

JAILSON CAVALCANTE CUNHA

**COMPARAÇÃO DE DISPERSANTES QUÍMICOS NA ANÁLISE
GRANULOMÉTRICA DE SOLOS DO ESTADO DE PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Solos e Nutrição de
Plantas, para obtenção do título de
Magister Scientiae.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2010

JAILSON CAVALCANTE CUNHA

**COMPARAÇÃO DE DISPERSANTES QUÍMICOS NA ANÁLISE
GRANULOMÉTRICA DE SOLOS DO ESTADO DE PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Solos e Nutrição de
Plantas, para obtenção do título de
Magister Scientiae.

APROVADA: 27 de julho de 2010.

Prof. Raphael Bragança A. Fernandes
(Co-orientador)

Prof. João Carlos Ker

Dr. João Herbert Moreira Viana

Prof. Liovando Marciano da Costa

Prof. Hugo Alberto Ruiz
(Orientador)

A toda minha família, em especial:

Ao meu Pai **José Maria Cunha**,
pelo exemplo de vida, apoio,
carinho, suporte, amor...

A minha irmã **Danielle C. Cunha**,
pela coragem, garra, dedicação,
apoio, carinho, amizade...

Dedico

AGRADECIMENTOS

O aprendizado, muitas vezes, é adquirido coletivamente. Sendo assim, fica registrado os meus mais sinceros agradecimentos:

A Deus por estar comigo sempre, me dando a força necessária para ir em busca das conquistas;

Ao Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal de Viçosa por abrir as portas;

Ao professor Hugo Alberto Ruiz pela orientação, pelos créditos depositados em mim para realização da pesquisa e pelo conhecimento transferido que de muita utilidade será durante toda minha carreira profissional;

Aos professores João Carlos Ker, Raphael Bragança A. Fernandes e Victor Hugo Alvarez V. (UFV) que sempre quando procurados foram extremamente solícitos, não hesitando em transmitir sabedoria;

A Maria Betânia Galvão dos S. Freire, professora da UFRPE, que sempre incentivou a continuar buscando conhecimentos, que foi suporte no início do curso me inserindo num ambiente familiar e muito agradável, que mesmo

distante pensou positivamente para que tudo desse certo para um dos seus discípulos;

A Seu Geraldo e família, D. Aparecida, Ione, Rui, Márcio que abriram as portas pra alguém que pouco conheciam e tornaram muitos domingos dele inesquecíveis;

A Patricia Ribeiro e Luiz Zanão pelo acolhimento na chegada a Viçosa;

A Adriana A. Moreira pelo apoio, incentivo e postura adotada na ocasião de uma importante tomada de decisão;

Aos funcionários responsáveis pelo laboratório de Física do Solo da UFV Cláudio e Seu Bené pela paciência e ajuda nas análises de solo;

A Juscimar pela contribuição na determinação de Cs^+ , sem esta não haveria dissertação;

A José Fernando Wanderley Fernandes de Lima (Zeca), engenheiro agrônomo da UFRPE, por toda ajuda na coleta das amostras de solo e fornecimento de dados;

A Márcio Fléquisson pela amizade e convívio durante boa parte do mestrado;

A Maria Eunice (Nicinha) cuja relação ao longo do curso tornou a amizade com laços familiares, irmãos;

A todas as amizades fortalecidas e construídas durante o mestrado, Carol Malala, Diogo Mendes, Janaína Galvão, Jandeilson Arruda, Joseane Bessa, Leonardo Sanguinetti, Luis Francisco, Luiz Guilherme, Nicinha, Ricardo Galvão, Sandra Araújo, Vitor e Wagner;

Aos amigos que mesmo longe apoiaram.

A todos agradeço de coração.

BIOGRAFIA

JAILSON CAVALCANTE CUNHA, filho de José Maria Cunha e Alaide Cavalcante Cunha, nasceu em Garanhuns, Pernambuco, em 11 de novembro de 1985.

Ingressou no curso de Agronomia na Universidade Federal Rural de Pernambuco em março de 2003, graduando-se no ano de 2008. No mesmo ano, iniciou o mestrado em Solos e Nutrição de Plantas na Universidade Federal de Viçosa sob a orientação do professor Hugo Alberto Ruiz.

CONTEÚDO

	Página
RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Dispersantes Químicos	3
2.2. Origem das Cargas Elétricas do Complexo de Troca	5
2.2.1. Cargas permanentes	6
2.2.2. Cargas variáveis	6
2.3. Determinação das Cargas Elétricas	7
2.4. Potencial Zeta	7

2.5. Dispersão vs Mineralogia	8
3. MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1. Seleção dos Solos	10
3.2. Caracterização dos Solos	12
3.3. Teste dos Dispersantes Químicos	14
3.4. Análises Estatísticas	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
4.1. Caracterização Química e Mineralógica dos Solos	18
4.2. Análise Granulométrica	26
5. CONCLUSÕES	50
6. LITERATURA CITADA	51
7. APÊNDICE	57

RESUMO

CUNHA, Jailson Cavalcante., M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2010. **Comparação de dispersantes químicos na análise granulométrica de solos do Estado de Pernambuco.** Orientador: Hugo Alberto Ruiz. Co-orientadores: Maria Betânia G. dos Santos Freire, Raphael Bragança Alves Fernandes e Victor Hugo Alvarez V.

Laboratórios de diferentes regiões do País e, em alguns casos, da mesma região, não utilizam procedimentos uniformes para a execução da análise granulométrica. Há diferenças quanto à dispersão química, à dispersão física e a quantificação das frações texturais. Para o dispersante químico, não há unanimidade na indicação do mais apropriado para realização da análise granulométrica. Soluções de hidróxido de sódio e de hexametáfosfato de sódio e carbonato de sódio são as mais utilizadas. Acredita-se que o elevado pH da solução de NaOH favorece a dispersão de solos com argilas de carga variável. Baseado nesta afirmativa objetivou-se testar a eficiência de soluções de NaOH, de $[(\text{NaPO}_3)_n + \text{Na}_2\text{CO}_3]$ e de $[(\text{NaPO}_3)_n + \text{NaOH}]$ como dispersantes químicos na análise granulométrica de dois horizontes de 26 solos de referência do Estado de Pernambuco. Os tratamentos corresponderam a um arranjo fatorial $26 \times 2 \times 3$ (26 solos representativos do Estado de Pernambuco, 2 horizontes e 3 dispersantes químicos {NaOH (D1), $[(\text{NaPO}_3)_n + \text{NaOH}]$ (D2) e $[(\text{NaPO}_3)_n + \text{Na}_2\text{CO}_3]$ (D3)}. Utilizou-se delineamento experimental em blocos casualizados

com quatro repetições. As análises granulométricas foram realizadas segundo a rotina do Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos da UFV. Na comparação dos dispersantes foi utilizado o teste L&O que consiste em uma regra decisória construída com base na estatística F, na avaliação do erro médio e na análise do coeficiente de correlação linear. O critério para considerar um dispersante mais efetivo foi a maior proporção de argila resultante da utilização dessa solução. Na comparação de $D2 = f(D1)$ e $D3 = f(D1)$ observou-se que não houve identidade entre os dispersantes. O intercepto encontrado na equação de regressão linear para a fração argila, significativo a 1 % e negativo, indica a obtenção de teores mais elevados de argila com D1. Houve igualdade na comparação de D2 com D3. Conclui-se assim que, considerando a maior proporção de argila na análise granulométrica, o NaOH foi o dispersante mais adequado na determinação da textura de dois horizontes de 26 perfis de solos do Estado de Pernambuco, representativos de 82 % da área total do Estado.

ABSTRACT

CUNHA, Jailson Cavalcante., M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2010. **Comparison of chemical dispersants for particle-size analysis of soils from Pernambuco, Brazil.** Advisor: Hugo Alberto Ruiz. Co-Advisors: Betânia G. dos Santos Freire, Raphael Bragança Alves Fernandes and Victor Hugo Alvarez V.

In laboratories in different regions of the country and in some cases, even in the same region, the procedures of particle size analysis are not standardized. There are differences in the chemical and physical dispersion techniques and in texture fraction quantification. There is no agreement on the most indicated chemical dispersant for particle-size analysis. Solutions of sodium hydroxide, sodium hexametaphosphate and sodium carbonate are the most commonly used. It is believed that the high pH of the NaOH solution favors the dispersion of variable-charge clay soils. Based on this statement the efficiency of NaOH, of $[(\text{NaPO}_3)_n + \text{Na}_2\text{CO}_3]$ and of $[(\text{NaPO}_3)_n + \text{NaOH}]$ solutions as chemical dispersants was tested in the particle-size analysis of two horizons of 26 reference soils of the state of Pernambuco. The treatments were arranged in a 26 x 2 x 3 factorial design (26 representative soils of Pernambuco, two horizons and three chemical dispersants {NaOH (D1), $[(\text{NaPO}_3)_n + \text{NaOH}]$ (D2) and $[(\text{NaPO}_3)_n + \text{Na}_2\text{CO}_3]$ (D3)}. A complete randomized block design was used with four replications. The dispersants were compared by the L&O test, which

consists of a decision rule based on the F statistics and analysis of the average error and the correlation coefficient. The efficiency of dispersants was interpreted based on the clay proportion; the higher the clay proportion, the more effective the solution. A comparison of $D2 = f(D1)$ and $D3 = f(D1)$ showed no agreement between the dispersants. The intercept in the linear regression equation for the clay fraction was significant at 1% and negative, with highest clay values when using D1, while D2 and D3 were statistically equal. It was concluded that, given the higher clay proportion in the particle size analysis, NaOH was the most suitable dispersant to determine the texture of two horizons with 26 soil profiles in Pernambuco, representative of 82% of the total area of the state.

1. INTRODUÇÃO

Historicamente, o primeiro sistema de classificação das frações texturais foi proposto por Atterberg em 1905, baseando-se em estudos com solos do sul da Suécia. Constatou que partículas menores que 0,02 mm de diâmetro, em suspensão, coagulavam na presença de sais, decantando-se com maior rapidez num prazo de 24 horas. Dessa forma estabeleceu que partículas de diâmetro igual a 0,02 mm corresponderiam ao limite superior da fração silte.

Atterberg sugeriu a separação dos constituintes inorgânicos do solo, de diâmetro inferior a 2 mm, em quatro frações: areia grossa (2-0,2 mm), areia fina (0,2-0,02 mm), silte (0,02-0,002 mm) e argila (<0,002 mm). Uma comissão da Sociedade Internacional da Ciência do Solo recomendou a utilização deste sistema no Congresso Internacional de Ciência do Solo, em Washington, DC, EUA, no ano de 1927. Porém, essa classificação não é universalmente utilizada. No Brasil, a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo fixou em 0,05 mm o limite inferior da areia fina e, conseqüentemente, limite superior da fração silte, mantendo os outros limites sugeridos por Atterberg.

A proporção dessas frações é determinada em laboratório e envolve pré-tratamentos, dispersão da amostra de solo (química e física) e separação e quantificação das frações texturais. Laboratórios de diferentes regiões do País e, em alguns casos, da mesma região, não utilizam procedimentos uniformes para a execução da análise granulométrica. Há diferenças quanto à dispersão

química, à dispersão física (mecânica) e a quantificação das frações texturais. Por exemplo, não há unanimidade quanto ao dispersante químico mais apropriado para realização da análise granulométrica. Os mais utilizados são soluções de hidróxido de sódio e de hexametáfosfato de sódio e carbonato de sódio.

Muito se tem discutido a necessidade de padronização de métodos de análises físicas do solo. Uniformizar procedimentos metodológicos é necessário para obtenção de resultados de qualidade e confiabilidade.

Considerando especificamente o dispersante químico, a solução de hidróxido de sódio é mais utilizada pelos laboratórios das Regiões Sul e Sudeste. Já na Região Nordeste, predomina o uso de solução de hexametáfosfato de sódio e carbonato de sódio.

Com respeito à dispersão química na análise granulométrica de solos da Região Nordeste consideram-se as seguintes hipóteses:

- O elevado pH da solução de NaOH favorece a dispersão de solos com argilas de carga variável;
- A solução de NaOH é mais efetiva que a solução de $[(\text{NaPO}_3)_n + \text{Na}_2\text{CO}_3]$ por apresentar pH mais elevado na suspensão;
- A solução de $[(\text{NaPO}_3)_n + \text{NaOH}]$ é mais efetiva que a solução de NaOH, na dispersão de solos com maior teor de Ca trocável, desde que a elevação da pressão osmótica da solução não provoque a floculação de argilas.

O objetivo deste trabalho foi testar a eficiência de soluções de NaOH, de $[(\text{NaPO}_3)_n + \text{Na}_2\text{CO}_3]$ e de $[(\text{NaPO}_3)_n + \text{NaOH}]$ como dispersantes químicos na análise granulométrica de amostras de dois horizontes de 26 solos de referência do estado de Pernambuco, de forma a indicar a solução mais adequada na determinação da textura desses solos, representativos de 82 % da área total do Estado.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A análise granulométrica do solo é realizada em quatro etapas: aplicação de pré-tratamentos para remoção de agentes cimentantes e flocculantes, dispersão química e física da amostra de solo, separação e quantificação das frações texturais.

A dispersão, tema desta proposta, consiste na desagregação da terra fina seca ao ar (TFSA), transformando-as em partículas individualizadas. Esse procedimento é realizado mediante a utilização de uma combinação de agentes químicos e desagregação mecânica.

2.1. Dispersantes Químicos

Com respeito aos dispersantes químicos, o pH do meio assume importância na dispersão das argilas, que é facilitada pela elevação do pH acima do estabelecido para o ponto de carga zero (PCZ). Nessas condições, eleva-se a proporção de cargas negativas dependentes do pH e, conseqüentemente, há incremento na repulsão entre as partículas. A presença de óxidos de ferro e alumínio, com PCZ elevados, leva o PCZ médio do solo a valores próximos de seu pH, o que dificulta a dispersão das partículas (Raij & Peech, 1972). A elevação do pH aumenta o número de cargas negativas dependentes do pH e, também, precipita o Al como $\text{Al}(\text{OH})_3$, diminuindo a pressão osmótica da solução, com conseqüente melhora na dispersão.

