comportamento da dispersão de três solos inundados tratados com diferentes doses de NaCl, Na₂SO₄, Na₂CO₃ e (NaPO₃)₆. A dispersão dos solos variou na seguinte ordem : (NaPO₃)₆ ≥ Na₂CO₃ > Na₂SO₄ = NaCl. Quando os teores de cálcio do solo eram altos o uso de Na₂CO₃ se apresentava tão efetivo dispersante quanto o (NaPO₃)₆. O uso de NaCl e Na₂SO₄ resultou na floculação das partículas com o aumento das doses, causado pelo aumento na concentração do eletrólito.

A dispersão de partículas do solo foi realizada por EDWARDS e BREMNER (1967) sem o uso de oxidantes, ácidos ou agentes dispersantes, submetendo suspensões aquosas, contendo 10 g de solo e 25 ml de água, à vibração sônica de 13 para 15°C durante 30 minutos. Este procedimento de dispersão, comparado com o método da pipeta, para a determinação de argila apresentou resultados similares para solos com diferentes texturas e diferentes teores de matéria orgânica.

Usando 50 g de terra fina seca ao ar com 230 ml de água e 10 ml de uma solução 1,5 N de NaOH, em agitação rápida por 15 minutos, e encerrando em proveta com volume final de um litro, VETTORI e PIERANTONI (1968) apresentaram um novo método para determinar argila total após uma sedimentação de 90 minutos, utilizando o hidrômetro de Bouyoucos. Os resultados obtidos demonstraram que o método e o tempo de sedimentação recomendados por Bouyoucos não são eficientes, principalmente para amostras de solos ricas em silte.

Estudo de métodos de dispersão mecânica de solos foi realizado por GROHMANN e RAIJ (1973), em que em todos os casos foram utilizados 10 g de amostras de solo misturados a 50 ml de solução de 0,1 N de NaOH, como dispersante químico, diluídos no final do processo em provetas de 500 ml. Dentre os tratamentos, o método de agitação lenta, por 12 horas, de 50 ml de suspensão contendo 20 g de areia foi o mais eficiente, promovendo a recuperação dos teores mais elevados de argila. Os teores médios de silte e areia fina e grossa de oito amostras de Latossolo Roxo foram comparados com os teores dessas frações em amostras que sofreram remoção dos óxidos de ferro por redução com ditionito. Os resultados indicaram que as frações mais grosseiras dos solos não foram alteradas pela areia utilizada quando da agitação.

A obtenção da suspensão de argila dispersa consiste em eliminar a ação dos agentes de agregação ou cimentantes, substituindo íons na dupla camada difusa dos colóides do solo por íons de menor valência e maior raio hidratado. Segundo MITCHELL (1976), as suspensões estáveis ou a dispersão de argila freqüentemente requerem condições de pH elevado.

Os efeitos de pré-tratamentos, dois dispersantes químicos e dois processos de desagregação mecânica foram avaliados por GROHMANN e RAIJ (1977) na determinação dos teores de argila de três amostras de latossolos argilosos. Os autores concluíram que para os solos estudados a desagregação mecânica foi a etapa mais importante da análise textural, e que, quando ela for bem executada, os pré-tratamentos e o uso de dispersantes químicos poderão ser omitidos.

Estudando diferentes métodos, PAULETTO (1978) testou variações de dispersantes, em associação com diferentes modos mecânicos para dispersão. Por meio dos resultados obtidos, o autor concluiu que os métodos testados não são igualmente eficientes para todos os solos, pois solos de natureza e constituição diferentes requerem também métodos diferentes de dispersão.

Os efeitos dos dispersantes NaOH, NaOH + areia e hexametáfosfato de sódio na dispersão da matéria orgânica durante a análise textural foram estudados

por JORGE e LEPSCH (1982) em amostras coletadas em horizontes A de solos com B textural, B latossólico e glei. A matéria orgânica solubilizada foi determinada nas alíquotas pipetadas para as determinações de argila e argila + silte. Em cerca de 80% dos casos, as quantidades de materiais orgânicos em suspensão foram de 50 a 100% equivalentes às determinações feitas para amostras de terra fina seca ao ar, para alíquotas de argila. A equivalência foi de 75 a 100% para alíquotas de argila + silte. Ainda, segundo os autores, em métodos de dispersão mecânica mais eficientes como o uso de vibração ultrassônica ou adição de areia no processo de agitação, a matéria orgânica em suspensão pode vir a ser detectada erroneamente como parte da fração argila ou silte.

A eficiência de dispersantes na análise textural de material de solos com horizonte B latossólico e B textural foi estudada por CARVALHO (1985). Os resultados mostraram que o NaOH é um eficiente agente dispersante e que existe necessidade de uma boa ação mecânica associada ao processo químico; considerando eficiente a agitação lenta na presença de areia como agente abrasivo.

Os laboratórios de análise de solos utilizam, normalmente, dois métodos para a execução da análise textural: o método do hidrômetro e o método da pipeta, sendo os dois modificados na determinação, no tipo de dispersante e no tratamento mecânico utilizado. O hidróxido de sódio é o dispersante mais utilizado na análise textural. Normalmente, o dispersante é utilizado na concentração de 0,001 N nas provetas de sedimentação. Amostras de três latossolos foram submetidas por DIAS et al. (1991b) à análise textural com variações na concentração de NaOH. Os resultados mostraram que a máxima quantidade de argila recuperada ocorreu em concentrações maiores de NaOH, em relação à concentração preconizada pela maioria dos métodos utilizados.

O estudo que ora se propõe tem como objetivo avaliar a dispersão de argila, bem como a estabilidade da suspensão, promovida por diferentes meios

mecânicos associados ao efeito de diferentes concentrações de hidróxido de sódio, na análise textural, em amostras de horizontes A e B de quatro solos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi conduzido em laboratório, com a utilização de amostras de materiais de solos provenientes de horizontes A e B de um Latossolo Vermelho-Escuro, distrófico, gibbsítico (LEd) coletado no município de Rio Paranaíba-MG, um Latossolo Vermelho-Amarelo, distrófico, gibbsítico (LVd) coletado no município de São Gotardo-MG, um Latossolo Amarelo, álico, caulínítico (LAa) coletado no município de Marataizes-ES e de um Podzólico Amarelo, álico, caulínítico (PAa) coletado no município de Mucuri-BA (Quadro 1). As amostras foram secas ao ar e passadas em peneira de 2,00 mm. Suas características químicas estão apresentadas no Quadro 2.

As determinações de argila foram obtidas pelo método da pipeta. Foram testadas duas maneiras de se proceder à agitação mecânica dos solos. A primeira maneira (Método 1), considerada o método padrão, foi como preconiza a EMBRAPA (1979), agitação rápida, em coqueteleira, a 12.000 RPM, durante 15

QUADRO 1 - Localização e Teores de Caulinita e Gibbsita da Fração Argila dos Solos Estudados

Solo	Localidade	----- % -----	
		Caulinita	Gibbsita
LEd	Rio Paranaíba-MG	0,5	85,3
LVd	São Gotardo-MG	5,4	91,8
LAa	Marataízes-ES	88,3	3,8
PAa	Mucuri-BA	90,4	5,2

QUADRO 2 - Características Químicas das Amostras de Horizontes A e B dos Solos Estudados

Solo	Horiz.	pH	P	K	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	C
LEd	A	5,3	1,1	98	0,5	0,3	0,1	4,8	3,23
LEd	B	5,7	0,7	23	0	0	0	1,8	1,87
LVd	A	5,3	0,7	15	0	0,1	0	3,0	2,65
LVd	B	5,3	0,7	49	0,2	0,4	0	4,2	1,91
LAa	A	5,6	2,9	113	0,1	1,1	0,4	1,2	1,17
LAa	B	5,1	0,7	13	0,4	1,0	0,3	1,2	0,66
PAa	A	5,6	1,1	29	0,1	2,2	0,3	1,8	1,17
PAa	B	4,9	0,7	60	0,9	0,1	0	1,8	0,58

pH em água relação 1:2,5 (DEFELIPO e RIBEIRO, 1981).

P e K extrator Mehlich-1 (DEFELIPO e RIBEIRO, 1981).

Al³⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ extrator KCl 1 mol/L (DEFELIPO e RIBEIRO, 1981).

H+ Al extraído com acetato de cálcio 1 mol/L, pH 7,0.

C método Walkley e Black (DEFELIPO e RIBEIRO, 1981).

minutos. A segunda (Método 2) foi conforme GROHMANN e RAIJ (1977), método de agitação lenta na presença de 20 g areia como agente abrasivo. A areia, de 0,5 a 1,0 mm de diâmetro, foi lavada com NaOH, HCl comercial e água destilada, até eliminação dos cloretos, e seca ao ar. As garrafas de Stohmann de 500 ml foram substituídas por balões volumétricos de mesmo volume. Aos dois meios mecânicos foram combinados 10 g de solos com as concentrações de 0, 3, 6, 12, 25, 50 e 100 mmol/L de hidróxido de sódio, nas provetas de sedimentação. Foi utilizado o tempo de 4 horas de sedimentação em todos os casos. As provetas de 500 ml de volume receberam os materiais, após o processo de agitação, passados em peneiras de 0,053 mm de malha. Completado o tempo de sedimentação, foi retirada uma alíquota de 10 ml e a 5 cm de profundidade, para determinação de argila. Após esta operação, foram retirados os 100 ml de suspensão correspondentes à parte superior da proveta de sedimentação para determinação do pH e da condutividade elétrica, determinada em condutivímetro e expressa em mS/cm. Feitas as determinações, o material foi centrifugado a 8.000 g por 20 minutos para retirar a argila em suspensão. No sobrenadante foi realizada a determinação de carbono orgânico conforme Yeomans e Bremner (1988), modificada por DIAS et al. (1991a) em 5 ml de alíquota. Em seguida, o material foi acidificado com HCl para a faixa de pH entre 2,0 e 3,0, precipitando os ácidos húmicos, evitando interferências nas determinações de Al, Ca e Mg. Após a acidificação o material foi filtrado. Foram determinados os teores de alumínio, pelo método da aluminona, conforme JACKSON (1976); de cálcio e magnésio em absorção atômica usando cloreto de estrôncio para eliminar interferência com outros elementos; e de potássio e sódio em fotômetro de chama.

O ensaio foi conduzido no delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições em fatorial com quatro solos, dois horizontes, dois métodos e sete concentrações de NaOH.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Os Solos e os Métodos

Os solos estudados foram submetidos à análise textural por dois meios mecânicos com concentrações crescentes de NaOH, usado como dispersante químico. Os teores de argila, estimados para os pontos de máxima dispersão, variaram de 6,45% nas amostras do horizonte A do solo PAa a 73,55% nas amostras do horizonte B do solo LEd, quando analisadas pelo método 1. No método 2 estes mesmos solos apresentaram teores de argila variando de 7,35% a 92,95% (Quadro 3).

Considerando o método 1 como padrão por ser o mais utilizado, este apresentou valores menores para argila em todos os casos, com exceção no horizonte B do solo LAa. Os percentuais das diferenças variaram de 0,1% no horizonte B do solo PAa até 28,4% no horizonte A do solo LVd, a favor do método 2 (Quadro 3).