Como há necessidade de conseguir suspensões estáveis, eleva-se o potencial zeta, pela substituição dos cátions do complexo de troca por um cátion monovalente e de elevado raio iônico hidratado (Kirkham & Powers, 1972). Tal procedimento leva à expansão da dupla camada difusa. Portanto, quando o complexo de troca estiver saturado com sódio haverá condições favoráveis à dispersão. Contudo, concentrações elevadas na solução de equilíbrio levam à diminuição do potencial osmótico, podendo promover a compressão da dupla camada difusa e, conseqüentemente, a floculação.

Na dispersão, a seqüência $Li > Na > K > Rb > Cs$ indicaria a ordem decrescente de eficiência para amostras de solos (Baver et al., 1972). Porém, em pesquisa realizada com amostras dos horizontes A e B de oito Latossolos de Minas Gerais, Mauri et al. (2009) observaram que o hidróxido de sódio foi o dispersante mais efetivo comparado ao hidróxido de lítio. Essa resposta foi atribuída à formação de ligações covalentes, por parte do lítio (Cotton & Wilkinson, 1966), com o conseqüente bloqueio de cargas elétricas negativas do complexo de troca.

A escolha do dispersante dependerá dos cátions presentes no complexo de troca e da relação entre cargas fixas e cargas dependentes do pH nos minerais da fração argila. Em solos com elevados teores de Ca e Mg, que apresentam dificuldade na estabilização da suspensão, o hexametáfosfato de sódio é dispersante indicado. Esse sal fornece o Na necessário à dispersão e diminui a pressão osmótica da solução, por precipitação dos fosfatos dos cátions alcalino terrosos (Baver et al., 1972). Esse dispersante é normalmente usado na análise granulométrica de solos característicos de regiões temperadas.

Em solos de regiões tropicais e úmidas, o incremento de cargas negativas com a elevação do pH é fundamental para estabilizar a suspensão. Soluções de NaOH são frequentemente utilizadas em amostras desses solos (Vettori, 1969).

Procurando identificar a concentração de NaOH mais adequada para a dispersão de amostras de solos, Jucksch et al. (1995) testaram concentrações na faixa de 0,003 a 0,1 mol L⁻¹, em amostras de quatro classes de solos, dois gibbsíticos (Latossolo Vermelho distrófico e Latossolo Vermelho Amarelo distrófico) e dois caulíníticos (Latossolo Amarelo e Argissolo Amarelo). Os

autores concluíram que, para os solos estudados, a concentração de $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ foi a mais efetiva na dispersão da fração argila e na estabilidade da suspensão, o que confirma a eficiência dessa concentração, indicada para análises de rotina (Vettori, 1969).

Comparando diversos compostos de Na, Mauri et al. (2009) determinaram a efetividade na dispersão de Latossolos, chegando a esta sequência:

$\text{NaOH} > [(\text{NaPO}_3)_n + \text{NaOH}] > [\text{HCl} + \text{NaOH}] > [\text{NaClO} + \text{NaOH}] > (\text{NaPO}_3)_n > \text{NaClO}$
Segundo os autores, que utilizaram a maior proporção de argila para identificar a efetividade dos dispersantes, nenhum deles igualou-se ao NaOH.

Dentre os dispersantes alternativos, Mauri et al. (2009) destacaram a solução de $[(\text{NaPO}_3)_n + \text{NaOH}]$, com resultados próximos aos do dispersante de referência (NaOH), evidenciando a importância da elevação do pH até valores próximos de 12. A efetividade das outras soluções sódicas com pH elevado, $[\text{NaClO} + \text{NaOH}]$ e $[\text{HCl} + \text{NaOH}]$, foi reduzida pela elevação da pressão osmótica da solução, dificultando a dispersão da amostra de solo. Finalmente, $(\text{NaPO}_3)_n$ e NaClO foram os dispersantes menos efetivos, pelo menor pH das suas soluções.

2.2. Origem das Cargas Elétricas do Complexo de Troca

O estudo das cargas elétricas das argilas é de importância para o entendimento de diversos fenômenos físico-químicos que ocorrem nos solos, pois a maioria das reações eletroquímicas acontece na superfície dessas partículas (Fontes et al., 2001). Essa análise é de importância também na interpretação de resultados de dispersão de solos, em resposta à utilização de diferentes soluções sódicas na análise granulométrica.

As cargas elétricas nos colóides dos solos são divididas em estruturais ou permanentes e variáveis ou dependentes do pH. As primeiras, permanentes, desenvolvem-se na superfície da partícula do solo por substituição isomórfica. As variáveis, entanto, evidenciam-se por meio de dissociação e associação de prótons (H^+), protonação ou desprotonação, e adsorção específica de cátions e ânions (Stumm & Morgan, 1981).

2.2.1. Cargas permanentes

As cargas permanentes são originadas pelas substituições iônicas isomórficas nas estruturas minerais e se manifestam em qualquer pH do solo (Fontes et al., 2001). Essa carga é inerente ao mineral e pode também ser chamada de carga estrutural. As substituições iônicas isomórficas, também chamadas de substituições isomórficas, ocorrem nos minerais primários, na sua diferenciação magmática, e nos secundários na sua formação no solo ou pela herança de minerais primários.

A carga permanente pode ser negativa ou positiva. Contudo, em função das dimensões iônicas, a substituição se faz, normalmente, por um cátion de menor valência substituindo o de maior valência ($\text{Al}^{3+} \rightarrow \text{Si}^{4+}$, $\text{Mg}^{2+} \rightarrow \text{Al}^{3+}$, etc.), o que provoca déficit de cargas positivas na estrutura cristalina e leva à manifestação de cargas negativas na superfície do colóide (Gast, 1977).

O conhecimento da carga elétrica permanente, como componente de carga superficial das partículas do solo, é fundamental para o entendimento e previsão do destino dos elementos químicos no solo (Weber et. al., 2005). Os minerais de argila com estrutura do tipo 2:1 apresentam, predominantemente, carga permanente.

2.2.2. Cargas variáveis

As cargas variáveis, ou dependentes do pH, são aquelas originárias da adsorção de íons na superfície dos colóides do solo, sendo a carga líquida determinada pelo íon que é adsorvido em excesso. Íons capazes de interferir na carga ao serem adsorvidos são chamados íons determinantes de potencial, sendo H^+ e OH^- os principais presentes na solução do solo. Caulinita, goethita, hematita e gibbsita são os principais minerais do solo que apresentam essa característica (Fontes et al., 2001).

Essencial à formação e ao desenvolvimento de cargas no colóide com predomínio de carga variável é a possibilidade de hidroxilação da sua superfície. Na presença de água, os elementos Si, Al ou Fe, por exemplo, localizados na superfície de minerais como caulinita, goethita, hematita ou gibbsita, completam sua camada de coordenação com íons hidroxila, de modo que a superfície se torna hidroxilada (Stumm, 1992).

2.3. Determinação das Cargas Elétricas

Alguns métodos têm sido propostos para quantificar as cargas superficiais das partículas do solo, dentre eles: retenção iônica, titulação potenciométrica, técnicas eletrocinéticas, titulação salina e a técnica de adição mineral. Raij (1973), Espinosa et al. (1975), Gallez & Herbillon (1976), Gillman & Bell (1976) e Parker et al. (1979), utilizaram a titulação potenciométrica para determinação da carga superficial e o potencial de carga zero (PCZ) de diversos solos.

Mais recentemente foi apresentado um método que permite a medição da carga estrutural permanente (σ_o) e, ao mesmo tempo, a medição da densidade de carga protônica (σ_H) em conjunto com a adsorção de cátions e ânions (Anderson & Sposito, 1991). O método é baseado na utilização de uma solução de cloreto de céσιο e permite quantificar a carga estrutural permanente e a carga referente aos grupos funcionais hidroxila, através da troca iônica entre $Cs^+ \rightarrow Li^+$ e $Cs^+ \rightarrow NH_4^+$, respectivamente. O sucesso do método tem sido demonstrado por Chorover & Sposito (1995), Fontes & Sposito (1995), Peixoto et al. (1995) e Weber et al. (2005).

2.4. Potencial Zeta

Fenômenos de natureza eletrolítica influenciam a flocculação e dispersão da argila. Em um sistema coloidal, o potencial zeta pode ser definido como a diferença de potencial entre a camada imóvel de íons junto à superfície da fase dispersa (argila) e o meio solúvel. Valores elevados desse potencial favorecerão a dispersão de argilas. Esse potencial pode ser aumentado:

- Elevando-se o pH (aumentando a carga negativa da micela);
- Diminuindo-se a concentração de cátions ao redor da micela;
- Colocando-se íon Na^+ em substituição aos íons Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} (Jury et al., 1991).

As partículas coloidais com alto potencial zeta repelem-se mutuamente quando se aproximam em uma suspensão. Reduzindo-se o potencial a determinado grau, essas partículas atraem-se mutuamente, podendo haver a formação de flóculos. Essa flocculação é do tipo salina, sendo rápida quando a queda do potencial é feita com cátions bivalentes ou trivalentes (Jury et al., 1991).

O complexo coloidal dos solos de regiões de clima tropical, úmidas e subúmidas é geralmente dominado por alumínio (Al^{3+}), íon que favorece a floculação das partículas de solo. Em muitos solos de regiões áridas e semi-áridas, os íons Na^+ mostram-se com certa predominância no complexo de troca, o que resulta em maior dispersão dos colóides do solo. Os solos saturados com Na^+ apresentam como característica o fato de possuírem maior capacidade de hidratação, dureza e expansividade que os solos saturados com Ca^{2+} , por exemplo (Veloso, 1991).

2.5. Dispersão vs Mineralogia

Um dos aspectos que mais influencia os fenômenos físicos e químicos que ocorrem no solo é a composição mineralógica. A mineralogia das frações areia e silte é constituída, em geral, por minerais resistentes ao intemperismo, como quartzo, além de outros minerais primários em quantidades variáveis, como olivinas, anfibólios, piroxênios, feldspatos e micas (Fontes, 2002). Já a fração argila constitui-se, via de regra, por minerais de natureza secundária, resultantes de processos de alteração física, química e biológica, independentemente de terem sido formados *in situ* ou transportados (Allen & Hajek, 1989; Fontes, 2002).

Dentre os minerais não silicatados, os óxidos, hidróxidos e oxihidróxidos de Fe e Al, que por simplificação são genericamente chamados de óxidos, são minerais de natureza secundária de importância muito significativa para os solos de regiões tropicais em geral e dos solos brasileiros em particular. Em análises de solo, onde a dispersão das partículas é fundamental para obtenção acurada de resultados, esses minerais não silicatados têm forte influência na eficiência da dispersão. Atuando como agentes cimentantes, fazem com que a utilização de pré-tratamentos na análise granulométrica se torne necessária, removendo os óxidos através da utilização de solução de ácido clorídrico $0,05 \text{ mol L}^{-1}$, como preconiza Barreto (1986).

Além dos óxidos de Fe e Al presentes na fração argila, minerais silicatados como caulinitas são encontrados na maioria dos solos dos trópicos úmidos (Hughes & Brown, 1979). Trata-se do principal e quase que o único mineral representante dos silicatados que ocorrem em quantidades significativas nos Latossolos e Argissolos.

Considerando solos representativos de regiões áridas e semi-áridas, caracteristicamente, eles possuem mineralogia de natureza secundária rica em silício, formando estruturas laminares capazes de fornecer elevadas quantidades de cargas elétricas negativas. As substituições isomórficas são responsáveis pela geração dessa carga, onde a troca de um elemento de maior valência por outro de menor valência irá disponibilizar carga elétrica líquida negativa ao mineral. Minerais como montmorilonita e vermiculita são bons exemplos representativos desta classe (Vieira, 1988).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Seleção dos Solos

Amostras superficiais e subsuperficiais de perfis de solos de referência do Estado de Pernambuco, segundo classificação de equipe de pedólogos da Universidade Federal Rural de Pernambuco foram coletadas para o estudo. Essa equipe selecionou 35 perfis cujos solos apresentam, em conjunto, elevada heterogeneidade, representando a diversidade de solos do Estado, distribuídos nas mesorregiões Zona da Mata, Agreste e Sertão.

Os solos representativos do Estado de Pernambuco, segundo levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do estado realizado pela Embrapa Solos – UEP Recife (2000), abrangem a área de 98 938 km², que equivale a superfície do respectivo estado.

Para este estudo foram selecionados 26 perfis, que representam aproximadamente 81 070 km² e correspondem a 82 % da área total do Estado. A amostragem correspondeu a dois horizontes de cada perfil, sendo, preferencialmente, um superficial e outro subsuperficial. Para a escolha dos perfis determinou-se que o teor de areia, em pelo menos um dos horizontes, não poderia exceder 0,750 kg kg⁻¹, segundo dados preliminares dos levantamentos indicados. Considerou-se que os solos com maior teor de areia não apresentariam dificuldades de dispersão. Também foram descartados solos salinos, que exigiriam aplicação de pré-tratamento para eliminação de sais

solúveis, e solos orgânicos. Os perfis e horizontes selecionados são apresentados no quadro 1.

Quadro 1. Solos de referência do Estado de Pernambuco utilizados no estudo

Perfil ^{1/}	Classe de Solo	Litologia	Horizonte ^{2/}	
			Superficial	Subsuperficial
Zona da Mata^{3/}				
1	Argissolo Vermelho Amarelo	Gnaisse	A1	Bt1
2	Argissolo Amarelo	Grupo Barreiras	A	Bt1
4	Argissolo Vermelho Amarelo	Gnaisses e migmatitos	A	Bt1
5	Chernossolo Argilúvico	Gnaisse	Ap	Bt
6	Latossolo Amarelo	Material similar ao do Grupo Barreiras recobrimdo embasamento cristalino	A	Bw1
7	Nitossolo Vermelho	Rochas vulcânicas básicas	Ap	Bt1
8	Argissolo Vermelho	Gnaisse	Ap	Bt1
9	Plintossolo Argilúvico	Grupo Barreiras	Ap	2Bt
10	Argissolo Amarelo	Grupo Barreiras	Ap	Btx
12	Gleissolo Háptico	Sedimentos aluviais referidos ao Holoceno	Ap	A2
Agreste^{3/}				
14	Planossolo Háptico	Biotita-gnaisse leucocrático equigranular médio	A2	2Bt
15	Planossolo Háptico	Diorito equigranular grosso	Ap	2Bt
16	Argissolo Vermelho	Biotita-gnaisse leucocrático equigranular grosso	Ap	Bt1
18	Argissolo Amarelo	Biotita-muscovita-quartzito de grão médio a fino, com veios de quartzo	Ap	Bt
19	Planossolo Nátrico	Biotita-gnaisse bandado de grão médio com veios de quartzo	Ap	2Btn
20	Latossolo Vermelho Amarelo	Titanita-anfíbólio-biotita-granodiorito grosso com pórfiros de plagioclásio	A1	Bw1
21	Argissolo Vermelho Amarelo	Silimanita-biotita-muscovita-gnaisse leucocrático de grão médio	Ap	Bt
22	Argissolo Amarelo	Cobertura pouco espessa sobre rochas cristalinas	A	Btx
22a	Neossolo Litólico	Granito	A1	A2
Sertão^{3/}				
23	Argissolo Amarelo	Rochas do cristalino (Micaxisto)	A	Bt1
24	Planossolo Nátrico	Cobertura pouco espessa de material pedimentar do Terciário/Quaternário, sobre rochas do Pré-cambriano.	Btn1	Btn2
29	Luvissolo Crômico	Micaxistos e gnaisses do Pré-cambriano indiviso	A	2Bt
30	Latossolo Amarelo	Material do Pré-Cambriano indiviso, com recobrimento de material pedimentar referido ao Terciário/Quaternário	A	Bw1
31	Cambissolo Háptico	Granitos e sienitos	Ap	Bi1
32	Vertissolo Crômico	Folhelhos com intercalação de calcários, margas, siltitos e gibbsita	Ap	Biv
33	Argissolo Amarelo	Material do Pré-Cambriano com recobrimento pedimentar de material referido ao Terciário/Quaternário	A	Bt

^{1/}Numeração atribuída pela Universidade Federal Rural de Pernambuco aos solos de referência do estado. ^{2/}Exceto perfis 12 e 22a. ^{3/}Região de localização do perfil no estado.

3.2. Caracterização dos Solos

Após coleta, as amostras foram secadas ao ar, destorroadas e peneiradas em malha de 2,0 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA).

Na caracterização química foi determinado o pH em água e em solução 1 mol L⁻¹ de KCl (relação 1:2,5); o K e Na trocáveis extraídos com extrator Mehlich-1 e dosados por fotometria de chama; o Ca e Mg trocáveis extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ e dosados por espectrofotometria de absorção atômica; o Al trocável extraído com KCl 1 mol L⁻¹ e titulado com NaOH 0,25 mol L⁻¹; o (H + Al) extraídos com acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹, pH 7,0, e titulados com NaOH 0,25 mol L⁻¹ (EMBRAPA, 1997); e o carbono orgânico (Yeomans & Bremner, 1988).

Também foram determinadas as cargas permanentes e as cargas dependentes do pH nos materiais, adaptando o método proposto por Anderson & Sposito (1991), modificado por Weber et al. (2005), como segue:

- 3,5 g de amostra de solo (TFSA), acondicionada em tubos de centrífuga de policarbonato de 50 mL, receberam 24 g de solução 0,5 mol kg⁻¹ de CsCl. A suspensão foi agitada por 25 min em agitador horizontal, retirando-se a fração orgânica leve no sobrenadante. A seguir, centrifugou-se por 35 min com força centrífuga relativa de 1 710 g, descartando-se a solução sobrenadante;
- Esse procedimento foi repetido três vezes, porém com redução da concentração de CsCl a 0,1 mol kg⁻¹, em duas oportunidades, e a 0,05 mol kg⁻¹, na última;
- A pasta de solo remanescente foi homogeneizada, retirando-se, em seguida, duas subamostras de 0,5 g para determinar a umidade e auxiliar na determinação da massa da pasta do solo seco (M_{PSS});
- Após a secagem (105 °C), 0,35 g de M_{PSS}, de cada subamostra anterior, foram transferidas para tubos de centrífuga de 50 mL, previamente tarados, e suspensas em 3,5 g de solução 0,05 mol kg⁻¹ de CsCl, pH 7,0. As suspensões foram agitadas por 60 min, em agitador horizontal, e centrifugadas a 1 710 g por 15 minutos, descartando-se o sobrenadante;
- As amostras remanescentes foram lavadas com 30 g de etanol:água 95:5 dm³ dm⁻³. Nesse procedimento, foram agitadas durante 10 s em agitador de tubos tipo Vortex e imersos em banho ultrassônico por 5 min. O procedimento foi

repetido, finalizando com nova agitação em agitador de tubos tipo Vortex. As suspensões foram centrifugadas a 1 710 g por 30 min, descartando-se as soluções sobrenadantes. Repetiu-se a lavagem até que nenhum cloreto fosse detectado pelo teste com solução 0,01 mol kg⁻¹ de AgNO₃. Os tubos de centrífuga foram levados para estufa e secados a 65 °C por 48 horas.

- O propósito da lavagem com etanol e da secagem das amostras é reduzir a concentração de Cs entranhado e formar os complexos de esfera interna entre o Cs⁺ e as superfícies siloxanas.
- As amostras de solo assim preparadas receberam 30 g de solução 0,01 mol kg⁻¹ de LiCl, pH 7,0, foram agitadas por 30 min, em agitador horizontal, e centrifugadas a 1 710 g durante 40 min;
- As soluções sobrenadantes foram transferidas para recipientes plásticos, previamente tarados, registrando-se a massa dessa solução. Os tubos de centrífuga, com o solo remanescente e a solução entranhada, também foram pesados [M_(MPPS + MSE)], obtendo-se, por diferença, a massa da solução entranhada (M_{SE});
- A seguir, o Cs⁺ foi extraído dos sítios com carga estrutural, adicionando-se 30 g de solução 1,0 mol kg⁻¹ de acetato de amônio (NH₄OAc). A suspensão foi agitada por 30 min, em agitador horizontal, e centrifugada a 1710 g por 10 min. Essa extração foi repetida três vezes, juntando-se os sobrenadantes em recipiente plástico.
- As determinações de Cs⁺ nos extratos de LiCl e de NH₄OAc foram realizadas por ICP-OES, no comprimento de onda de 455,5 nm.
- A carga variável, σ_H (mol_c kg⁻¹ de solo), é determinada quantificando o Cs⁺ trocável liberado da superfície, após equilíbrio da amostra com LiCl:

$$\sigma_H = k_{Cs(LiCl)} \left(\frac{M_{LiCl \text{ adicionada}}}{M_{PPS}} \right) \quad (1)$$

em que $k_{Cs(LiCl)}$ é a concentração de Cs na solução sobrenadante de LiCl e $M_{(LiCl \text{ adicionada})}$, a massa da solução de LiCl adicionada (solução sobrenadante + solução entranhada).

- A carga permanente, σ₀ (mol_c kg⁻¹ de solo) é calculada como excesso de Cs⁺ retido, seguindo a troca de Li⁺ por Cs⁺ (Anderson & Sposito, 1991):

$$\sigma_0 = k_{Cs(NH_4OAc)} \left(\frac{M_{NH_4OAc \text{ adicionada}}}{M_{PPS}} \right) - k_{Cs(Li)} \times M_{LiCl(entrinhada)} \quad (2)$$

em que $k_{Cs(NH_4OAc)}$ é a concentração de Cs na solução sobrenadante de NH_4OAc ; $M_{(NH_4OAc \text{ adicionada})}$, a massa da solução de NH_4OAc adicionada e $M_{LiCl(entrinhada)}$, a massa de $LiCl$ entrinhada por unidade de massa do adsorvente seco.

- A carga total de superfície, σ_{TOTAL} ($mol_c \text{ kg}^{-1}$ de solo) é calculada pela soma de σ_0 e σ_H assim:

$$\sigma_{TOTAL} = \sigma_0 + \sigma_H \quad (3)$$

Em acréscimo, foi realizada a análise mineralógica, por difração de raios-X, da fração argila natural separada dos solos após realização da análise granulométrica.

3.3. Teste dos Dispersantes Químicos

Os tratamentos corresponderam a um arranjo fatorial $26 \times 2 \times 3$, sendo amostras dos 26 solos representativos do Estado de Pernambuco retiradas de dois horizontes (Quadro 1), e analisadas com uso de três dispersantes químicos $\{NaOH, [(NaPO_3)_n + NaOH]$ e $[(NaPO_3)_n + Na_2CO_3]\}$ (Quadro 2). A pressão osmótica (PO) das soluções dispersoras foi determinada utilizando-se microsmômetro modelo 5004 Precision Systems Inc. Utilizou-se delineamento experimental em blocos casualizados com quatro repetições.

As análises granulométricas foram realizadas segundo a rotina do Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos da UFV:

- Foram pesados aproximadamente 10 g de TFSA, com aproximação de 0,01 g, em garrafas plásticas de 500 mL;
- Seguidamente, acrescentou-se a solução concentrada de cada dispersante (Quadro 2) e água deionizada, até completar volume de 50 mL de solução;
- As unidades experimentais foram agitadas durante 16 h em agitador rotatório tipo Wagner, a 50 rpm (Ruiz, 2005a);
- Logo, passou-se a suspensão para proveta de 500 mL através de peneira de malha de 0,053 mm, promovendo a passagem do material (silte + argila) com jatos de água. Completou-se o volume da proveta até o aferimento, com o auxílio da pisseta;

Quadro 2. Concentração, pH e pressão osmótica (PO) das soluções dos dispersantes químicos

Dispersante	Concentração ^{1/}	pH ^{1/}	PO ^{1/}
	mol L ⁻¹		kPa
NaOH	0,01	11,8	29
(NaPO ₃) _n + NaOH	0,01 + 0,01	11,8	33
(NaPO ₃) _n + Na ₂ CO ₃	0,01 + 0,002	8,9	19

^{1/}Concentração, pH e pressão osmótica referem-se à solução final com volume igual a 500 mL.

- Agitou-se a suspensão durante 20 s com bastão e, imediatamente, coletou-se volume de 25 mL utilizando pipeta aferida. A suspensão (silte + argila) foi colocada em béquer de 50 mL, previamente tarado com aproximação de 0,0001 g, e secada a 100°C por 48 h. O béquer foi logo retirado, colocado em dessecador até entrar em equilíbrio com a temperatura ambiente e pesado com aproximação de 0,0001 g;
- Foi determinada a temperatura da suspensão remanescente (475 mL) e, por meio da Lei de Stokes, calculou-se o tempo necessário para a sedimentação do silte nos 5 cm superiores da proveta, considerando a densidade das partículas igual a 2,65 g cm⁻³ para todos os solos. A suspensão foi agitada durante 20 s com um bastão e deixada em repouso pelo tempo estabelecido;
- Decorrido o tempo calculado foi introduzida uma pipeta aferida de 25 mL, até a profundidade de 5 cm, e coletada a suspensão (argila). Essa suspensão foi transferida para béquer de 50 mL, previamente tarado com aproximação de 0,0001 g, e levada à estufa a 100 °C, durante 48 h. O béquer foi logo retirado, colocado em dessecador até atingir temperatura ambiente e pesado com aproximação de 0,0001 g;
- O material retido na peneira de malha de 0,053 mm (areia) foi passado, com auxílio de jato de água, através de peneira de malha de 0,210 mm, separando a areia grossa (2,00-0,210 mm) da areia fina (0,210-0,053 mm). Cada fração foi transferida para béquer previamente tarado com aproximação de 0,01 g, e levada à estufa a 100°C, durante 48 h. Assim que retirada, foi colocada em dessecador até alcançar temperatura ambiente e pesada com aproximação de 0,01 g;

- As proporções das frações texturais foram calculadas utilizando o procedimento apresentado por Ruiz (2005b).

3.4. Análises Estatísticas

Para comparar os três dispersantes em estudo, utilizou-se o procedimento proposto por Leite & Oliveira (2002). O teste, denominado L&O, consiste em uma regra decisória construída com base na estatística F proposta por Graybill (1976), na avaliação do erro médio e na análise do coeficiente de correlação linear. Conforme os autores, Y_j e Y_1 são dois vetores de dados quantitativos, em que j indica um método, procedimento ou tratamento alternativo e 1 o tratamento-padrão. Segundo os autores, dois métodos são considerados estatisticamente iguais se, simultaneamente, após o ajuste da regressão linear, $Y_j = \beta_0 + \beta_1 Y_1 + \varepsilon$, β_0 for igual a zero e β_1 for igual a 1, estando o valor de $R_{Y_j Y_1}$ próximo a 1.

Na comparação, quando o coeficiente de correlação é elevado, ou seja, próximo de 1, um método alternativo pode ser adotado. Entretanto, o que acontece muitas vezes é um elevado coeficiente de correlação entre os métodos, porém um intercepto e inclinação muito diferente de 0 (zero) e 1 (um), respectivamente. Neste caso, alguns autores têm utilizado a estatística t para testar β_0 e β_1 .

Um problema da estatística t é que ela testará se $\beta_0 \neq 0$ ou se $\beta_1 \neq 1$, ou seja, o procedimento não testa se $\beta_0 = 0$ ao mesmo tempo que $\beta_1 = 1$. Para resolver esse problema, a estatística F modificada por Graybill (1976) testa simultaneamente se $\beta_0 = 0$ ao mesmo tempo em que $\beta_1 = 1$ através da hipótese $H_0: \beta' = [0 \ 1]$.