QUADRO 3 - Valores de Argila Estimados nos Pontos de Máxima para os Métodos 1 e 2 em Amostras dos Horizontes A e B dos Solos Estudados

Solo	Horiz.	Argila Met. 1 - % -	%	Argila Met. 2 - % -	%	Diferença
LEd	A	70,42	100	87,70	124,5	- 24,5
LEd	B	73,55	100	92,95	126,4	- 26,4
LVd	A	47,25	100	60,67	128,4	- 28,4
LVd	B	53,86	100	64,26	119,3	- 19,3
LAa	A	18,83	100	19,63	104,2	- 4,2
LAa	B	34,17	100	31,51	92,2	7,8
PAa	A	6,45	100	7,35	113,9	- 13,9
PAa	B	47,37	100	47,40	100,1	- 0,1

A diferença entre os dois métodos está na agitação preconizada para cada um deles. Enquanto no método 1 a agitação é rápida, feita em coqueteleira durante 15 minutos, no método 2 a agitação é lenta, por 720 minutos, associada à ação abrasiva da areia incorporada às amostras de solo durante o processo. Esta diferença na maneira de desestruturar o material dos solos proporcionou, para o método 2, os valores mais elevados na determinação de argila, isto porque a ação da areia sobre o material do solo promoveu maior desestruturação do mesmo, oferecendo maior quantidade de material em tamanho da fração argila.

Para ambos os métodos os materiais ficaram em repouso junto com as doses de dispersante durante 12 horas, como preconizam os dois métodos, antes da agitação. No entanto, durante a agitação, o método 2 teve maior tempo de contato entre solo e dispersante que o método 1. Essa diferença de tempo também favoreceu o método 2, no qual, além da areia como agente abrasivo, este tempo de contato pode ter promovido maior equilíbrio da fração argila com o meio, durante o tempo de agitação neste método.

Para todas as combinações, solo/horizonte, os métodos diferenciaram-se significativamente em nível de 1% de probabilidade, com exceção do solo PAa horizonte A, em que a significância foi em nível de 5%.

Para esta situação estudada os dois métodos apresentaram precisão. Eles apresentaram coeficientes de variação com valores de 5,67 e 3,97%, para os métodos 1 e 2, respectivamente, quando da determinação de argila. No entanto, em função da diferença significativa entre os métodos, eles não apresentam a mesma exatidão.

Um fato evidente que ocorreu entre os solos nos dois métodos estudados foi que as maiores diferenças apresentadas para os teores de argila foram para os solos gibbsíticos (solos LEd e LVd), enquanto as menores foram apresentadas para os solos cauliniticos (solos LAa e PAa), mostrando comportamento diferenciado na determinação de argila para solos com características mineralógicas diferentes. Conforme FERREIRA (1988) e CARVALHO (1991), que desenvolveram estudos com os solos LEd, LVd e LAa, os solos gibbsíticos apresentaram maior estabilidade de agregados em água em relação aos solos cauliniticos. Os dois solos gibbsíticos possuem valores superiores de argila em relação aos cauliniticos (Quadro 3). O modelo proposto por FERREIRA (1988) confere aos solos gibbsíticos estrutura granular, menor densidade aparente, maior porosidade total com maior proporção de poros grandes, maior condutividade hidráulica, além de maior estabilidade de agregados em água. Para os solos cauliniticos, o modelo confere estrutura em blocos, maior densidade aparente, menor porosidade total com maior proporção de poros menores, menor condutividade hidráulica e menor estabilidade de agregados em água.

Estas características propostas por FERREIRA (1988) e confirmadas por CARVALHO (1991) são responsáveis pelas diferenças apresentadas entre os dois métodos para os valores de argila observados, principalmente para os solos gibbsíticos. No método 1 a agitação rápida por 15 minutos, em coqueteleira, não foi suficiente para desestruturar a maioria dos agregados. No entanto, a agitação lenta, por 720 minutos, com ação abrasiva da areia adicionada no processo foi mais eficiente na desestruturação e dispersão dos solos gibbsíticos. Para os solos

cauliníticos, com menor estabilidade dos agregados em água, a agitação promovida nos dois métodos proporcionou diferenças mais estreitas nos pontos de máxima estabilidade das suspensões (Quadro 3).

A correlação entre os dois métodos foi significativa em nível de 1% de probabilidade, sendo positiva quando relacionados o método 1 (X) com o método 2 (Y), indicando que os valores obtidos no método 1 são menores que os obtidos no método 2, tanto para os solos gibbsíticos (Figura 1) como para os caulíníticos (Figura 2).

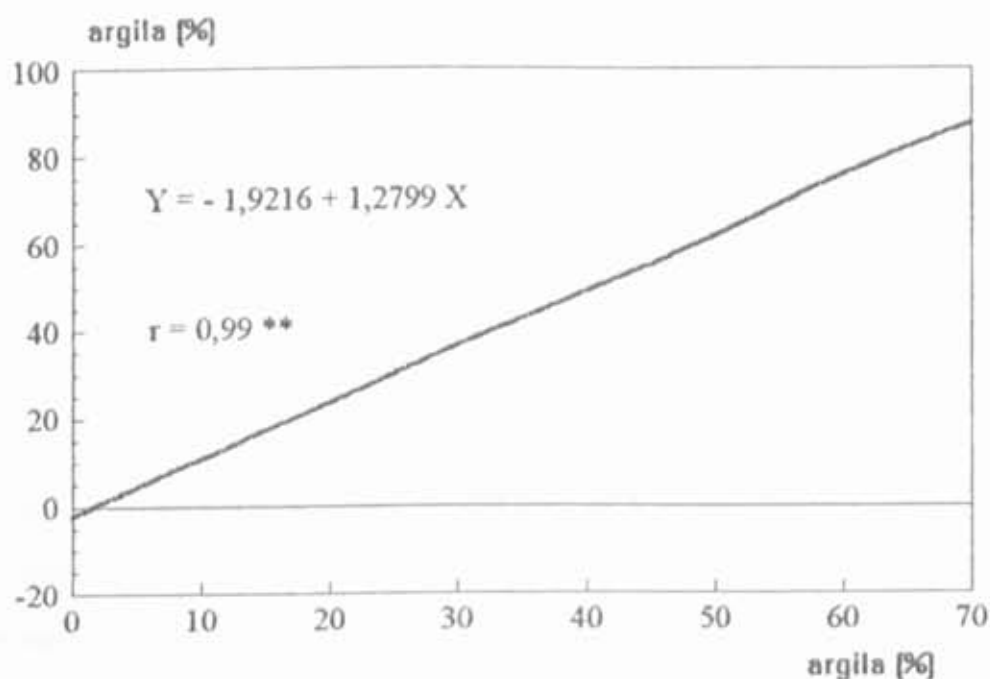


FIGURA 1 - Valores Estimados de Argila nos Pontos de Máxima Estabilidade das Suspensões, obtidos pelo Método 2 (Y) e Relacionados com os Valores obtidos pelo Método 1 (X), para os Solos Gibbsíticos.

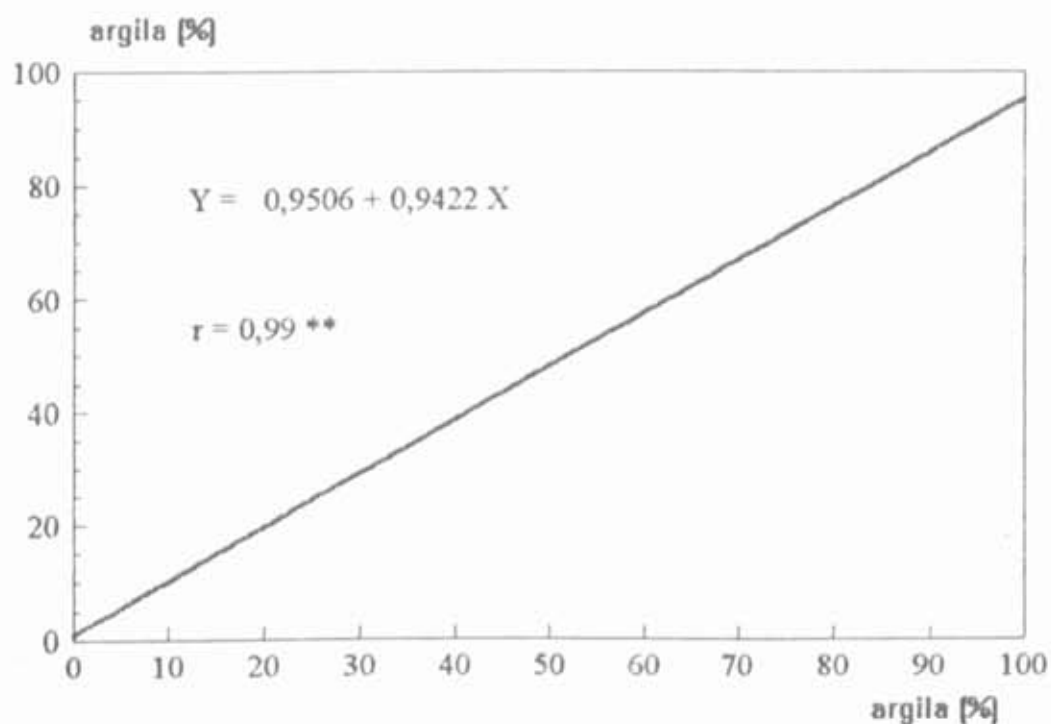


FIGURA 2 - Valores Estimados de Argila nos Pontos de Máxima Estabilidade das Suspensões, obtidos pelo Método 2 (Y) e Relacionados com os Valores obtidos pelo Método 1(X), para os Solos Cauliníticos.

3.2. Solos, Métodos e Estabilidade das Suspensões

Para a determinação dos teores de argila, todos os métodos se fundamentam na obtenção de uma dispersão completa dos colóides do solo, isto é, individualizando as partículas. No entanto esta dispersão requer, para êxito nas determinações, a estabilidade das suspensões. Uma suspensão estável não deve mudar com o tempo. A metodologia empregada neste estudo procurou identificar o comportamento das suspensões nos seus pontos de estabilidade em cada um dos métodos testados para os solos estudados.

O hidróxido de sódio participa na dispersão e conseqüentemente na estabilidade da suspensão, em razão da elevação do pH e da saturação do complexo coloidal com o ion Na^+ e do deslocamento de ions como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Al^{3+} dos sítios de adsorsão. O hidróxido de sódio exerce ação dispersante em função da elevação do pH, até um certo limite de concentração, provocando reações de troca com cátions adsorvidos. Em concentrações mais elevadas se verifica a repressão da dupla camada, levando à floculação de parte dos colóides. Partindo deste princípio, por meio da metodologia utilizada procurou-se identificar os cátions deslocados pelo sódio do complexo coloidal para a solução e a maneira pela qual este processo auxilia a estabilidade da suspensão.

Por meio de análise de regressão, foram ajustadas as curvas de dispersão de argila em função das concentrações de NaOH e estimados os pontos de máxima dispersão de argila equivalentes aos pontos de estabilidade das suspensões (Quadro 4).

Com o conhecimento dos pontos de máxima estabilidade das suspensões, também foram conhecidas as concentrações de NaOH que promoveram a elevação do pH e do equilíbrio dos cátions na solução nestes pontos. Também, por meio de análise de regressão, foram estimados os valores de pH, condutividade elétrica e dos cátions presentes na solução, assumindo-se que estes cátions foram deslocados pelo Na^+ do complexo coloidal (Quadro 5).