Então, se $F(H_0)$ for menor que o F tabelado com $n-2$ graus de liberdade ao nível α de significância, a hipótese H_0 não é rejeitada e o intercepto é considerado igual a zero e a declividade igual a um.

Além do teste F, é importante avaliar a precisão do método alternativo em relação ao método padrão, por meio da quantificação do erro médio. Querendo observar se o erro é significativo, se faz o uso da estatística t. Neste caso, o t calculado (t do erro médio) sendo menor que o t tabelado para $n-1$ graus de liberdade, aceita-se a hipótese H_0 de que o erro médio é igual a 0.

Sendo assim, deve ter-se um coeficiente de correlação alto (próximo de 1), o $F(H_0)$ tem que ser não significativo assim como o erro médio. Porém, ocorre um viés em todo esse processo, no qual o coeficiente de correlação, mesmo que seu valor seja elevado é muito relativo, pois existe a possibilidade de ocorrer elevada dispersão de Y_j em relação a Y_1 , o que se faz necessário compará-lo à expressão: $1-|\bar{\epsilon}|$.

A partir daí, pode-se tomar a regra de decisão (Quadro 3) para comparação de métodos analíticos. Pelo procedimento estatístico, podem ocorrer oito situações, mas em apenas uma delas um método alternativo é considerado igual ao método padrão, caso da situação 1, onde $F(H_0)$ e $t_{\bar{\epsilon}}$ são não significativos e o $R_{Y_j Y_1} \geq (1-|\bar{\epsilon}|)$.

Quadro 3. Regra de decisão do teste L&O para comparação de métodos analíticos

Situação	$F(H_0)$	$t_{(\bar{\epsilon})}$	$R_{Y_j Y_1}$	Decisão
1	ns	ns	$R_{Y_j Y_1} \geq (1- \bar{\epsilon})$	$Y_j = Y_1$
2	ns	ns	$R_{Y_j Y_1} \leq (1- \bar{\epsilon})$	$Y_j \neq Y_1$
3	ns	*	$R_{Y_j Y_1} \geq (1- \bar{\epsilon})$	$Y_j \neq Y_1$
4	ns	*	$R_{Y_j Y_1} \leq (1- \bar{\epsilon})$	$Y_j \neq Y_1$
5	*	ns	$R_{Y_j Y_1} \geq (1- \bar{\epsilon})$	$Y_j \neq Y_1$
6	*	ns	$R_{Y_j Y_1} \leq (1- \bar{\epsilon})$	$Y_j \neq Y_1$
7	*	*	$R_{Y_j Y_1} \geq (1- \bar{\epsilon})$	$Y_j \neq Y_1$
8	*	*	$R_{Y_j Y_1} \leq (1- \bar{\epsilon})$	$Y_j \neq Y_1$

ns e *: não significativo e significativo ao nível α de probabilidade, respectivamente.
 Fonte: Leite & Oliveira.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização Química e Mineralógica dos Solos

Os teores de carbono orgânico no solo são controlados por diversos fatores, incluindo: textura, vegetação, clima, entre outros. Essencialmente, o clima é um dos fatores que controla os teores de carbono nos solos do Estado de Pernambuco, sendo a mesorregião Zona da Mata (Quadro 4), maior pluviosidade conseqüentemente menor disponibilidade de oxigênio para decomposição da matéria orgânica, mais favorecida quanto ao estabelecimento de matéria orgânica nos solos, considerando os dois horizontes estudados.

Os solos da Zona da Mata destacam-se também por apresentarem, no geral, os menores valores de pH tanto em água quanto em KCl nos horizontes analisados (Quadro 4). A lixiviação das bases trocáveis favorecida pela pluviosidade mais elevada na região durante boa parte do ano contribui para maior acidez nesses solos. O menor valor de pH em água para o horizonte superficial foi de 4,16 (perfil 8) e de 4,34 para o horizonte subsuperficial (perfis 1 e 30). Para os horizontes superficiais e subsuperficiais, os menores valores pH em KCl foram 3,52 (perfil 4) e 3,79 (perfil 32), respectivamente.

Em todas as amostras dos solos e horizontes, independentemente da região do Estado de Pernambuco amostrada, há predomínio de carga elétrica negativa indicada pelo valor negativo do ΔpH (Quadro 4).

Quadro 4. Valores de pH (H₂O e KCl), ΔpH e carbono orgânico (CO) nos horizontes superficiais e subsuperficiais

Perfil ^{1/}	Classe de Solo	Horizonte superficial ^{2/}				Horizonte subsuperficial ^{2/}			
		pH		ΔpH	CO	pH		ΔpH	CO
		H ₂ O	KCl			H ₂ O	KCl		
					dag kg ⁻¹				dag kg ⁻¹
		Zona da Mata^{3/}							
1	Argissolo Vermelho Amarelo	4,72	3,86	-0,86	3,75	4,34	3,80	-0,54	1,13
2	Argissolo Amarelo	4,80	3,96	-0,84	1,57	4,67	3,97	-0,70	0,67
4	Argissolo Vermelho Amarelo	4,51	3,52	-0,99	3,29	4,36	3,87	-0,49	0,75
5	Chernossolo Argilúvico	5,65	4,75	-0,90	2,25	6,12	4,40	-1,72	0,74
6	Latossolo Amarelo	4,38	4,13	-0,25	2,67	4,53	4,10	-0,43	0,67
7	Nitossolo Vermelho	5,02	4,34	-0,68	2,30	5,03	4,96	-0,07	1,19
8	Argissolo Vermelho	4,16	3,74	-0,42	1,48	4,98	4,21	-0,77	0,45
9	Plintossolo Argilúvico	5,69	4,61	-1,08	1,04	4,83	3,94	-0,89	0,59
10	Argissolo Amarelo	5,16	4,38	-0,78	1,11	4,75	4,26	-0,49	0,37
12	Gleissolo Háplico	5,80	4,78	-1,02	2,45	5,79	4,39	-1,40	0,96
		Agreste^{3/}							
14	Planossolo Háplico	4,72	3,97	-0,75	0,59	5,70	4,47	-1,23	0,22
15	Planossolo Háplico	5,92	4,97	-0,95	1,26	7,30	5,48	-1,82	0,30
16	Argissolo Vermelho	5,02	4,18	-0,84	0,74	4,53	4,16	-0,37	0,37
18	Argissolo Amarelo	6,53	5,93	-0,60	0,52	4,98	4,02	-0,96	0,52
19	Planossolo Nátrico	6,56	5,42	-1,14	0,67	6,57	4,64	-1,93	0,37
20	Latossolo Vermelho Amarelo	5,02	4,00	-1,02	2,97	4,27	4,06	-0,21	0,82
21	Argissolo Vermelho Amarelo	6,62	6,43	-0,19	0,45	4,75	3,86	-0,89	0,22
22	Argissolo Amarelo	4,36	3,55	-0,81	2,00	4,69	4,24	-0,45	0,37
22a	Neossolo Litólico	7,19	6,70	-0,49	2,04	7,38	6,46	-0,92	0,74
		Sertão^{3/}							
23	Argissolo Amarelo	6,33	5,61	-0,72	0,89	5,12	4,01	-1,11	0,59
24	Planossolo Nátrico	5,85	4,85	-1,00	0,45	7,74	6,35	-1,39	0,15
29	Luvissolo Crômico	6,88	5,75	-1,13	0,45	6,49	4,42	-2,07	0,59
30	Latossolo Amarelo	4,70	3,88	-0,82	0,82	4,34	3,87	-0,47	0,30
31	Cambissolo Háplico	5,98	5,39	-0,59	1,19	5,97	5,09	-0,88	0,74
32	Vertissolo Crômico	5,63	4,88	-0,75	1,11	5,54	3,79	-1,75	0,30
33	Argissolo Amarelo	6,24	5,22	-1,02	0,74	5,40	4,72	-0,68	0,37

^{1/}Numeração atribuída pela Universidade Federal Rural de Pernambuco aos solos de referência do estado. ^{2/}Exceto perfis 12 e 22a. ^{3/}Região de localização do perfil no estado.

Nos quadros 5 e 6 são apresentados os teores dos cátions trocáveis e da acidez potencial nos horizontes analisados.

Quadro 5. Bases trocáveis, Al³⁺ e acidez potencial nas amostras dos horizontes superficiais dos solos analisados

Perfil ^{1/}	Classe de Solo	Horizonte superficial ^{2/}					
		K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al
		cmol _c dm ⁻³					
Zona da Mata^{3/}							
1	Argissolo Vermelho Amarelo	0,28	0,14	1,88	1,47	0,69	11,50
2	Argissolo Amarelo	0,08	0,06	0,63	0,34	0,69	6,70
4	Argissolo Vermelho Amarelo	0,13	0,21	0,05	0,44	1,69	11,30
5	Chernossolo Argilúvico	0,15	0,14	8,91	2,92	0,00	5,10
6	Latossolo Amarelo	0,29	0,08	3,18	1,60	0,40	8,20
7	Nitossolo Vermelho	0,31	0,11	2,06	1,31	0,10	6,70
8	Argissolo Vermelho	0,24	0,08	1,51	0,56	1,19	7,90
9	Plintossolo Argilúvico	0,18	0,04	1,18	0,58	1,19	2,80
10	Argissolo Amarelo	0,10	0,03	1,62	0,64	0,69	4,30
12	Gleissolo Háplico	0,19	0,20	7,73	5,27	0,00	5,10
Agreste^{3/}							
14	Planossolo Háplico	0,23	0,13	0,69	0,59	0,40	3,90
15	Planossolo Háplico	0,40	0,10	3,12	3,68	0,00	2,30
16	Argissolo Vermelho	0,35	0,09	0,63	0,51	0,20	2,30
18	Argissolo Amarelo	0,47	0,00	1,19	0,68	0,00	0,70
19	Planossolo Nátrico	0,12	0,34	4,00	1,56	0,00	1,00
20	Latossolo Vermelho Amarelo	0,10	0,05	0,23	0,33	1,19	10,30
21	Argissolo Vermelho Amarelo	0,20	0,01	1,33	0,70	0,00	0,70
22	Argissolo Amarelo	0,06	0,03	0,87	0,65	1,39	9,20
22a	Neossolo Litólico	0,49	0,05	4,44	1,99	0,00	0,70
Sertão^{3/}							
23	Argissolo Amarelo	0,38	0,01	1,88	0,84	0,00	1,30
24	Planossolo Nátrico	0,01	2,55	3,77	2,56	0,00	1,80
29	Luvissolo Crômico	0,41	0,06	3,81	1,37	0,00	1,00
30	Latossolo Amarelo	0,19	0,00	0,60	0,26	0,50	3,90
31	Cambissolo Háplico	0,51	0,00	3,22	1,39	0,00	2,30
32	Vertissolo Crômico	0,25	0,02	10,35	3,74	0,00	3,30
33	Argissolo Amarelo	0,35	0,02	1,46	0,66	0,00	1,50

^{1/}Numeração atribuída pela Universidade Federal Rural de Pernambuco aos solos de referência do estado.

^{2/}Exceto perfil 22a. ^{3/}Região de localização do perfil no estado.

Quadro 6. Bases trocáveis, Al³⁺ e acidez potencial nas amostras dos horizontes subsuperficiais dos solos analisados

Perfil ^{1/}	Classe de Solo	Horizonte subsuperficial ^{2/}					
		K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al
		cmol _c dm ⁻³					
Zona da Mata^{3/}							
1	Argissolo Vermelho Amarelo	0,02	0,09	0,12	0,52	1,89	8,70
2	Argissolo Amarelo	0,04	0,07	0,24	0,15	0,69	3,40
4	Argissolo Vermelho Amarelo	0,02	0,09	0,00	0,08	1,09	4,10
5	Chernossolo Argilúvico	0,08	0,11	12,87	4,75	0,00	3,30
6	Latossolo Amarelo	0,02	0,00	0,15	0,09	0,89	3,80
7	Nitossolo Vermelho	0,07	0,66	1,80	1,15	0,00	3,60
8	Argissolo Vermelho	0,11	0,10	1,74	0,42	0,10	3,30
9	Plintossolo Argilúvico	0,07	0,08	0,36	0,45	1,29	3,90
10	Argissolo Amarelo	0,02	0,05	1,43	0,47	0,10	1,60
12	Gleissolo Háplico	0,06	0,28	5,51	5,44	0,10	3,60
Agreste^{3/}							
14	Planossolo Háplico	0,20	0,48	0,30	1,34	0,00	0,70
15	Planossolo Háplico	0,06	0,08	7,41	10,60	0,00	0,70
16	Argissolo Vermelho	0,42	0,09	0,57	0,37	0,20	2,30
18	Argissolo Amarelo	0,46	0,18	1,39	1,80	0,30	2,30
19	Planossolo Nátrico	0,05	1,42	3,57	4,85	0,00	1,30
20	Latossolo Vermelho Amarelo	0,00	0,01	0,00	0,03	1,39	5,20
21	Argissolo Vermelho Amarelo	0,16	0,01	0,15	1,52	0,40	2,00
22	Argissolo Amarelo	0,00	0,03	0,00	0,53	0,89	3,10
22a	Neossolo Litólico	0,21	0,10	3,45	3,88	0,00	0,70
Sertão^{3/}							
23	Argissolo Amarelo	0,27	0,03	1,82	1,05	0,20	2,10
24	Planossolo Nátrico	0,04	2,88	2,73	1,91	0,00	0,70
29	Luvissolo Crômico	0,15	0,10	3,54	3,17	0,00	1,60
30	Latossolo Amarelo	0,08	0,00	0,00	0,09	1,29	2,60
31	Cambissolo Háplico	0,16	0,01	2,45	1,05	0,00	2,90
32	Vertissolo Crômico	0,15	0,71	13,64	10,22	0,10	3,10
33	Argissolo Amarelo	0,23	0,02	0,46	0,55	1,09	2,90

^{1/}Numeração atribuída pela Universidade Federal Rural de Pernambuco aos solos de referência do estado.