Os dados obtidos para carbono orgânico nas suspensões não apresentaram diferenças significativas em nível de 5% de probabilidade para todas as combinações de tratamentos. No entanto, isto não indica que não houve efeito do carbono orgânico na estabilidade das suspensões. O elevado valor do coeficiente de variação (316,5%) indica que o método utilizado para as determinações de carbono orgânico não foi sensível o suficiente para indicar efeitos significativos, além dos aspectos relacionados com a precisão e fidelidade do método.

QUADRO 4 - Equações de Regressão de Argila, em%, em Função das Concentrações de NaOH (X) para todos os Horizontes dos Solos Estudados nos Dois Métodos, Teor Máximo de Argila e Concentração de NaOH deste Ponto

Solo	Hor.	Met.	Modelo	R ²	Arg.	Con.
					-- % --	mmol/L
LEd	A	1	$\hat{Y} = 20,653 + 27,236X^{0,5} - 4,487X + 0,196X^{1,5}$	0,976	70,42	17,4
LEd	A	2	$\hat{Y} = 68,779 + 13,401X^{0,5} - 2,862X + 0,163X^{1,5}$	0,943	87,70	10,5
LEd	B	1	$\hat{Y} = 1,000 + 39,762X^{0,5} - 6,768X + 0,336X^{1,5}$	0,997	73,55	18,4
LEd	B	2	$\hat{Y} = 35,120 + 34,709X^{0,5} - 6,416X + 0,338X^{1,5}$	0,923	92,95	15,3
LVd	A	1	$\hat{Y} = 4,994 + 25,054X^{0,5} - 4,450X + 0,206X^{1,5}$	0,930	47,25	14,8
LVd	A	2	$\hat{Y} = 47,660 + 7,610X^{0,5} - 1,322X + 0,058X^{1,5}$	0,948	60,67	14,9
LVd	B	1	$\hat{Y} = 8,040 + 28,759X^{0,5} - 5,396X + 0,262X^{1,5}$	0,990	53,86	13,1
LVd	B	2	$\hat{Y} = 55,273 + 5,797X^{0,5} - 1,122X + 0,057X^{1,5}$	0,864	64,26	12,6
LAa	A	1	$\hat{Y} = 7,702 + 6,648X^{0,5} - 1,188X + 0,055X^{1,5}$	0,947	18,83	14,5
LAa	A	2	$\hat{Y} = 19,630 - 0,057X$	0,763	19,63	0,0
LAa	B	1	$\hat{Y} = 12,749 + 13,271X^{0,5} - 2,459X + 0,118X^{1,5}$	0,968	34,17	13,5
LAa	B	2	$\hat{Y} = \bar{Y} = 31,51$		31,51	0,0
PAa	A	1	$\hat{Y} = 1,420 + 3,459X^{0,5} - 0,715X + 0,039X^{1,5}$	0,886	6,45	11,1
PAa	A	2	$\hat{Y} = 7,349 - 0,055X$	0,961	7,35	0,1
PAa	B	1	$\hat{Y} = 10,026 + 22,312X^{0,5} - 4,021X + 0,194X^{1,5}$	0,962	47,37	14,7
PAa	B	2	$\hat{Y} = 16,389 + 15,717X^{0,5} - 2,220X + 0,056X^{1,5}$	0,927	47,40	17,8

Todos os coeficientes das regressões são significativos em nível de 1% de probabilidade, pelo teste t.

QUADRO 5 - Valores de Argila, pH, Condutividade Elétrica (CE), Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e Al Estimados para os Pontos de Máxima Estabilidade das Suspensões nos Métodos 1 e 2, em Amostras dos Horizontes A e B dos Solos Estudados

Solo	Horiz.	Mét.	Argila	pH	C.E.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al
			%			mS/cm	----- mg/L -----		
LEd	A	1	70,42	11,70	2,20	0,84	0,09	1,80	15,07
LEd	A	2	87,70	11,61	1,15	0,18	0,06	0,62	21,05
LEd	B	1	73,55	12,14	2,66	0,36	0,00	0,84	22,88
LEd	B	2	92,95	12,38	1,98	0,00	0,00	0,02	37,27
LVd	A	1	47,25	12,04	1,79	0,54	0,00	0,47	26,55
LVd	A	2	60,67	12,21	1,90	0,08	0,07	0,32	35,80
LVd	B	1	53,86	12,15	1,64	0,60	0,00	0,18	24,58
LVd	B	2	64,26	12,25	1,65	0,00	0,00	0,00	38,42
LAa	A	1	18,83	12,05	2,19	1,57	0,16	2,40	4,21
LAa	A	2	19,63	6,81	0,00	0,56	0,10	0,86	4,73
LAa	B	1	34,17	11,89	1,93	1,17	0,10	0,95	7,78
LAa	B	2	31,51	6,06	0,00	0,22	0,03	0,00	3,83
PAa	A	1	6,45	12,11	1,64	2,50	0,24	0,17	3,03
PAa	A	2	7,35	7,48	0,00	0,65	0,00	0,01	2,71
PAa	B	1	47,37	12,29	2,07	1,26	0,15	0,56	17,84
PAa	B	2	47,40	12,66	2,63	0,00	0,02	0,24	13,03

Os solos LEd e LVd são gibbsíticos e apresentaram comportamentos semelhantes para os dois métodos utilizados. O modelo de regressão que melhor se ajustou aos dados foi o mesmo para os dois solos em seus horizontes A e B, nos métodos 1 e 2 (Quadro 4 e Figuras 3, 4, 5 e 6). O LEd apresentou teores de argila de 70,42 e 87,70% no horizonte A e 73,55 e 92,95% no horizonte B, para os métodos 1 e 2, respectivamente. O solo LVd apresentou teores de argila de 47,25 e 60,67% no horizonte A e 53,86 e 64,26% no horizonte B, para os métodos 1 e 2, respectivamente. Esses valores de argila correspondem aos pontos de estabilidade das suspensões e foram dependentes das concentrações de NaOH que proporcionou a elevação do pH e da condutividade elétrica. Para esses solos em seus horizontes, nos dois métodos o pH variou de 11,61 a 12,38 e a condutividade elétrica variou de 1,15 a 2,66 mS/cm (Quadro 5).

Dentre os íons deslocados para a solução o alumínio foi o mais representativo, variando de 15,07 a 38,42 mg/L (Quadro 5). Estes valores, comparados com os de alumínio extraídos por KCl (1 mol/L) quando da caracterização química dos solos (Quadro 2), mostram que o NaOH e a maneira de agitação dos métodos proporcionaram aumento dos teores de alumínio, com exceção das amostras do horizonte A do solo LEd, em ambos os métodos. No entanto, a agitação preconizada pelo método 2 promoveu maiores extrações de alumínio, para todos os casos, em relação ao método 1 (Quadro 6). Na extração com KCl (1 mol/L), a agitação é menos intensa que a preconizada pelos dois métodos na análise textural. Uma agitação intensa individualiza as partículas, aumentando a superfície de ação do extrator, o que possibilita maiores trocas para a solução. Os solos LAa e PAa são cauliniticos e apresentaram comportamentos semelhantes para o método 1, no qual o modelo de regressão que melhor se ajustou aos dados foi o mesmo. Tal fato não aconteceu no método 2 para os horizontes A dos solos LAa e PAa e horizonte B do PAa (Quadro 4 e Figuras 7, 8, 9 e 10). O solo LAa apresentou teores de argila de 18,83 e 19,63% no horizonte A e 34,17 e 31,51%

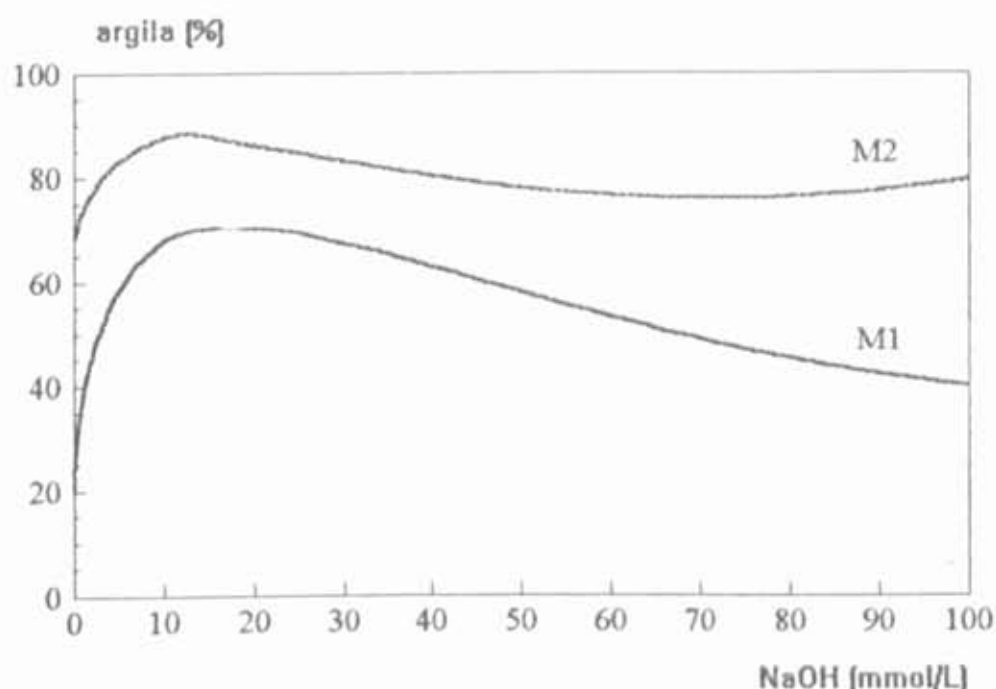


FIGURA 3 - Teores de Argila em Função das Concentrações de NaOH, nos Métodos 1 e 2, para Material do Horizonte A do LEd.

no horizonte B, para os métodos 1 e 2, respectivamente. O solo PAa apresentou teores de argila de 6,45 e 7,35% no horizonte A e 47,37 e 47,40% no horizonte B, para os métodos 1 e 2, respectivamente.

Para estes solos a dispersão e a estabilidade das suspensões, no método 1, foram dependentes das concentrações de NaOH e da elevação do pH e da condutividade elétrica. O pH variou de 11,89 a 12,29 e a condutividade elétrica de 1,64 a 2,63 mS/cm (Quadro 5).