^{2/}Exceto perfil 12. ^{3/}Região de localização do perfil no estado.

A proporção de cálcio e magnésio em relação às bases trocáveis é bastante elevada na maioria dos solos. No horizonte superficial do Vertissolo Crômico (Perfil 32, Quadro 5), por exemplo, 98,10 % da soma de bases

correspondem aos elementos Ca^{2+} e Mg^{2+} , principalmente ao primeiro. A presença elevada de cálcio leva ao incremento da floculação já que esse cátion, por ser divalente e caracteristicamente possuir maior força de ligação eletrostática, atua como agente floculante em solos típicos de regiões semi-áridas.

O Vertissolo Crômico (Perfil 32) e o Argissolo Vermelho Amarelo (Perfil 4) possuem o maior ($10,35 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e o menor ($0,05 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) teor de Ca^{2+} no horizonte superficial, respectivamente (Quadro 5). Os teores de Mg^{2+} nas amostras dos horizontes superficiais ficaram entre $0,26$ e $5,26 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Os teores máximo e mínimo de Ca^{2+} nos horizontes subsuperficiais dos perfis foram $13,64$ e $0,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de solo, respectivamente, o primeiro representativo da mesorregião Sertão e o segundo da Zona da Mata (Quadro 6). Ainda no quadro 6, os teores máximo e mínimo de Mg^{2+} encontrados foram de $10,60 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de solo no perfil 15 e $0,03 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de solo no perfil 20, ambos localizados no agreste do Estado de Pernambuco.

Os teores de K^+ e Na^+ nos horizontes superficiais de todos os perfis foram inferiores a $1,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, com exceção do perfil 24 (Planossolo Nátrico), cujo teor de sódio foi de $2,55 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de solo (Quadro 5). O mesmo perfil apresentou teor de Na^+ no horizonte subsuperficial igual a $2,88 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Quadro 6). Juntamente com o perfil 19, outro Planossolo Nátrico, foram os únicos a apresentar teores de sódio superiores a $1,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no horizonte subsuperficial (Quadro 6).

Em 50 % das amostras de solo dos horizontes apresentados no quadro 5 há presença de alumínio trocável, principalmente naqueles mais intemperizados, como é o caso do perfil 30, Latossolo Amarelo, único perfil representativo do sertão a possuir Al^{3+} no horizonte superficial. Dos perfis onde há presença de Al^{3+} nas amostras do horizonte superficial, os teores extremos são $0,10$ e $1,69 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Já para o horizonte subsuperficial dos perfis, nove deles não apresentaram Al^{3+} pelo método de análise utilizado. O maior teor foi registrado no Argissolo Vermelho Amarelo, perfil 1 localizado na Zona da Mata do Estado. O mesmo perfil apresentou maior acidez potencial nos horizontes superficiais e subsuperficiais (Quadros 5 e 6) indicando maior reposição de íons H^+ nas formas trocáveis e não trocáveis na solução. Esses dois

horizontes são responsáveis também pela maior acidez dependente do incremento do pH, mostrada pela diferença entre Al^{3+} e H+Al .

No quadro 7 são apresentados os valores da capacidade de troca catiônica permanente (CTCP), variável (CTCV), total (CTCT = CTCP + CTCV) e da relação CTCV/CTCT (V/T), indicativa da proporção de carga dependente do pH no horizonte diagnóstico dos solos estudados. É possível observar que, em cinco solos, V/T foi igual ou superior a 0,50, o que corresponde a aproximadamente 24 % dos horizontes diagnósticos estudados. O mínimo valor de V/T foi de 0,18, indicando que a totalidade dos horizontes diagnósticos analisados apresentaram CTC originada de material com carga dependente do pH. Considerando a totalidade dos perfis analisados, a relação média de V/T foi de 0,39. É importante ressaltar que para determinação da capacidade de troca de cátions não houve remoção da matéria orgânica dos solos, não se podendo diferenciar, desta forma, a quantidade contributiva da matéria orgânica e dos minerais de argila com carga dependente do pH para a CTCV.

Bortoluzzi et al. (2006) estimaram a capacidade de troca de cátions e a contribuição das cargas permanentes e dependentes do pH e suas respectivas importâncias na CTC de solos da região sul do Brasil em função do pH, do teor de argila e do conteúdo de carbono orgânico nos solos. Os autores observaram que a contribuição do carbono orgânico para as cargas negativas foi de 14,1 a 59,2 % da CTC a pH 7,0, corroborando a menção de que a contribuição da matéria orgânica para a CTC de solos característicos de regiões tropicais e úmidas, em comparação com a contribuição dos colóides minerais, pode variar de 20 a 90 % da CTC total (Silva & Mendonça, 2007).

A CTCP variou de $1,93 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de solo no horizonte Bw1 do Latossolo Amarelo localizado no Sertão (Perfil 30, Quadro 7) a $15,84 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ no horizonte 2Bt do Planossolo Háplico (Perfil 15, Quadro 7). O horizonte 2Bt do perfil 14, também classificado como Planossolo Háplico, apresentou menores valores de CTC comparado ao perfil 15, resultado condizente com os teores totais das bases trocáveis nos horizontes em questão. Como preconizado por Anderson & Sposito (1992), os cátions trocáveis estão em igualdade estequiométrica às cargas elétricas permanentes e variáveis dos constituintes orgânicos e minerais do solo, sendo regidos pelos fenômenos de adsorção. O

menor valor de CTCV entre os horizontes subsuperficiais foi de 1,01 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ no perfil 14; e o maior foi 7,48 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ no Gleissolo Háplico (Quadro 7).

Quadro 7. Capacidades de troca catiônica permanente (CTCP), variável (CTCV), total (CTCT) e relação CTCV/CTCT (V/T) nas amostras dos horizontes subsuperficiais (HSub)

Perfil ^{1/}	Classe de Solo	HSub	cmol _c kg ⁻¹			V/T
			CTCP	CTCV	CTCT	
Zona da Mata^{2/}						
1	Argissolo Vermelho Amarelo	Bt1	6,56	2,89	9,44	0,31
2	Argissolo Amarelo	Bt1	5,44	1,61	7,05	0,23
4	Argissolo Vermelho Amarelo	Bt1	3,57	2,32	5,89	0,39
5	Chernossolo Argilúvico	Bt	9,76	5,62	15,38	0,37
6	Latossolo Amarelo	Bw1	2,48	2,52	5,00	0,50
7	Nitossolo Vermelho	Bt1	5,07	4,56	9,63	0,47
8	Argissolo Vermelho	Bt1	3,17	2,99	6,15	0,49
9	Plintossolo Argilúvico	2Bt	3,23	1,73	4,96	0,35
10	Argissolo Amarelo	Btx	2,98	2,00	4,98	0,40
12	Gleissolo Háplico	A2	9,49	7,48	16,97	0,44
Agreste^{2/}						
14	Planossolo Háplico	2Bt	2,89	1,01	3,90	0,26
15	Planossolo Háplico	2Bt	15,84	3,42	19,26	0,18
16	Argissolo Vermelho	Bt1	2,50	1,79	4,29	0,42
18	Argissolo Amarelo	Bt	2,79	2,11	4,89	0,43
19	Planossolo Nátrico	2Btn	5,46	3,80	9,26	0,41
20	Latossolo Vermelho Amarelo	Bw1	2,75	2,34	5,09	0,46
21	Argissolo Vermelho Amarelo	Bt	2,70	1,59	4,29	0,37
22	Argissolo Amarelo	Btx	2,54	1,85	4,39	0,42
22a	Neossolo Litólico	A2	2,28	2,69	4,97	0,54
Sertão^{2/}						
23	Argissolo Amarelo	Bt1	2,67	1,61	4,27	0,38
24	Planossolo Nátrico	Btn2	3,76	2,57	6,33	0,41
29	Luvissolo Crômico	2Bt	2,44	2,57	5,01	0,51
30	Latossolo Amarelo	Bw1	1,93	1,17	3,10	0,38
31	Cambissolo Háplico	Bi1	2,03	3,03	5,06	0,60
32	Vertissolo Crômico	Biv	3,88	5,36	9,24	0,58
33	Argissolo Amarelo	Bt	2,66	1,08	3,74	0,29

^{1/}Numeração atribuída pela Universidade Federal Rural de Pernambuco aos solos de referência do estado. ^{2/}Região de localização do perfil no Estado de Pernambuco.

Alves (2002) obteve elevadas correlações em estudo comparativo de três métodos de determinação da CTC, aos quais corresponderam à soma dos teores de bases e alumínio trocáveis, adsorção de bário e método da adsorção de céσιο. Observou que os valores obtidos, em geral, foram similares. Os métodos que empregaram cátions índices como o método da adsorção de céσιο e o da adsorção de bário, mostraram concentração de dados mais próxima da linha de igualdade (declividade da reta igual a 1). Comparando os dados da proporção de CTCV/CTCT deste trabalho (Quadro 7) com os de Alves (2002) para solos paulistas de mesma classe, obtiveram-se valores de 0,47 e 0,46, respectivamente, para o Nitossolo Vermelho e de 0,42 e 0,41, respectivamente, para o Argissolo Vermelho.

O predomínio de CTCP nos horizontes subsuperficiais dos perfis 1, 2 e 4 (Quadro 7), mesmo a mineralogia destes apresentando predomínio de caulinita na fração argila (Quadro 8), pode ser explicado pela possibilidade do método da determinação da CTC pela adsorção do íon Cs^+ registrar as cargas disponíveis nos minerais de argila 2:1 eventualmente presentes e não detectados pela difração de raios-X pela sua reduzida proporção na fração argila.

O método da adsorção de Cs^+ , apesar de ainda pouco estudado em solos brasileiros, mostra-se uma excelente linha de pesquisa para a ciência do solo, pois mesmo detectando cargas elétricas originadas de minerais 2:1 não detectáveis em difratogramas de raios-X, seria de importância em estudos de solos com mineralogia distinta e, também, para observar a contribuição dos constituintes orgânicos e inorgânicos para a carga elétrica líquida do solo.

Na mineralogia da fração argila dos horizontes subsuperficiais dos solos em questão (Quadro 8), observou-se a presença de quartzo nos perfis 12 (Zona da Mata), 16, 18 e 21 (Agreste) e 32 (Sertão). Minerais silicatados de argila estruturalmente compostos por duas lâminas tetraedrais de silício e uma octaedral de alumínio (2:1) foram encontrados na maioria dos horizontes diagnósticos dos perfis estudados. Óxidos de ferro, goethita principalmente, foram encontrados nos horizontes subsuperficiais dos perfis 6, 7, 9, 18, 21, 22, 23, 30 e 33 (Quadro 8).

Quadro 8. Principais minerais de argila identificados por difração de raios X nos horizontes subsuperficiais (HSub) avaliados

Perfil ^{1/}	Classe de Solo	HSub ^{2/}	Minerais
1	Argissolo Vermelho Amarelo	Bt1	Caulinita
2	Argissolo Amarelo	Bt1	Caulinita
4	Argissolo Vermelho Amarelo	Bt1	Caulinita
5	Chernossolo Argilúvico	Bt	Caulinita, Ilita
6	Latossolo Amarelo	Bw1	Caulinita, Goethita
7	Nitossolo Vermelho	Bt1	Caulinita, Goethita, Hematita
8	Argissolo Vermelho	Bt1	Caulinita
9	Plintossolo Argilúvico	2Bt	Caulinita, Ilita
10	Argissolo Amarelo	Btx	Caulinita, Goethita
12	Gleissolo Háptico	A2	Caulinita, Quartzo
14	Planossolo Háptico	2Bt	Caulinita, Ilita
15	Planossolo Háptico	2Bt	Caulinita, Esmeclita
16	Argissolo Vermelho	Bt1	Caulinita, Quartzo
18	Argissolo Amarelo	Bt	Caulinita, Goethita, Quartzo
19	Planossolo Nátrico	2Btn	Caulinita, Ilita
20	Latossolo Vermelho Amarelo	Bw1	Caulinita, Gibbsita
21	Argissolo Vermelho Amarelo	Bt	Caulinita, Ilita, Quartzo
22	Argissolo Amarelo	Btx	Caulinita, Goethita
22a	Neossolo Litólico	A2	Caulinita, Ilita
23	Argissolo Amarelo	Bt1	Caulinita, Goethita, Ilita
24	Planossolo Nátrico	Btn2	Caulinita, Esmeclita
29	Luvissolo Crômico	2Bt	Caulinita, Ilita
30	Latossolo Amarelo	Bw1	Caulinita, Goethita, Ilita
31	Cambissolo Háptico	Bi1	Caulinita, Ilita
32	Vertissolo Crômico	Biv	Caulinita, Ilita, Quartzo
33	Argissolo Amarelo	Bt	Caulinita, Goethita, Ilita

^{1/}Numeração atribuída pela Universidade Federal Rural de Pernambuco aos solos de referência do estado. ^{2/}Exceto perfis 12 e 22a.

4.2. Análise Granulométrica

Os valores médios das frações texturais das 52 amostras dos solos e horizontes analisados são apresentados nos quadros 9, 10, 11 e 12. No texto, os dispersantes químicos receberão as denominações D1, para NaOH; D2, para [(NaPO₃)_n + NaOH]; e D3, para [(NaPO₃)_n + Na₂CO₃]. Numa primeira aproximação e tomando como critério o maior valor médio na proporção de argila (Mauri et al., 2009), observa-se que D1 > D2 > D3. Porém, essa simples comparação, isoladamente, não pode ser tomada como critério para estabelecer o dispersante mais adequado na análise granulométrica destes solos.