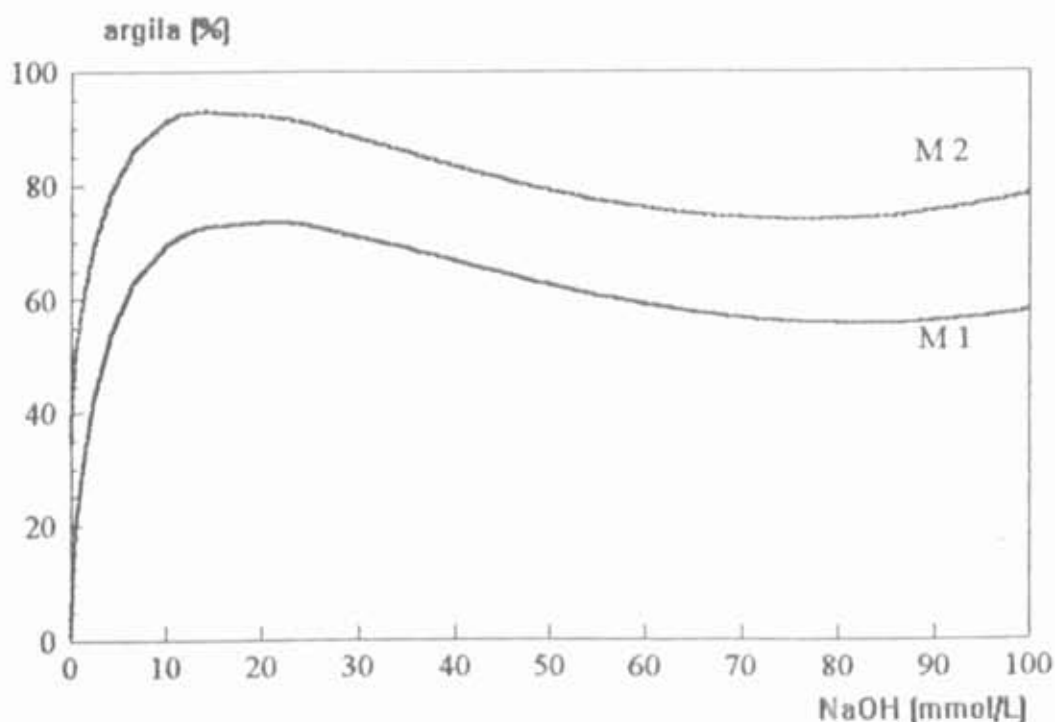


FIGURA 4 - Teores de Argila em Função das Concentrações de NaOH, nos Métodos 1 e 2, para Material do Horizonte B do LE_d.

No método 2, com exceção do horizonte B do solo PAa, a dispersão e a estabilidade das suspensões não apresentaram dependência das concentrações de NaOH e conseqüente elevação do pH e da condutividade elétrica.

A dispersão dos colóides, promovida pela maneira de agitação das amostras desses solos sem a ação do eletrólito dispersante, foi suficiente para provocar a estabilidade das suspensões. Neste caso as concentrações de NaOH auxiliaram na floculação dos colóides e conseqüente sedimentação. Tal fato não ocorreu para o horizonte B do LAa, em que as concentrações de NaOH não

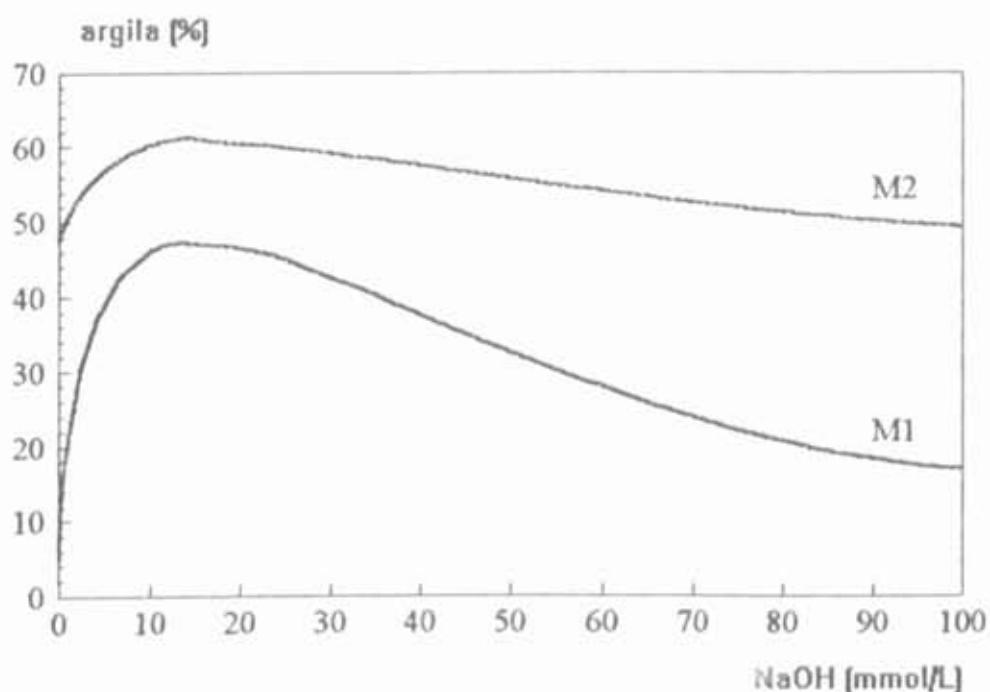


FIGURA 5 - Teores de Argila em Função das Concentrações de NaOH, nos Métodos 1 e 2, para Material do Horizonte A do LVd.

proporcionaram nenhum efeito na dispersão promovida pelo método 2. A variação do pH no método 2, quando não houve efeito na dispersão, foi de 6,06 a 7,48 e a condutividade não apresentou valores na grandeza de mS/cm.

Os teores de alumínio foram mais representativos entre os cátions deslocados para a solução. No horizonte B do PAa, que apresentou dependência do NaOH para dispersão, os teores de alumínio no ponto de estabilidade da suspensão foram de 17,84 e 13,03 mg/L, para os métodos 1 e 2, respectivamente. Nos casos em que a dispersão ocorreu sem a adição de NaOH, os teores de alumínio variaram de 2,71 a 4,78 mg/L (Quadro 5).

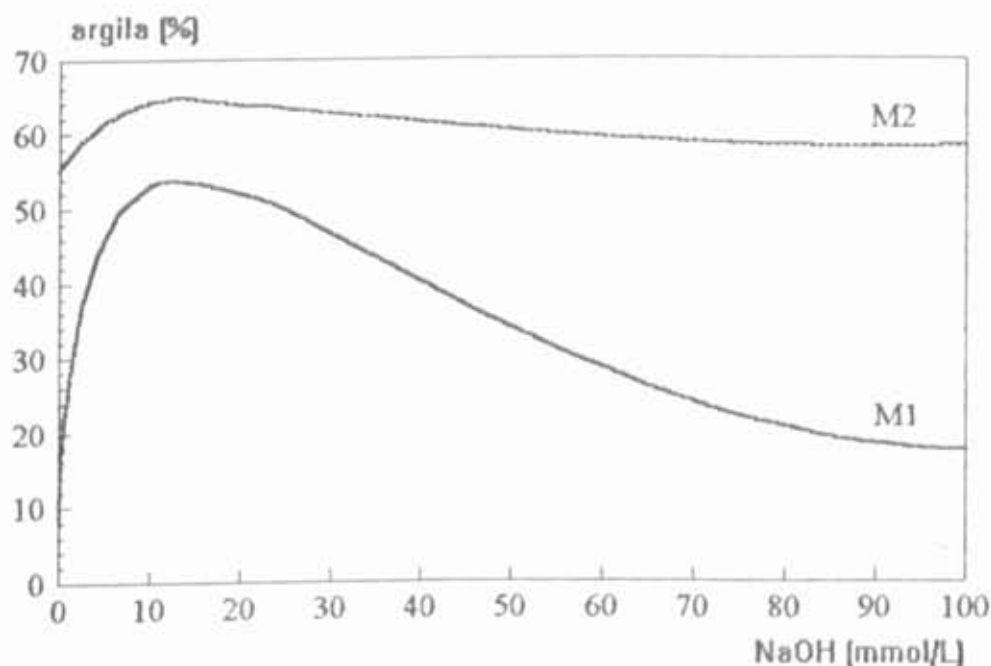


FIGURA 6 - Teores de Argila em Função das Concentrações de NaOH, nos Métodos 1 e 2, para Material do Horizonte B do LVd.

Para os solos cauliniticos, os valores de alumínio deslocado para a solução foram todos inferiores aos valores obtidos na análise de rotina (Quadro 7), quando das determinações para a caracterização química dos solos (Quadro 2).

Certas substâncias orgânicas do solo podem formar complexos organometálicos por processo de quelatização ou complexação. NORVELL (1972) apresenta diagramas de estabilidade de equilíbrio para vários agentes quelantes com cátions H^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} e Fe^{3+} na solução do solo. No caso do alumínio, os agentes quelantes formam quelatos com o Al^{3+} na faixa de pH entre 4,0 a 7,5, aproximadamente. Para valores de pH acima de 7,5, a formação de quelatos com esse elemento diminui ou não ocorre.

QUADRO 6 - Valores de Al^{3+} Trocável Extraído com KCl (1mol/L)(Al^{3+}) e de Alumínio Deslocado para Solução nos Pontos de Máxima Estabilidade das Suspensões (Al) para os Horizontes A e B dos Solos Gibbsíticos nos Métodos 1 e 2

Solo	Horizonte	Método	Al^{3+} e Al	
			Al^{3+}	Al
			— cmol _c /dm ³ —	
LEd	A	1	0,5	0,17
LEd	B	1	0,0	0,25
LVd	A	1	0,0	0,30
LVd	B	1	0,2	0,27
LEd	A	2	0,5	0,23
LEd	B	2	0,0	0,41
LVd	A	2	0,0	0,40
LVd	B	2	0,2	0,43

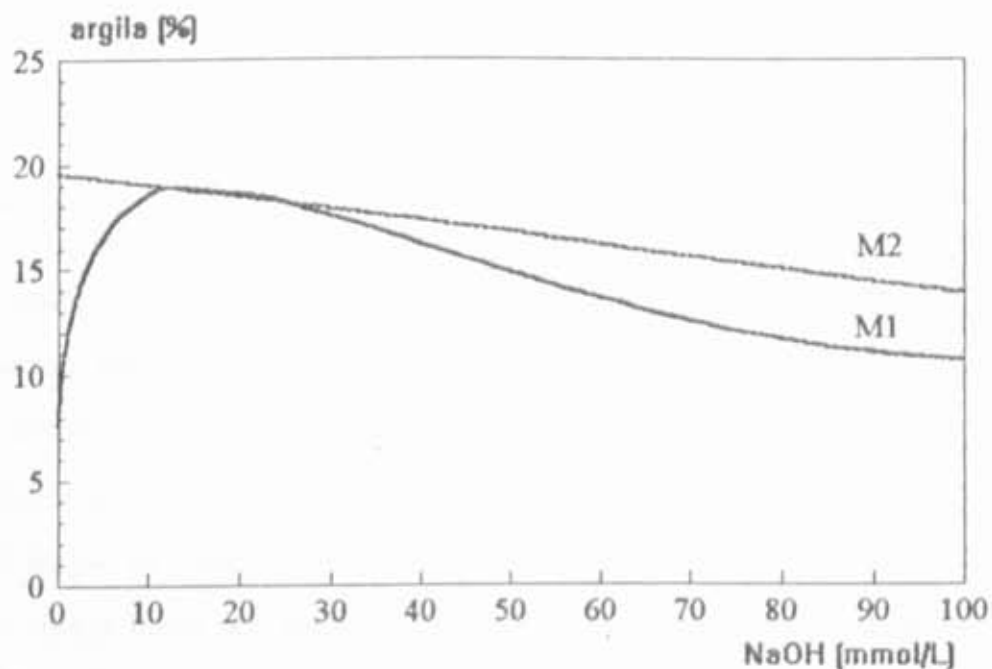


FIGURA 7 - Teores de Argila em Função das Concentrações de NaOH , nos Métodos 1 e 2, para Material do Horizonte A do LAa.