Quadro 9. Proporção de areia grossa nas amostras dos horizontes analisados, considerando o dispersante utilizado na análise granulométrica ({D1: NaOH, D2: [(NaPO₃)_n + NaOH], D3: [(NaPO₃)_n + Na₂CO₃])}

Perfil ^{1/}	Classe de Solo	Horizonte Superficial ^{2/}			Horizonte Subsuperficial ^{2/}		
		D1	D2	D3	D1	D2	D3
kg kg ⁻¹							
Zona da Mata^{3/}							
1	Argissolo Vermelho Amarelo	0,349	0,355	0,362	0,202	0,199	0,210
2	Argissolo Amarelo	0,441	0,434	0,460	0,446	0,438	0,457
4	Argissolo Vermelho Amarelo	0,071	0,065	0,066	0,058	0,051	0,053
5	Chernossolo Argilúvico	0,281	0,266	0,279	0,203	0,190	0,190
6	Latossolo Amarelo	0,175	0,175	0,175	0,234	0,227	0,232
7	Nitossolo Vermelho	0,101	0,090	0,086	0,049	0,048	0,049
8	Argissolo Vermelho	0,212	0,199	0,223	0,137	0,128	0,126
9	Plintossolo Argilúvico	0,407	0,406	0,422	0,374	0,363	0,362
10	Argissolo Amarelo	0,428	0,420	0,448	0,208	0,203	0,177
12	Gleissolo Háptico	0,030	0,031	0,034	0,013	0,017	0,014
Agreste^{3/}							
14	Planossolo Háptico	0,563	0,544	0,565	0,557	0,559	0,567
15	Planossolo Háptico	0,350	0,333	0,334	0,330	0,305	0,295
16	Argissolo Vermelho	0,479	0,447	0,485	0,219	0,230	0,234
18	Argissolo Amarelo	0,624	0,610	0,613	0,400	0,400	0,404
19	Planossolo Nátrico	0,258	0,244	0,243	0,303	0,280	0,291
20	Latossolo Vermelho Amarelo	0,335	0,323	0,331	0,246	0,243	0,241
21	Argissolo Vermelho Amarelo	0,732	0,739	0,694	0,475	0,463	0,444
22	Argissolo Amarelo	0,626	0,628	0,593	0,224	0,227	0,224
22a	Neossolo Litólico	0,478	0,479	0,473	0,443	0,444	0,444
Sertão^{3/}							
23	Argissolo Amarelo	0,208	0,246	0,246	0,229	0,230	0,226
24	Planossolo Nátrico	0,030	0,025	0,027	0,022	0,020	0,023
29	Luvissolo Crômico	0,318	0,307	0,310	0,296	0,291	0,300
30	Latossolo Amarelo	0,478	0,496	0,517	0,376	0,358	0,393
31	Cambissolo Háptico	0,181	0,184	0,180	0,162	0,158	0,163
32	Vertissolo Cromado	0,162	0,157	0,166	0,213	0,208	0,217
33	Argissolo Amarelo	0,372	0,415	0,342	0,467	0,475	0,460

^{1/}Numeração atribuída pela Universidade Federal Rural de Pernambuco aos solos de referência do estado. ^{2/}Exceto perfis 12 e 22a. ^{3/}Região de localização do perfil no estado.

Quadro 10. Proporção de areia fina nas amostras dos horizontes analisados, considerando o dispersante utilizado na análise granulométrica ({D1: NaOH, D2: [(NaPO₃)_n + NaOH], D3: [(NaPO₃)_n + Na₂CO₃]})

Perfil ^{1/}	Classe de Solo	Horizonte Superficial ^{2/}			Horizonte Subsuperficial ^{2/}		
		D1	D2	D3	D1	D2	D3
kg kg ⁻¹							
Zona da Mata^{3/}							
1	Argissolo Vermelho Amarelo	0,165	0,162	0,165	0,111	0,114	0,111
2	Argissolo Amarelo	0,244	0,250	0,233	0,212	0,219	0,207
4	Argissolo Vermelho Amarelo	0,384	0,421	0,383	0,323	0,335	0,341
5	Chernossolo Argilúvico	0,245	0,297	0,276	0,189	0,211	0,200
6	Latossolo Amarelo	0,156	0,189	0,185	0,142	0,157	0,151
7	Nitossolo Vermelho	0,068	0,068	0,070	0,041	0,040	0,040
8	Argissolo Vermelho	0,247	0,264	0,249	0,186	0,196	0,189
9	Plintossolo Argilúvico	0,391	0,395	0,384	0,283	0,296	0,299
10	Argissolo Amarelo	0,309	0,337	0,311	0,142	0,151	0,187
12	Gleissolo Háplico	0,029	0,029	0,032	0,008	0,011	0,009
Agreste^{3/}							
14	Planossolo Háplico	0,213	0,237	0,221	0,144	0,152	0,153
15	Planossolo Háplico	0,325	0,328	0,322	0,230	0,286	0,294
16	Argissolo Vermelho	0,139	0,183	0,153	0,140	0,153	0,128
18	Argissolo Amarelo	0,247	0,261	0,263	0,110	0,117	0,115
19	Planossolo Nátrico	0,379	0,407	0,400	0,346	0,365	0,361
20	Latossolo Vermelho Amarelo	0,179	0,182	0,173	0,154	0,157	0,154
21	Argissolo Vermelho Amarelo	0,164	0,159	0,206	0,113	0,116	0,150
22	Argissolo Amarelo	0,128	0,132	0,174	0,096	0,097	0,097
22a	Neossolo Litólico	0,215	0,213	0,224	0,254	0,250	0,251
Sertão^{3/}							
23	Argissolo Amarelo	0,581	0,557	0,542	0,435	0,436	0,446
24	Planossolo Nátrico	0,496	0,498	0,504	0,609	0,612	0,616
29	Luvissolo Crômico	0,336	0,326	0,326	0,357	0,356	0,356
30	Latossolo Amarelo	0,343	0,320	0,289	0,302	0,321	0,284
31	Cambissolo Háplico	0,256	0,258	0,264	0,247	0,253	0,249
32	Vertissolo Cromado	0,143	0,146	0,135	0,260	0,262	0,256
33	Argissolo Amarelo	0,369	0,327	0,409	0,409	0,398	0,397

^{1/}Numeração atribuída pela Universidade Federal Rural de Pernambuco aos solos de referência do estado. ^{2/}Exceto perfis 12 e 22a. ^{3/}Região de localização do perfil no estado.

Quadro 11. Proporção de silte nas amostras dos horizontes analisados, considerando o dispersante utilizado na análise granulométrica ({D1: NaOH, D2: [(NaPO₃)_n + NaOH], D3: [(NaPO₃)_n + Na₂CO₃]})

Perfil ^{1/}	Classe de Solo	Horizonte Superficial ^{2/}			Horizonte Subsuperficial ^{2/}		
		D1	D2	D3	D1	D2	D3
kg kg ⁻¹							
Zona da Mata^{3/}							
1	Argissolo Vermelho Amarelo	0,095	0,095	0,112	0,097	0,095	0,110
2	Argissolo Amarelo	0,044	0,053	0,071	0,045	0,053	0,043
4	Argissolo Vermelho Amarelo	0,237	0,202	0,248	0,243	0,249	0,228
5	Chernossolo Argilúvico	0,254	0,219	0,237	0,239	0,205	0,200
6	Latossolo Amarelo	0,109	0,060	0,098	0,055	0,055	0,080
7	Nitossolo Vermelho	0,286	0,304	0,301	0,217	0,213	0,205
8	Argissolo Vermelho	0,316	0,315	0,308	0,258	0,247	0,271
9	Plintossolo Argilúvico	0,124	0,139	0,133	0,148	0,161	0,158
10	Argissolo Amarelo	0,065	0,067	0,052	0,061	0,059	0,054
12	Gleissolo Háplico	0,355	0,367	0,344	0,242	0,231	0,224
Agreste^{3/}							
14	Planossolo Háplico	0,115	0,120	0,121	0,154	0,153	0,142
15	Planossolo Háplico	0,205	0,186	0,194	0,172	0,187	0,184
16	Argissolo Vermelho	0,180	0,172	0,170	0,278	0,208	0,223
18	Argissolo Amarelo	0,063	0,070	0,071	0,072	0,072	0,099
19	Planossolo Nátrico	0,196	0,249	0,204	0,130	0,151	0,133
20	Latossolo Vermelho Amarelo	0,078	0,104	0,100	0,084	0,107	0,102
21	Argissolo Vermelho Amarelo	0,055	0,062	0,065	0,103	0,114	0,123
22	Argissolo Amarelo	0,036	0,042	0,046	0,052	0,061	0,088
22a	Neossolo Litólico	0,218	0,213	0,214	0,212	0,219	0,202
Sertão^{3/}							
23	Argissolo Amarelo	0,124	0,119	0,132	0,103	0,107	0,089
24	Planossolo Nátrico	0,106	0,117	0,103	0,129	0,133	0,122
29	Luvissolo Crômico	0,192	0,223	0,212	0,217	0,231	0,217
30	Latossolo Amarelo	0,044	0,052	0,061	0,088	0,093	0,115
31	Cambissolo Háplico	0,298	0,274	0,285	0,284	0,281	0,275
32	Vertissolo Cromado	0,228	0,197	0,195	0,216	0,214	0,210
33	Argissolo Amarelo	0,075	0,090	0,087	0,059	0,069	0,086

^{1/}Numeração atribuída pela Universidade Federal Rural de Pernambuco aos solos de referência do estado. ^{2/}Exceto perfis 12 e 22a. ^{3/}Região de localização do perfil no estado.

Quadro 12. Proporção de argila nas amostras dos horizontes analisados, considerando o dispersante utilizado na análise granulométrica ({D1: NaOH, D2: [(NaPO₃)_n + NaOH], D3: [(NaPO₃)_n + Na₂CO₃]})

Perfil ^{1/}	Classe de Solo	Horizonte Superficial ^{2/}			Horizonte Subsuperficial ^{2/}		
		D1	D2	D3	D1	D2	D3
kg kg ⁻¹							
Zona da Mata^{3/}							
1	Argissolo Vermelho Amarelo	0,391	0,388	0,361	0,590	0,592	0,569
2	Argissolo Amarelo	0,271	0,263	0,236	0,297	0,290	0,292
4	Argissolo Vermelho Amarelo	0,308	0,312	0,303	0,376	0,366	0,378
5	Chernossolo Argilúvico	0,220	0,217	0,208	0,377	0,394	0,410
6	Latossolo Amarelo	0,560	0,576	0,541	0,570	0,561	0,537
7	Nitossolo Vermelho	0,545	0,539	0,542	0,693	0,699	0,706
8	Argissolo Vermelho	0,224	0,222	0,220	0,419	0,429	0,414
9	Plintossolo Argilúvico	0,078	0,060	0,061	0,195	0,181	0,181
10	Argissolo Amarelo	0,199	0,176	0,190	0,589	0,588	0,582
12	Gleissolo Háplico	0,586	0,573	0,590	0,737	0,742	0,753
Agreste^{3/}							
14	Planossolo Háplico	0,108	0,099	0,093	0,146	0,136	0,137
15	Planossolo Háplico	0,119	0,153	0,150	0,268	0,223	0,226
16	Argissolo Vermelho	0,201	0,197	0,192	0,417	0,409	0,415
18	Argissolo Amarelo	0,066	0,058	0,053	0,419	0,411	0,381
19	Planossolo Nátrico	0,167	0,100	0,152	0,221	0,204	0,215
20	Latossolo Vermelho Amarelo	0,408	0,390	0,396	0,516	0,495	0,503
21	Argissolo Vermelho Amarelo	0,049	0,040	0,035	0,308	0,307	0,283
22	Argissolo Amarelo	0,209	0,198	0,187	0,627	0,614	0,591
22a	Neossolo Litólico	0,089	0,094	0,090	0,091	0,088	0,103
Sertão^{3/}							
23	Argissolo Amarelo	0,086	0,078	0,080	0,232	0,227	0,239
24	Planossolo Nátrico	0,367	0,360	0,366	0,240	0,235	0,239
29	Luvissolo Crômico	0,155	0,144	0,152	0,130	0,116	0,128
30	Latossolo Amarelo	0,135	0,132	0,132	0,234	0,228	0,207
31	Cambissolo Háplico	0,265	0,284	0,272	0,307	0,309	0,314
32	Vertissolo Cromado	0,467	0,500	0,504	0,311	0,316	0,317
33	Argissolo Amarelo	0,183	0,168	0,163	0,065	0,057	0,057

^{1/}Numeração atribuída pela Universidade Federal Rural de Pernambuco aos solos de referência do estado. ^{2/}Exceto perfis 12 e 22a. ^{3/}Região de localização do perfil no estado.

Os valores dos teores de areia grossa, areia fina, silte e argila, determinados utilizando os três dispersantes químicos em estudo, foram comparados aplicando o teste L&O (Quadro 3). É de importância destacar que esse teste exige trabalhar com todas as repetições e não com as médias de cada determinação, sendo avaliada, desta forma, além da exatidão, a precisão. Nas figuras 1 até 6, são comparados os 208 pontos resultantes da determinação das quatro repetições das proporções das frações texturais dos 26 solos e dois horizontes.

Pelos dados apresentados no quadro 2, os dispersantes testados têm estas características: D1, pH elevado e pressão osmótica intermediária; D2, pH elevado e a maior pressão osmótica; e D3, o menor pH e a menor pressão osmótica. Considerando a hipótese de trabalho, o pH elevado favorece a dispersão de solos com argilas de carga variável, pelo aumento da CTC e da repulsão entre partículas. Essa característica, porém, pode ser reduzida pelo incremento da pressão osmótica da solução, que tende a provocar a floculação das partículas.

Na comparação entre D2 (Y_j) e D1 (Y_1) é possível observar que não houve identidade entre os dois dispersantes para nenhuma das frações texturais (Figuras 1 e 2). Exceto a fração areia grossa, cuja identidade não foi obtida devido ao valor inferior do coeficiente de correlação ($R_{Y_jY_1}$) em relação a expressão $(1-|\bar{e}|)$, todas as frações apresentaram equação de regressão com intercepto significativo a 1 %, positivo para areia fina e silte e negativo para argila, indicando maior efetividade do hidróxido de sódio em relação ao D2 para obtenção de maiores proporções de argila nos horizontes dos solos estudados.

É importante destacar que, na comparação entre métodos de análise granulométrica, considera-se mais efetivo aquele que permita determinar a maior proporção de argila, indicativa de menor proporção de pseudocomponentes. O intercepto negativo e significativo na relação $D2 = f(D1)$ indica maior proporção de argila quando a amostra é dispersada por D1, frente à dispersão utilizando D2. A declividade não significativa e igual a 1 indica que, na realidade, o dispersante D2 poderia ser utilizado como alternativa, desde que calibrado adequadamente para permitir referir seus resultados aos obtidos com D1. Evita-se esse trabalho utilizando diretamente D1.

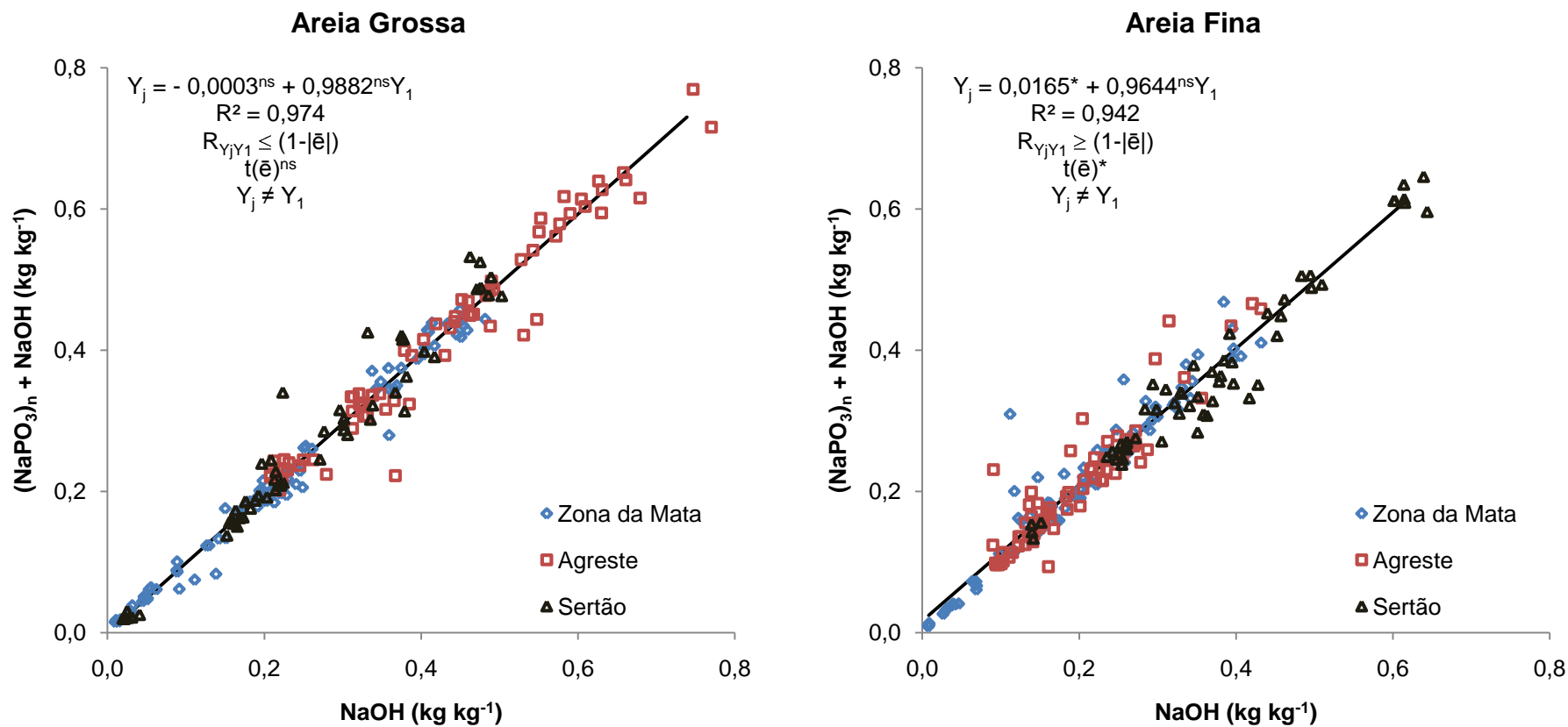


Figura 1. Comparação dos dispersantes químicos [(NaPO₃)_n + NaOH] (Y_j) e NaOH (Y₁) na determinação das proporções de areia grossa e areia fina nas amostras da totalidade dos solos e horizontes analisados (n = 208), segundo as regras de decisão do teste L&O ao nível de significância de 1 %.

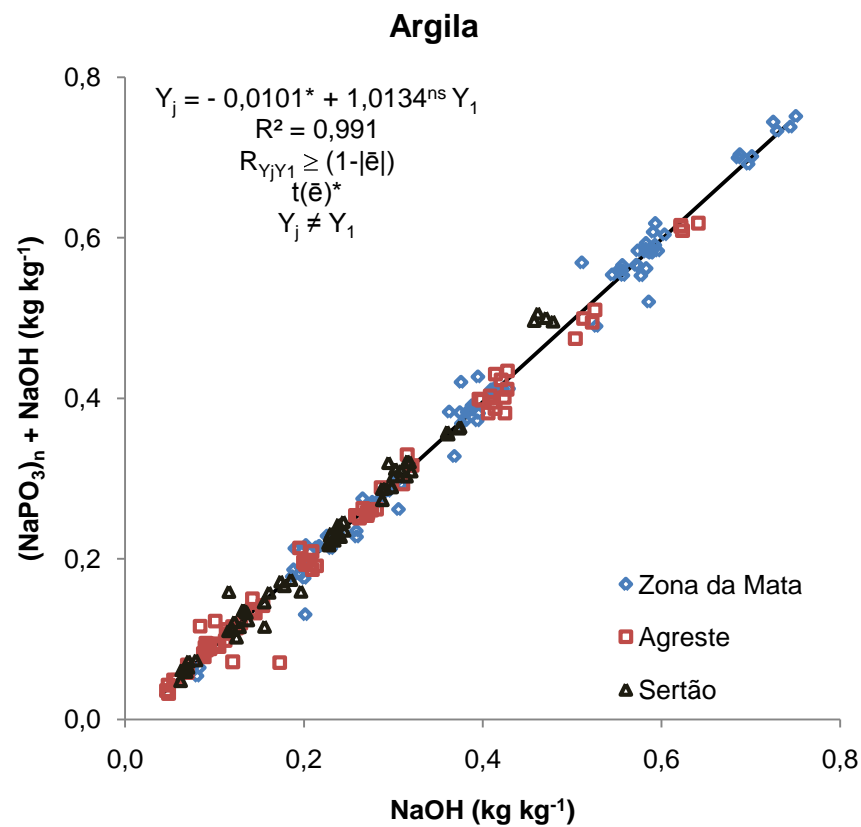
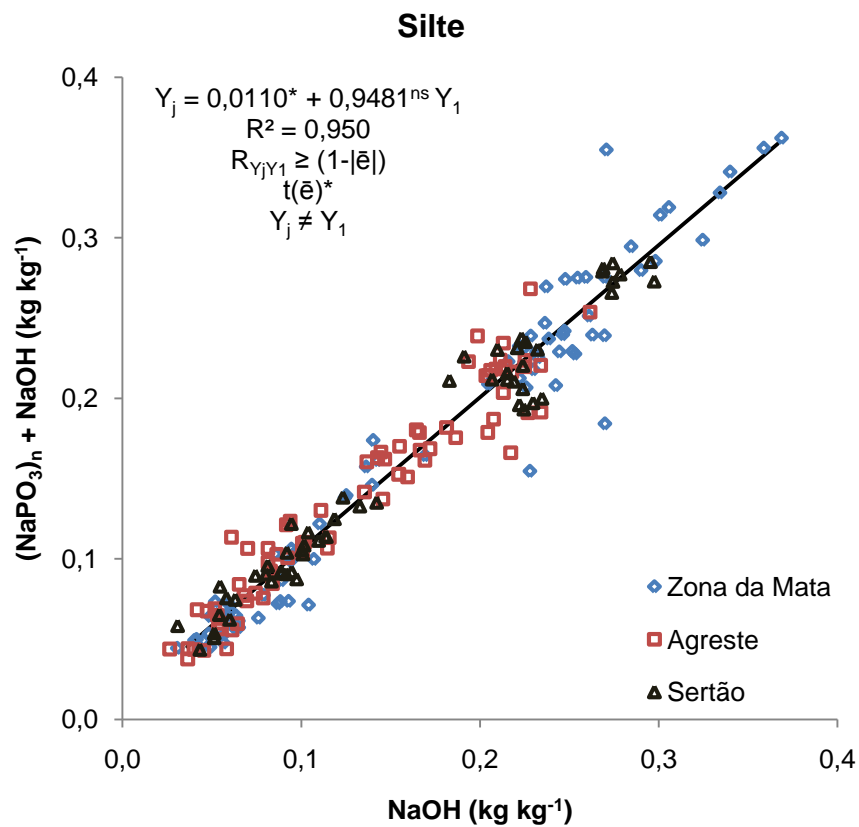


Figura 2. Comparação dos dispersantes químicos [(NaPO₃)_n + NaOH] (Y_j) e NaOH (Y₁) na determinação das proporções de silte e argila nas amostras da totalidade dos solos e horizontes analisados (n = 208), segundo as regras de decisão do teste L&O ao nível de significância de 1 %.

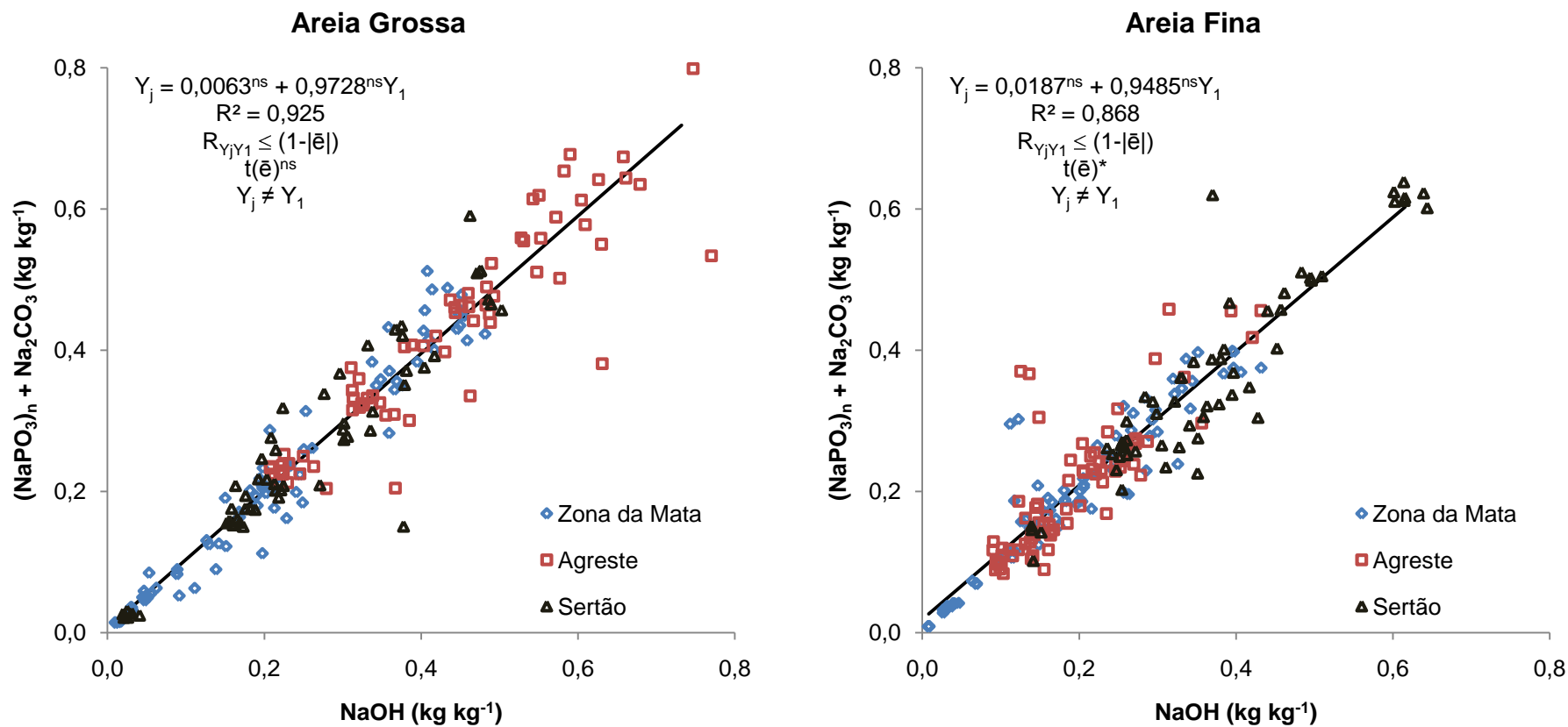


Figura 3. Comparação dos dispersantes químicos [(NaPO₃)_n + Na₂CO₃] (Y_j) e NaOH (Y₁) na determinação das proporções de areia grossa e areia fina nas amostras da totalidade dos solos e horizontes analisados (n = 208), segundo as regras de decisão do teste L&O ao nível de significância de 1 %.