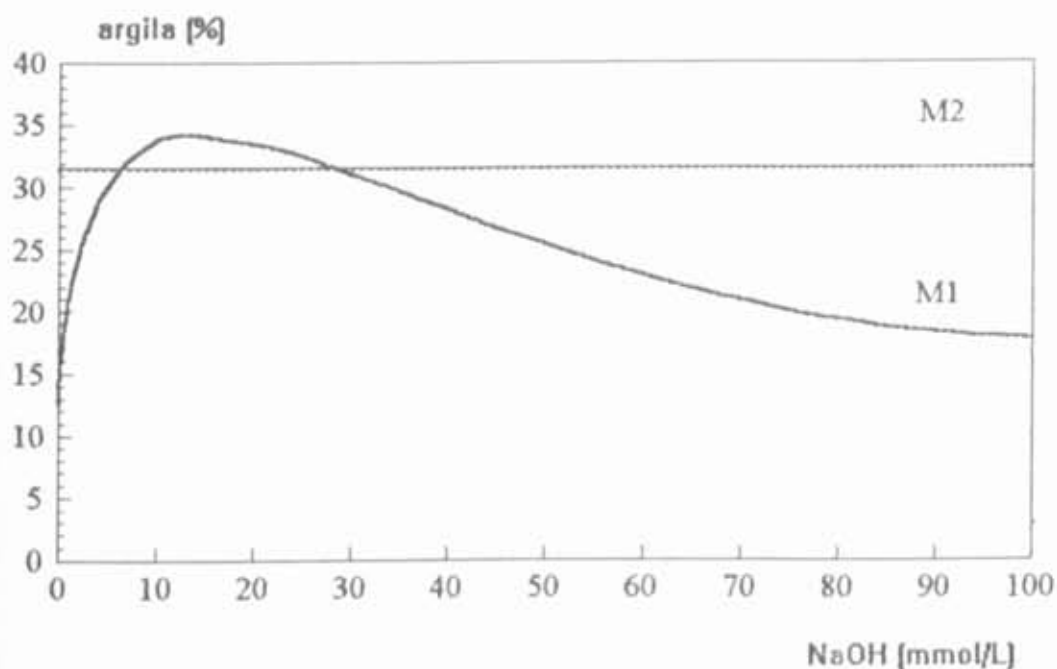


FIGURA 8 - Teores de Argila em Função das Concentrações de NaOH, nos Métodos 1 e 2, para Material do Horizonte B do LAa.

Em estudos com amostras de um Latossolo Roxo distrófico, PARRA (1986) observou que a oxidação da matéria orgânica por meio de peróxido de hidrogênio afetou o alumínio trocável nos materiais de solo. O autor comenta que após a oxidação houve aumento dos valores de alumínio e que esse elemento está associado à fração de matéria orgânica mais facilmente oxidável. Observações semelhantes foram feitas por MENDONÇA et al. (1991) em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo. O autor observou que em condições naturais de solo sob floresta os microagregados apresentaram maiores teores de alumínio do que os macroagregados, em função da maior complexação deste elemento com a

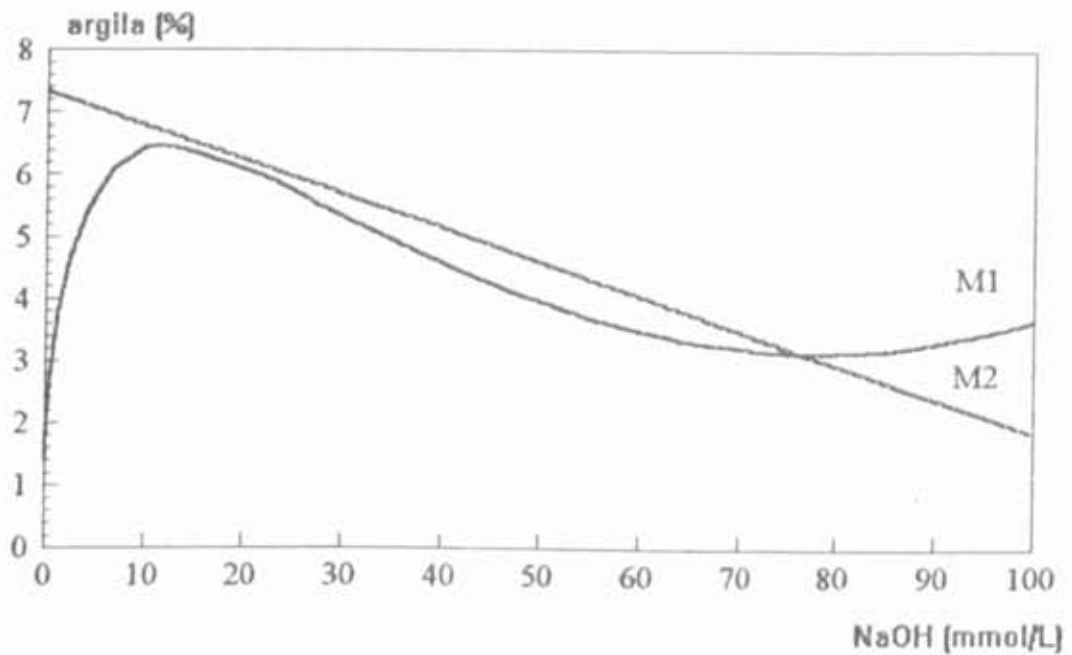


FIGURA 9 - Teores de Argila em Função das Concentrações de NaOH, nos Métodos 1 e 2, para Material do Horizonte A do PAa.

matéria orgânica dos microagregados, por possuírem mais ácidos húmicos e humina do que os macroagregados. Após a oxidação da matéria orgânica houve aumentos significativos dos teores de Al^{3+} em todas as classes de agregados.

Além das maneiras diferentes de agitação, a solubilização da matéria orgânica nas amostras de solo, em função das concentrações de NaOH, pode ter contribuído para o aumento da concentração de alumínio na solução, principalmente na faixa de pH em que ocorreram os pontos de máxima estabilidade das soluções.

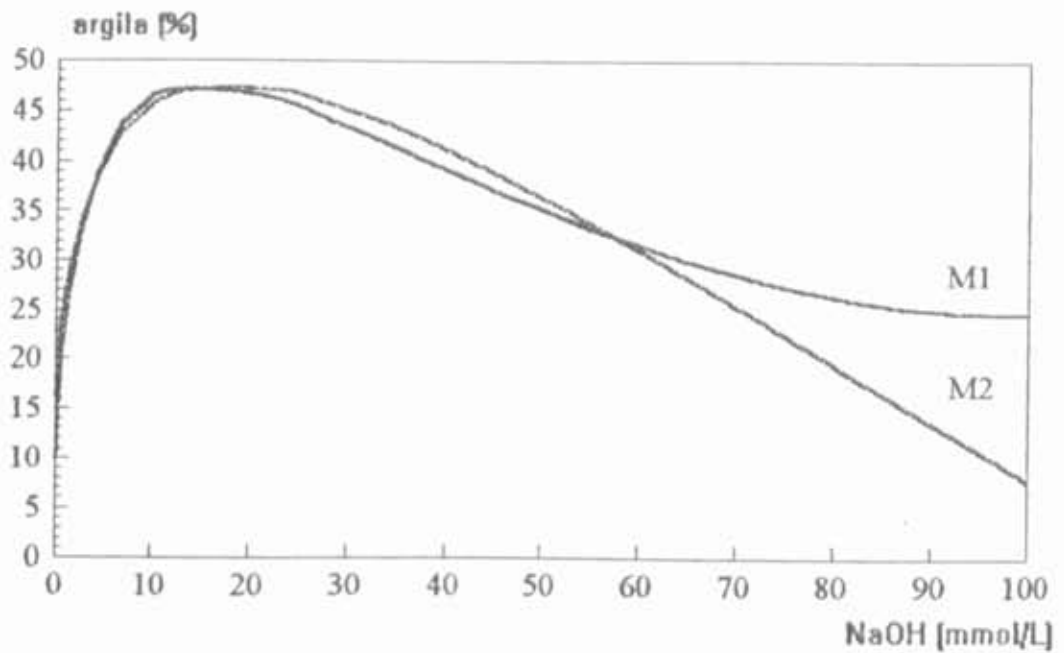


FIGURA 10 - Teores de Argila em Função das Concentrações de NaOH, nos Métodos 1 e 2, para Material do Horizonte B do PAA.

QUADRO 7 - Valores de Al^{3+} Trocável Extraídos com KCl (1 mol/L) (Al^{3+}) e de Alumínio Deslocado para a Solução nos Pontos de Máxima Estabilidade das Suspensões (Al) para os Horizontes A e B dos Solos Cauliniticos, nos métodos 1 e 2

Solo	Horizonte	Método	Al^{3+} e Al	
			Al^{3+}	Al
			----- $cmol_c/dm^3$ -----	
LAa	A	1	0,1	0,05
LAa	B	1	0,4	0,09
PAa	A	1	0,1	0,03
PAa	B	1	0,9	0,20
LAa	A	2	0,1	0,05
LAa	B	2	0,4	0,09
PAa	A	2	0,1	0,03
PAa	B	2	0,9	0,14

Com relação ao alumínio, é importante ressaltar as formas em que ele se apresenta nos pontos de estabilidade das suspensões. O alumínio é um dos elementos mais abundantes nos solos e pode ser encontrado na formação de minerais primários e secundários como aluminossilicatos. Em solos ácidos o alumínio tem importância como elemento trocável e, dependendo do pH, apresenta-se em diferentes formas. Até a faixa de pH 5,2 o alumínio se encontra em atividade na forma solúvel de Al^{3+} . Entre a faixa de pH 5,2 e 7,0 a forma de $\text{Al}(\text{OH})_3^0$ é predominante na solução, porém com atividade praticamente nula. Acima de pH 7,5 predominam as formas de aluminatos solúveis como $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ e $\text{Al}(\text{OH})_5^{2-}$.

A espessura da dupla camada depende da valência e concentração dos cátions presentes na solução. Em concentrações iguais, os cátions trivalentes determinam a menor espessura da dupla camada, da mesma maneira que os cátions divalentes e os monovalentes. No caso do alumínio, suas cargas são dependentes de pH, ele se caracteriza como um cátion floculante em pH ácido, e em pH alcalino participa como ânion, auxiliando na dispersão dos colóides.

Neste estudo, os teores de alumínio foram determinados após centrifugar as suspensões e provocar a redução do pH entre 2 e 3, isto é, na forma de Al^{3+} . No entanto, nos pontos de estabilidade das suspensões as formas de alumínio são diferentes. Com exceção dos pontos de estabilidade para os horizontes A e B do solo LAa e horizonte A do solo PAa no método 2, os valores de pH em todos os outros pontos se apresentaram próximos do valor 12. Neste valor de pH predomina a atividade de formas aniônicas de alumínio como $\text{Al}(\text{OH})_5^{2-}$ e $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ que, associadas com o aumento de cargas dependentes de pH, contribuem para aumentar a repulsão entre partículas coloidais, já que o sódio é o cátion predominante, monovalente com raio hidratado grande, auxiliando na manutenção dos colóides em suspensão e mantendo-os estáveis.

Nos pontos de estabilidade a diferença entre o Na^+ aplicado e o Na^+ recuperado foi denominada Na^+ retido (Na_R) ou participante no complexo coloidal. A relação Al/Na_R indica a participação da atividade das formas aniônicas do alumínio em relação à atividade do Na^+ nas suspensões com pH próximo de 12, para os dois métodos estudados. Para todas as suspensões promovidas pelo método 2 as relações Al/Na_R foram maiores quando comparadas com as suspensões obtidas pelo método 1 (Quadro 8), indicando maior participação da atividade das formas aniônicas do alumínio nos pontos de estabilidade das suspensões. Assim, com o aumento da participação da atividade do alumínio diminui a participação da atividade do sódio e vice-versa. Para o método 1, em todos os casos a atividade do sódio foi maior em relação à atividade do alumínio (Quadro 8). A forma de desestruturação dos agregados de argila, provocada pela maneira de agitação de cada método, deve ter proporcionado a possibilidade de maior liberação e participação das formas de alumínio, conforme cada método, o que explica a presença de alumínio nas suspensões dos solos que não apresentaram teores de alumínio trocável, quando da caracterização química das amostras (Quadro 2).

Para o horizonte A dos solos LAa e PAa, no método 2, a maior estabilidade das suspensões ocorreu independente da participação do NaOH. As suspensões, com pH variando de 6,06 a 7,48, apresentaram baixa atividade de cátions e praticamente nula a do alumínio, que nessa faixa de pH se apresenta na forma de $\text{Al}(\text{OH})_3^0$, sem cargas, ficando isenta sua contribuição tanto para floculação como para dispersão (Quadro 5). Neste caso, o aumento da concentração de NaOH reduziu a dupla camada, favorecendo a floculação e diminuindo os teores de argila (Figuras 7 e 9).

QUADRO 8 - Valores de pH, Al, Na_R e Relação Al/Na_R e Argila nos Pontos de Estabilidade das Suspensões

Solo	Horiz.	Método	pH	Al	Na _R	Al/Na _R	Argila
				----- mg/L -----			--- % ---
LEd	A	1	11,70	15,07	31,70	0,48	70,42
LEd	A	2	11,61	21,05	15,92	1,32	87,70
LEd	B	1	12,14	22,88	35,19	0,65	73,55
LEd	B	2	12,38	37,27	5,27	7,07	92,95
LVd	A	1	12,04	26,55	25,02	1,06	47,25
LVd	A	2	12,21	38,42	3,78	9,47	60,67
LVd	B	1	12,15	24,58	18,85	1,30	53,86
LVd	B	2	12,25	38,43	5,08	7,56	64,26
LAa	A	1	12,05	4,21	21,10	0,20	18,83
LAa	A	2	6,81	4,73	0,00	-	19,63
LAa	B	1	11,89	7,78	4,39	1,77	34,17
LAa	B	2	6,06	3,83	0,00	-	31,51
PAa	A	1	12,11	3,03	4,20	0,72	6,45
PAa	A	2	7,48	2,71	0,00	-	7,35
PAa	B	1	12,29	17,84	11,42	1,53	47,37
PAa	B	2	12,66	13,03	3,32	3,92	47,40

A dispersão dos colóides, no horizonte B do LAa para o método 2, permaneceu estável para todas as concentrações de NaOH aplicadas, em que os valores de argila estimados são equivalentes aos valores da média (31,51%). No entanto, para o método 1 tal fato não ocorreu. Houve um ponto de estabilidade da suspensão que apresentou 34,17% de argila, superior ao valor apresentado pelo método 2. Apesar de a diferença não ser significativa, fica a dúvida se no método 2 a dispersão ocorreu independente do NaOH ou foi dependente do dispersante, porém, não atingindo seu ponto de máxima até a maior concentração de dispersante utilizada.

3.3. Algumas Conseqüências da Utilização dos Métodos Estudados

Os dois métodos utilizados preconizam o uso de NaOH na concentração de 10 mmol/L, nas provetas de sedimentação, para a determinação de argila. Os resultados apresentados mostraram que para a maioria dos casos estudados a estabilidade das suspensões ocorreu em concentrações maiores que as preconizadas. No entanto as diferenças entre os valores de argila são mínimas, indicando que a concentração preconizada pelos métodos é eficiente em promover a dispersão dos colóides para determinação dos teores de argila (Quadro 9 e Figura 11). Como já foi discutido anteriormente, as diferenças dos teores de argila estão entre os métodos, nas suas maneiras de agitação.

As diferenças encontradas nos teores de argila entre os métodos podem trazer implicações para as determinações dos valores de areia fina ou de silte, que podem ser estimados pela diferença entre a soma da fração areia grossa ou silte com a fração argila. Nos casos em que o método promove maior dispersão e conseqüentemente maiores valores de argila, os valores de silte ou areia fina diminuem, implicando, por exemplo, em valores menores da relação silte/argila; usada como indicador na caracterização e classificação do solo.

Outra implicação da utilização de um ou de outro método está na determinação de argila dispersa em água e no grau de floculação. Observa-se que para o método 2 os valores de argila dispersa em água foram sempre superiores aos valores obtidos pelo método 1 (Quadro 9). O grau de floculação (GF) estima o estado de floculação dos colóides em uma amostra de solo, informando o grau de estabilidade dos agregados do solo, usado, também, como indicador para caracterização da erodibilidade do solo.

Considerando valores de argila total aqueles obtidos com a concentração de 10 mmol/L de NaOH, preconizada pelos dois métodos, o grau de floculação estimado apresentou valores negativos para dois casos, o que evidencia um erro.

QUADRO 9 - Valores de Argila Estimados para a Concentração de 10 mmol/L (ARG10), Argila Dispersa em Água (ARGH₂O), para as Concentrações no Ponto de Máxima Dispersão (ARGMAX) e Grau de Floculação (GF) nos Métodos 1 e 2, em Amostras dos Horizontes A e B dos Solos Estudados

Solo	Horiz	Método	ARG10	ARGH ₂ O	----- % -----		
					GF	ARGMAX	GF
LEd	A	1	68,10	20,65	69,68	70,42	70,67
LEd	A	2	87,70	68,78	21,57	87,70	21,57
LEd	B	1	69,56	1,00	98,56	73,55	98,63
LEd	B	2	91,41	35,12	61,58	92,95	62,21
LVD	A	1	46,25	4,99	89,21	47,25	89,44
LVD	A	2	60,34	47,66	21,01	60,67	21,44
LVD	B	1	53,29	8,04	84,91	53,86	85,07
LVD	B	2	64,20	55,27	13,91	64,26	13,99
LAA	A	1	18,59	7,70	58,58	18,83	59,11
LAA	A	2	19,06	19,63	- 2,99	19,63	0,00
LAA	B	1	33,86	12,75	62,34	34,17	62,68
LAA	B	2	31,51	31,51	0,00	31,51	0,00
PAa	A	1	6,44	1,42	77,95	6,45	77,98
PAa	A	2	6,80	7,35	- 8,09	7,35	0,00
PAa	B	1	46,50	10,03	78,43	47,37	78,83
PAa	B	2	45,67	16,39	64,11	47,40	65,42

Tal fato não ocorreu quando o grau de floculação foi estimado com os valores das concentrações de NaOH, que proporcionaram o máximo de argila total (Quadro 9).

Segundo FERREIRA(1988) e CARVALHO (1991), que estudaram os solos LEd, LVD e LAA, os solos gibbsíticos apresentaram maior grau de estabilidade de agregados do que os solos cauliniticos. Os dados apresentados no Quadro 9 referentes ao grau de floculação corroboram as conclusões feitas pelos dois autores citados, uma vez que o grau de floculação fornece informações do grau de estabilidade de agregados. Os valores do grau de floculação obtidos pelo método 1 foram todos superiores aos obtidos pelo método 2, isto porque os

valores de argila dispersa em água obtidos pelo método 1 foram sempre menores em relação ao método 2 (Quadro 9). Os valores de argila dispersa em água, assim como o grau de flocculação, podem ser usados como indicadores das características físico-químicas dos solos relacionados com seu manejo. O uso de um ou de outro método na determinação de argila poderá incorrer em erros sub ou superestimados.

A metodologia utilizada para a determinação do carbono orgânico não foi sensível o suficiente para indicar efeitos significativos relacionados com os fenômenos de dispersão e flocculação dos colóides de argila. No entanto, este fato não indica que não há efeito dos colóides orgânicos na estabilidade das suspensões. Os ácidos húmicos possuem cargas negativas dependentes do pH e são, juntamente com os ácidos fúlvicos, extraídos por soluções alcalinas, em situações semelhantes às desenvolvidas nos métodos estudados. Visualmente, após a centrifugação das suspensões, foi possível a observação da cor castanha das soluções quando o NaOH estava presente. Após a acidificação das suspensões, estas apresentaram flocos de ácidos húmicos que ficaram retidos na filtração. Conforme JORGE e LEPSCH (1982), a matéria orgânica em suspensão pode vir a ser detectada erroneamente como parte da fração argila ou silte. Barbier, citado por COSTA (1985), verificou que a adição de ácidos húmicos em suspensões de argila aumentava sua estabilidade e que, quanto maior a proporção de ácidos húmicos adicionados, maior era a concentração do eletrólito para provocar a flocculação dos colóides.

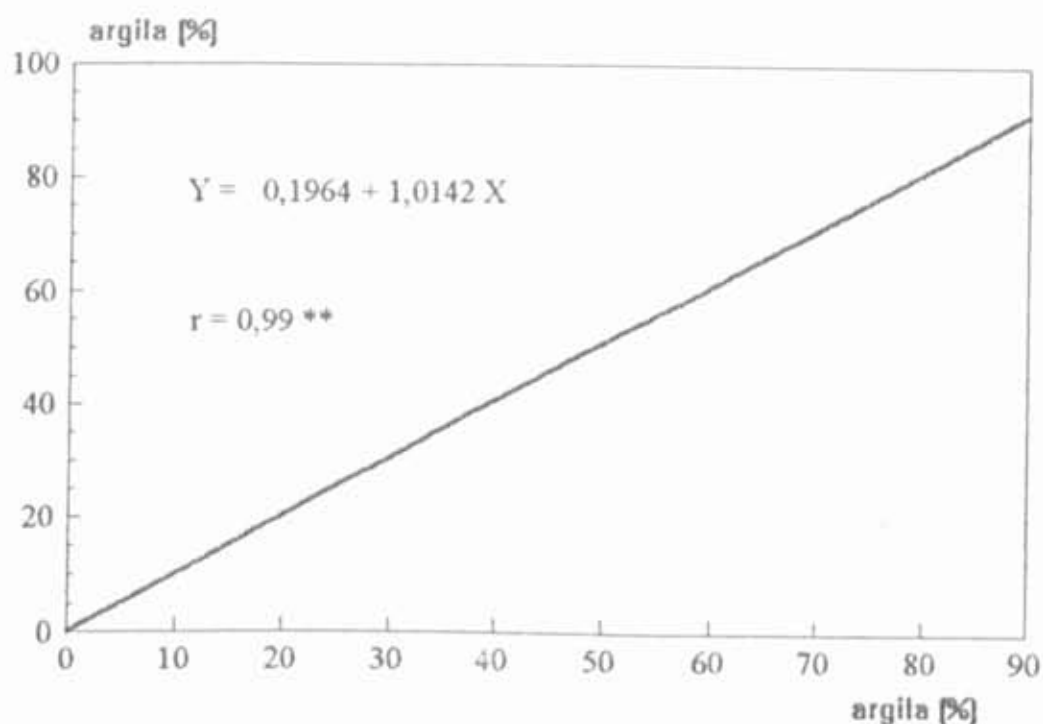


FIGURA 11 - Valores Estimados de Argila nos Pontos de Máxima Estabilidade das Suspensões(Y), Relacionados com os Estimados para a Concentração de 10 mmol/L (X) para todos os Horizontes dos Solos Estudados.

Os solos LEd e LVd apresentaram maiores diferenças dos valores de argila entre os dois métodos estudados em relação aos solos LAa e PAa (Quadro 3 e Figuras de 3 a 10). Com relação a estas diferenças, algumas inferências podem ser feitas. Os solos LEd e LVd possuem mais argila que os solos LAa e PAa (Quadro 3) e maiores teores de carbono (Quadro 2), o que pode ter elevado a estabilidade das suspensões em razão do efeito da matéria orgânica que possui cargas dependentes de pH, aumentando a repulsão entre os colóides em suspensão. Para os solos LAa e PAa, com menores teores de carbono orgânico, as diferenças dos valores de argila, entre os métodos, foram mais estreitas. A

correlação simples entre os teores de carbono orgânico dos solos (Quadro 2) e as diferenças absolutas entre os métodos foi positiva ($r = 0,82$) e significativa em nível de 5%, indicando que com o aumento do carbono orgânico as diferenças entre os métodos aumentam.

Outra possibilidade da ocorrência destas diferenças entre os métodos está relacionada com as quantidades de areia dos solos. Os solos LAa e PAa, com menores valores de argila, podem ter sofrido, durante a agitação no método 1, uma **auto-abrasão** promovida pela fração areia presente nestes solos. A correlação simples entre os valores de argila e as diferenças absolutas entre os métodos foi positiva ($r = 0,71$), significativa em nível de 5%, indicando aumento das diferenças quando ocorre aumento dos valores de argila.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Foram comparados dois métodos de agitação mecânica associados a diferentes concentrações de NaOH na determinação de argila em amostras de materiais dos horizontes A e B de três Latossolos e um Podzólico. As determinações de argila foram obtidas pelo método da pipeta em duas maneiras mecânicas de se proceder à dispersão dos solos. A primeira maneira (Método 1), considerada como padrão, foi como preconiza a EMBRAPA (1979), e a segunda (Método 2) foi em conformidade com GROHMANN e RAIJ (1977). Os dois métodos foram combinados com as concentrações de 0, 3, 6, 12, 25, 50 e 100 mmol/L de NaOH, nas provetas de sedimentação. Foi utilizado o tempo de 4 horas de sedimentação para todos os casos. Após a retirada de 10 ml de alíquota, a 5 cm de profundidade, para a determinação de argila, foram retirados os 100 ml de suspensão na parte superior da proveta de sedimentação para determinação do pH, condutividade elétrica, carbono orgânico, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , Na^+ e K^+ .

Por meio de análise de regressão foram ajustadas as curvas de dispersão de argila em função das concentrações de NaOH e estimados os pontos de máxima dispersão de argila, equivalentes aos pontos de maior estabilidade das suspensões,

assim como foram estimados os valores de pH, condutividade elétrica e dos cátions presentes na solução, nesses pontos.

Os resultados obtidos permitiram concluir que existem diferenças entre os métodos estudados, em função da maneira de agitação. Que existe comportamento diferenciado na determinação de argila para solos com características mineralógicas diferentes. Que a concentração de 10 mmol/L de NaOH, nas provetas de sedimentação, foi eficiente para promover a estabilidade das suspensões nos solos estudados. Que, além do NaOH, as formas aniônicas de alumínio em solução colaboram na dispersão dos colóides do solo. Que existe necessidade de maiores estudos na identificação de um método padronizado para determinação de argila dos solos brasileiros.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- CARVALHO, A.F. Emprego da agitação horizontal na avaliação da estabilidade de agregados de cinco solos da região sudeste. Viçosa, UFV, 1991, 73p. (Tese-M.S.).
- CARVALHO, M.A. Eficiência de dispersantes na análise textural de materiais de solos com horizontes B latossólico e B textural. Lavras, ESAL, 1985. 79p. (Tese-M.S.).
- COSTA, J.B. Caracterização e constituição do solo. 3. ed. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 1985. 527p.
- DEFELIPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. Análise química do solo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1981. 17p. (Boletim extensão, 29)
- DIAS, L.E.; JUCKSCH, I.; RICCI, M.S.F.; ALVAREZ V., V.H. Comparação de diferentes métodos de determinação de carbono orgânico em amostras de solo. *R. bras. Cl. Solo*, 15:157-162, 1991a.
- DIAS, R.A. de P.; JUCKSCH, I.; COSTA, L.M. Efeito da concentração de NaOH na análise granulométrica de solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 23, Porto Alegre, 1991. Resumos... Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991b. p.169.
- DAY, P.R. Experimental confirmation of hidrometer theory. *Soil Sci.* 75:181-186, 1953.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979. n. p.
- EDWARDS, A.P. & BREMNER, J.M. Dispersion of soil particle by sonic vibration. *J. Soil Sci.* 18:47-63, 1967.
- FERREIRA, M.M. **Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de latossolos brasileiros**. Viçosa, UFV, 1988, 79p. (Tese-D.S.).
- FLOATE, M.J.S. The sedimentation times used in the hydrometer method for mechanical analysis of soils. *Can. J. Soil Sci.* 45:357-359, 1965.
- GROHMANN, F. & RAIJ, V. B. Influência dos métodos de agitação na dispersão da argila do solo. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 16. Santa Maria, 1973. *Anais...* Santa Maria, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1973. p. 123-132.
- GROHMANN, F. & RAIJ, V. B. Dispersão mecânica e pré-tratamento para análise granulométrica de latossolos argilosos. *R. bras. Ci. Solo.* 1:52-53, 1977.
- JACKSON, M.L. **Análise químico de suelos**. 3ed. Ediciones Omega, Barcelona, 1976. 622p.
- JENNINGS, D.S.; THOMAS, M.D.; GARDNER, N. A new method of mechanical analysis of soil. *Soil Sci.* 14:485-499, 1922.
- JORGE, J.A. & LEPSCH, I.G. Matéria orgânica das aliquotas das frações de argila e silte e sua influência na análise granulométrica pelo método da pipeta. *Pesq. agropec. bras.* 17:1777-1781, 1982.
- KILMER, V.J. & ALEXANDER, L.T. Methods of making mechanical analysis of soils. *Soil Sci.* 68:15-24, 1949.
- LEMIEUX, G.J. Efficiency of various shakers in the particle-size analysis of soils. *Can. J. Soil Sci.* 44:228-231, 1964.
- MENDONÇA, E.S.; MOURA FILHO, W.; COSTA, L.M. Organic matter and chemical characteristics of aggregates from a Red - Yellow Latosol under natural forest, rubber plant and grass in Brazil. In: WILSON, W.S. (ed.) **Advances in soil organic matter research: The impact on agriculture and the environment**. Cambridge, The Royal Society of Chemistry, 1991. p. 185 - 195.

- MITCHELL, J.K. **Fundamentals of soil behavior**. Berkeley, University of California/John Wiley, 1976. 422p.
- NAKAYAMA, F.S. Deflocculation of soil materials by sodium salts. *Soil Sci.* 102:388-393, 1966.
- NORVELL, N. A. Equilibria of metal chelates in soil solution. In: **Micronutrients in agriculture**. Madison, Soil Science Society of America, 1972. 666p.
- OLIVEIRA, L.B. Análise mecânica em solos da zona semi-árida do nordeste. Solos normais, calcários, calcários com sais solúveis e salinos. *Pesq. agropec.bras.* 1:7-15, 1966.
- PARRA, M.S. **Dinâmica da matéria orgânica e de nutrientes num Latossolo Roxo distrófico submetido aos sistemas de plantio convencional e direto e a diferentes sucessões de culturas**. Viçosa, UFV, 1986. 94p. (Tese-M.S.).
- PAULETTO, E.A. **Estudo sobre dispersão de amostra de terra**. Piracicaba, ESALQ, 1978, 68p. (Tese-M.S.).
- PROTZ, R. & ARNAUD, R.J.S. The evaluation of four pretreatments used in particle-size distribution analyses. *Can. J. Soil Sci.* 44:345-351, 1964.
- TYNER, E.H. The use of sodium metaphosphate for dispersion of soils mechanical analysis. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 4:106-113, 1939.
- VETTORI, L. & PIERANTONI, H. **Análise granulométrica. Novo método para determinar a fração argila**. Rio de Janeiro, Equipe de Pedologia e Fertilidade do solo-MA, 1968, 9p. (Boletim técnico, 3)

APÊNDICE

APÊNDICE A

QUADRO 1A - Equações de Regressão de pH em Função das Concentrações de NaOH (X) mmol/L para Todos os Horizontes dos Solos Estudados nos Dois Métodos

Solo	Hor.	Mét.	Modelo	R ²
LEd	A	1	$\hat{Y} = 5,594 + 2,594X^{0,5} - 0,329X + 0,014X^{1,5}$	0,997
LEd	A	2	$\hat{Y} = 5,832 + 2,921X^{0,5} - 0,413X + 0,019X^{1,5}$	0,997
LEd	B	1	$\hat{Y} = 6,003 + 2,813X^{0,5} - 0,408X + 0,020X^{1,5}$	0,997
LEd	B	2	$\hat{Y} = 5,833 + 3,365X^{0,5} - 0,538X + 0,027X^{1,5}$	0,987
LVd	A	1	$\hat{Y} = 5,674 + 2,962X^{0,5} - 0,417X + 0,020X^{1,5}$	0,998
LVd	A	2	$\hat{Y} = 6,734 + 2,637X^{0,5} - 0,385X + 0,018X^{1,5}$	0,991
LVd	B	1	$\hat{Y} = 5,683 + 3,211X^{0,5} - 0,480X + 0,024X^{1,5}$	0,994
LVd	B	2	$\hat{Y} = 6,526 + 2,942X^{0,5} - 0,456X + 0,023X^{1,5}$	0,992
LAa	A	1	$\hat{Y} = 6,700 + 2,643X^{0,5} - 0,401X + 0,020X^{1,5}$	0,994
LAa	A	2	$\hat{Y} = 6,809 + 3,006X^{0,5} - 0,492X + 0,025X^{1,5}$	0,980
LAa	B	1	$\hat{Y} = 6,362 + 2,787X^{0,5} - 0,430X + 0,022X^{1,5}$	0,991
LAa	B	2	$\hat{Y} = 6,062 + 3,495X^{0,5} - 0,578X + 0,030X^{1,5}$	0,978
PAa	A	1	$\hat{Y} = 6,534 + 2,894X^{0,5} - 0,436X + 0,021X^{1,5}$	0,996
PAa	A	2	$\hat{Y} = 6,489 + 3,298X^{0,5} - 0,548X + 0,029X^{1,5}$	0,977
PAa	B	1	$\hat{Y} = 5,406 + 3,538X^{0,5} - 0,562X + 0,028X^{1,5}$	0,990
PAa	B	2	$\hat{Y} = 6,378 + 3,245X^{0,5} - 0,530X + 0,027X^{1,5}$	0,982

Todos os coeficientes das regressões são significativos a 1% de probabilidade, pelo teste t.

QUADRO 2A - Equações da Regressão da Condutividade Elétrica (CE) em Função das Concentrações de NaOH (X) (mmol/L) para Todos os Horizontes dos Solos Estudados nos Dois Métodos

Solo	Hor.	Mét.	Modelo	R ²
LEd	A	1	$\hat{Y} = 0,155X - 0,493$	0,996
LEd	A	2	$\hat{Y} = 0,111X - 0,014$	0,980
LEd	B	1	$\hat{Y} = 0,169X - 0,450$	0,998
LEd	B	2	$\hat{Y} = 0,150X - 0,319$	0,999
LVd	A	1	$\hat{Y} = 0,144X - 0,340$	0,998
LVd	A	2	$\hat{Y} = 0,150X - 0,331$	0,999
LVd	B	1	$\hat{Y} = 0,148X - 0,296$	0,999
LVd	B	2	$\hat{Y} = 0,152X - 0,268$	0,999
LAa	A	1	$\hat{Y} = 0,170X - 0,278$	0,999
LAa	A	2	$\hat{Y} = 0,181X - 0,136$	0,999
LAa	B	1	$\hat{Y} = 0,166X - 0,314$	0,999
LAa	B	2	$\hat{Y} = 0,162X - 0,151$	0,999
PAa	A	1	$\hat{Y} = 0,168X - 0,221$	0,999
PAa	A	2	$\hat{Y} = 0,167X - 0,151$	0,999
PAa	B	1	$\hat{Y} = 0,160X - 0,280$	0,999
PAa	B	2	$\hat{Y} = 0,157X - 0,169$	0,999

Todos os coeficientes das regressões são significativos a 1% de probabilidade, pelo teste t.

QUADRO 3A - Equações de Regressão dos Valores de Ca^{2+} em Função das Concentrações de NaOH (X) (mmol/L) para Todos os Horizontes dos Solos Estudados nos Dois Métodos

Solo	Hor.	Mét.	Modelo	R ²
LEd	A	1	$\hat{Y} = -0,009X + 0,996$	0,515
LEd	A	2	$\hat{Y} = -0,002X + 0,205$	0,567
LEd	B	1	$\hat{Y} = -0,002X + 0,397$	0,408
LEd	B	2	$\hat{Y} = 0$	---
LVd	A	1	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,54$	---
LVd	A	2	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,08$	---
LVd	B	1	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,60$	---
LVd	B	2	$\hat{Y} = 0$	---
LAa	A	1	$\hat{Y} = -0,011X + 1,727$	0,737
LAa	A	2	$\hat{Y} = -0,007X + 0,562$	0,407
LAa	B	1	$\hat{Y} = -0,010X + 1,304$	0,831
LAa	B	2	$\hat{Y} = -0,003X + 0,218$	0,274
PAa	A	1	$\hat{Y} = -0,007X + 2,573$	0,217
PAa	A	2	$\hat{Y} = -0,007X + 0,651$	0,112
PAa	B	1	$\hat{Y} = -0,006X + 1,346$	0,625
PAa	B	2	$\hat{Y} = 0$	---

Todos os coeficientes das regressões são significativos a 1% de probabilidade, pelo teste t.

QUADRO 4A - Equações de Regressão dos Valores de Mg^{2+} em Função das Concentrações de NaOH (X) (mmol/L) para Todos os Horizontes dos Solos Estudados nos Dois Métodos

Solo	Hor.	Mét.	Modelo	R ²
LEd	A	1	$\hat{Y} = -0,002X + 0,123$	0,390
LEd	A	2	$\hat{Y} = -0,001X + 0,065$	0,634
LEd	B	1	$\hat{Y} = 0$	---
LEd	B	2	$\hat{Y} = 0$	---
LVd	A	1	$\hat{Y} = 0$	---
LVd	A	2	$\hat{Y} = -0,001X + 0,083$	0,525
LVd	B	1	$\hat{Y} = 0$	---
LVd	B	2	$\hat{Y} = 0$	---
LAa	A	1	$\hat{Y} = -0,003X + 0,203$	0,311
LAa	A	2	$\hat{Y} = -0,001X + 0,106$	0,630
LAa	B	1	$\hat{Y} = -0,002X + 0,128$	0,299
LAa	B	2	$\hat{Y} = -0,001X + 0,035$	0,212
PAa	A	1	$\hat{Y} = -0,002X + 0,261$	0,448
PAa	A	2	$\hat{Y} = 0$	---
PAa	B	1	$\hat{Y} = -0,001X + 0,172$	0,344
PAa	B	2	$\hat{Y} = -0,0003X + 0,025$	0,525

Todos os coeficientes das regressões são significativos a 1% de probabilidade, pelo teste t.

QUADRO 5A - Equações de Regressão dos Valores de K^+ em Função das Concentrações de NaOH (X) (mmol/L) para Todos os Horizontes dos Solos Estudados nos Dois Métodos

Solo	Hor.	Mét.	Modelo	R ²
LEd	A	1	$\hat{Y} = 0,049X + 0,957$	0,949
LEd	A	2	$\hat{Y} = 0,010X + 0,514$	0,619
LEd	B	1	$\hat{Y} = 0,047X - 0,026$	0,998
LEd	B	2	$\hat{Y} = 0,002X - 0,005$	0,555
LVd	A	1	$\hat{Y} = 0,011X + 0,305$	0,958
LVd	A	2	$\hat{Y} = 0,005X + 0,246$	0,607
LVd	B	1	$\hat{Y} = 0,004X + 0,129$	0,818
LVd	B	2	$\hat{Y} = 0$	---
LAa	A	1	$\hat{Y} = 0,052X + 1,648$	0,982
LAa	A	2	$\hat{Y} = 0,010X + 0,857$	0,762
LAa	B	1	$\hat{Y} = 0,049X + 0,292$	0,995
LAa	B	2	$\hat{Y} = 0$	---
PAa	A	1	$\hat{Y} = 0,006X + 0,109$	0,748
PAa	A	2	$\hat{Y} = 0,006X + 0,007$	0,703
PAa	B	1	$\hat{Y} = 0,010X + 0,413$	0,697
PAa	B	2	$\hat{Y} = 0,002X + 0,204$	0,226

Todos os coeficientes das regressões são significativos a 1% de probabilidade, pelo teste t.

QUADRO 6A - Equações de Regressão dos Valores de Al em Função das Concentrações de NaOH (X) (mmol/L) para Todos os Horizontes dos Solos Estudados nos Dois Métodos

Solo	Hor.	Mét.	Modelo	R ²
LEd	A	1	$\hat{Y} = 0,653X + 3,711$	0,516
LEd	A	2	$\hat{Y} = 1,392X + 6,438$	0,933
LEd	B	1	$\hat{Y} = 1,463X - 4,043$	0,984
LEd	B	2	$\hat{Y} = 1,768X + 10,221$	0,979
LVd	A	1	$\hat{Y} = 1,741X + 0,788$	0,979
LVd	A	2	$\hat{Y} = 2,278X + 1,860$	0,996
LVd	B	1	$\hat{Y} = 2,015X - 1,814$	0,983
LVd	B	2	$\hat{Y} = 2,675X + 4,720$	0,999
LAa	A	1	$\hat{Y} = 0,202X + 1,280$	0,726
LAa	A	2	$\hat{Y} = 0,236X + 4,728$	0,876
LAa	B	1	$\hat{Y} = 0,418X + 2,137$	0,898
LAa	B	2	$\hat{Y} = 0,567X + 3,833$	0,976
PAa	A	1	$\hat{Y} = 0,053^{\circ}X + 2,442$	0,516
PAa	A	2	$\hat{Y} = 0,111^{*}X + 2,695$	0,751
PAa	B	1	$\hat{Y} = 0,712X + 7,375$	0,930
PAa	B	2	$\hat{Y} = 0,696X + 0,638$	0,997

Todos os coeficientes das regressões são significativos a 1% de probabilidade, pelo teste t.

° = Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.

* = Não significativo.

QUADRO 7A - Equações de Regressão dos Valores de Na^+ em Função das Concentrações de NaOH (X) (mmol/L) para Todos os Horizontes dos Solos Estudados nos dois Métodos

Solo	Hor.	Mét.	Modelo	R^2
LEd	A	1	$\hat{Y} = 7,191X + 6,864$	0,990
LEd	A	2	$\hat{Y} = 8,423X - 6,848$	0,999
LEd	B	1	$\hat{Y} = 7,272X + 4,401$	0,994
LEd	B	2	$\hat{Y} = 9,862X - 13,858$	0,999
LVd	A	1	$\hat{Y} = 7,969X - 4,338$	0,999
LVd	A	2	$\hat{Y} = 9,724X - 10,111$	0,999
LVd	B	1	$\hat{Y} = 7,981X - 1,158$	0,999
LVd	B	2	$\hat{Y} = 10,022X - 14,266$	0,999
LAa	A	1	$\hat{Y} = 8,084X - 2,588$	0,996
LAa	A	2	$\hat{Y} = 9,333X - 5,399$	0,999
LAa	B	1	$\hat{Y} = 9,896X - 11,882$	0,996
LAa	B	2	$\hat{Y} = 8,633X - 3,977$	0,999
PAa	A	1	$\hat{Y} = 9,292X + 4,394$	0,999
PAa	A	2	$\hat{Y} = 8,183X + 1,858$	0,999
PAa	B	1	$\hat{Y} = 8,956X - 5,377$	0,999
PAa	B	2	$\hat{Y} = 9,734X - 10,982$	0,998

Todos os coeficientes das regressões são significativos a 1% de probabilidade, pelo teste t.

QUADRO 8A - Valores Médios de Quatro Repetições de Carbono Orgânico em Relação aos Tratamentos Estudados

Solo	Hor.	Mét.	Concentração de NaOH (mmol/L)						
			0	3	6	12	25	50	100
			----- mg / L -----						
LEd	A	1	4,4	44,4	91,1	144,4	174,4	217,8	664,4
LEd	A	2	23,4	87,9	46,9	85,9	257,8	216,8	164,1
LEd	B	1	6,6	59,5	62,8	92,5	102,4	105,7	102,4
LEd	B	2	0,0	60,5	42,3	66,5	84,7	121,0	90,7
LVd	A	1	18,4	67,6	129,1	166,0	202,9	190,6	2.975,4
LVd	A	2	82,6	158,9	254,2	292,4	222,4	203,4	311,4
LVd	B	1	18,6	55,8	80,6	86,8	105,4	93,0	86,8
LVd	B	2	0,0	0,0	0,0	93,8	131,2	137,5	118,8
LAa	A	1	0,0	26,5	36,2	43,0	66,2	49,7	46,4
LAa	A	2	0,0	72,0	60,0	78,0	72,0	84,0	90,0
LAa	B	1	6,2	12,4	28,0	49,8	52,9	56,0	59,1
LAa	B	2	0,0	12,7	50,8	19,1	21,0	38,1	44,5
PAa	A	1	34,6	63,5	80,8	75,0	75,0	75,0	92,3
PAa	A	2	3,0	57,0	69,0	72,0	84,0	156,0	78,0
PAa	B	1	17,3	28,8	34,6	34,6	28,8	34,6	40,4
PAa	B	2	3,2	32,0	22,4	51,3	32,0	109,0	44,9

C.V. = 316%.