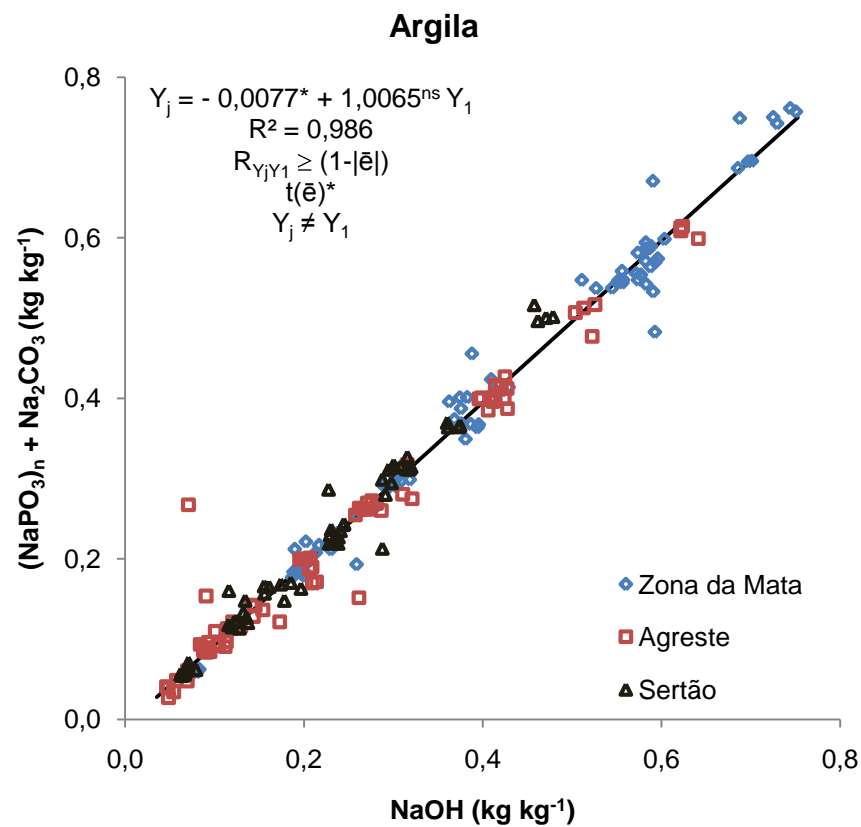
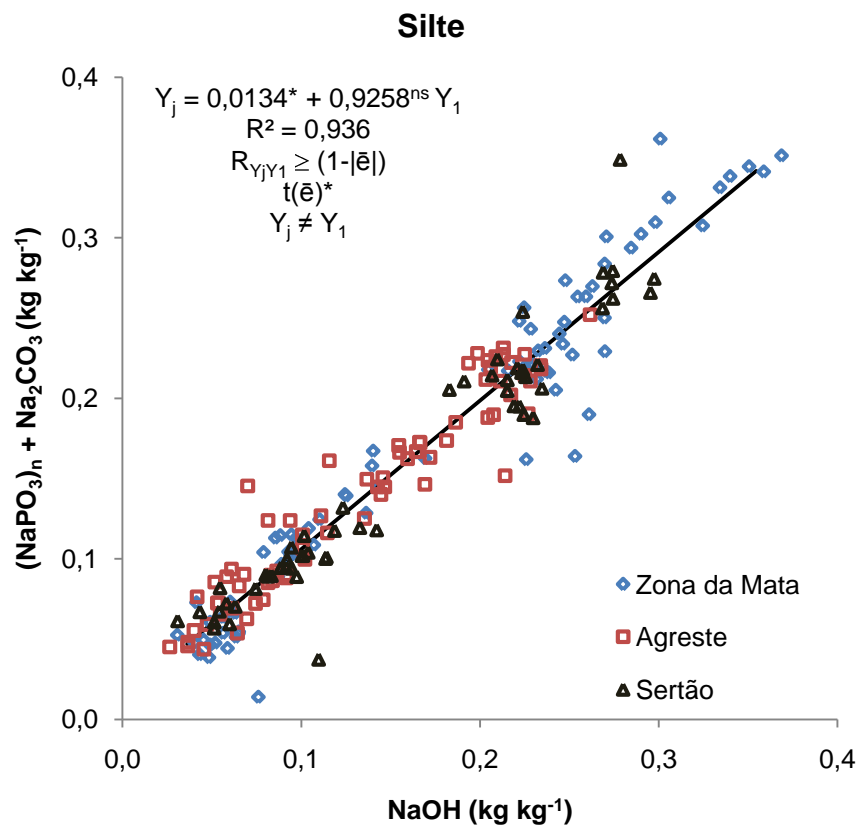


Figura 4. Comparação dos dispersantes químicos [(NaPO₃)_n + Na₂CO₃] (Y_j) e NaOH (Y₁) na determinação das proporções de silte e argila nas amostras da totalidade dos solos e horizontes analisados (n = 208), segundo as regras de decisão do teste L&O ao nível de significância de 1 %.

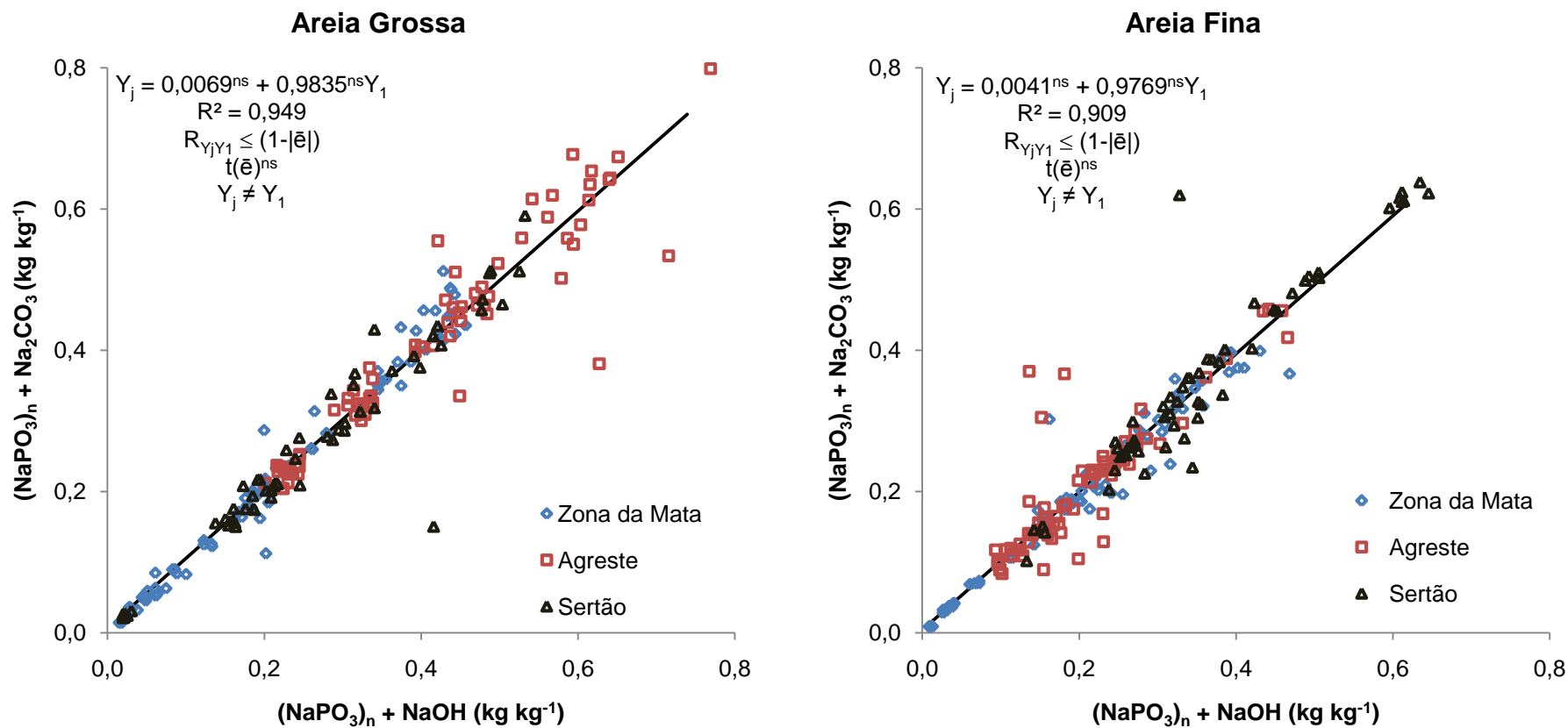


Figura 5. Comparação dos dispersantes químicos [(NaPO₃)_n + Na₂CO₃] (Y_j) e [(NaPO₃)_n + NaOH] (Y₁) na determinação das proporções de areia grossa e areia fina nas amostras da totalidade dos solos e horizontes analisados (n = 208), segundo as regras de decisão do teste L&O ao nível de significância de 1 %.

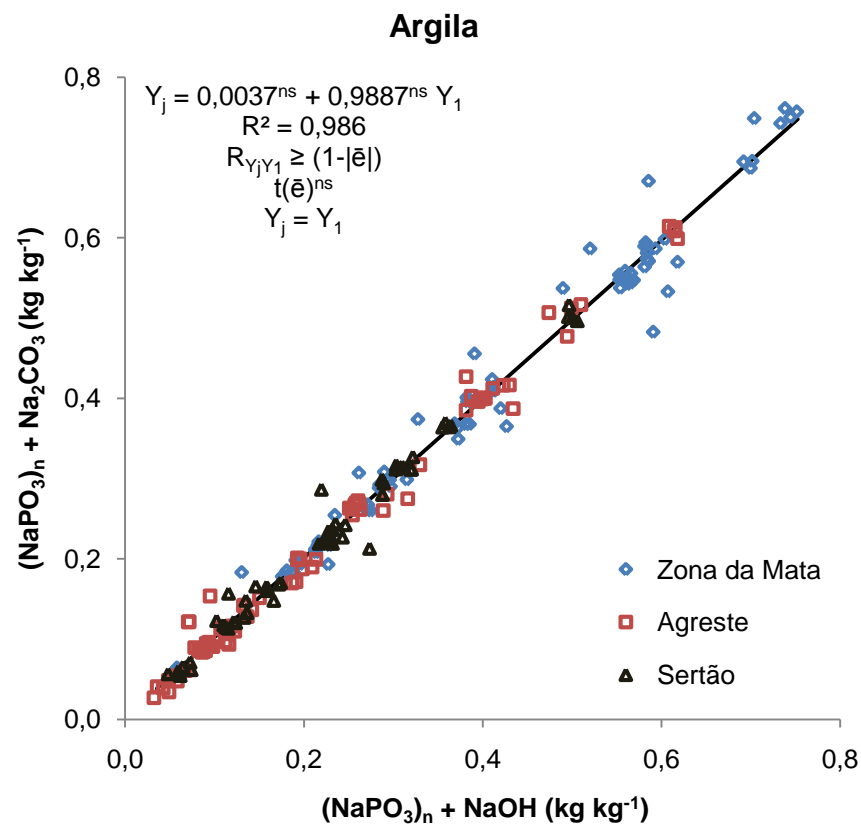
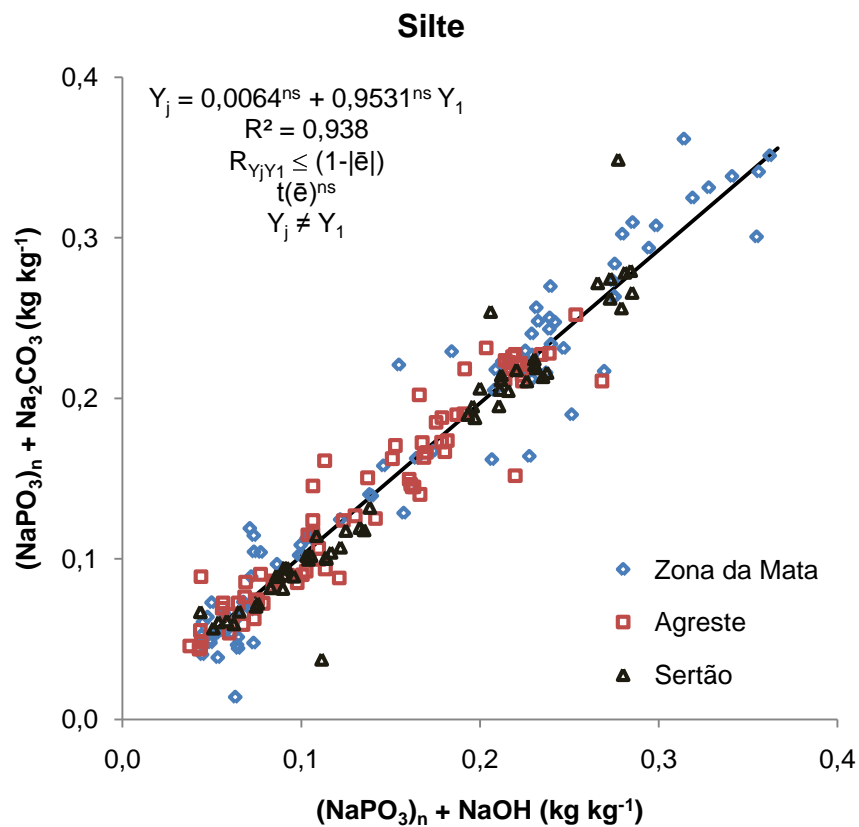


Figura 6. Comparação dos dispersantes químicos [(NaPO₃)_n + Na₂CO₃] (Y_j) e [(NaPO₃)_n + NaOH] (Y₁) na determinação das proporções de silte e argila nas amostras da totalidade dos solos e horizontes analisados (n = 208), segundo as regras de decisão do teste L&O ao nível de significância de 1 %.

Nas figuras 3 e 4 apresentam-se os gráficos com as respectivas regras de decisão para a comparação de D3 (Y_j) versus D1 (Y_1). Os resultados obtidos acompanham o raciocínio da comparação anterior, onde não houve identidade entre os dispersantes para nenhuma das frações texturais. O intercepto encontrado na equação de regressão linear para a fração argila quando analisado $D3 = f(D1)$, significativo a 1 % e negativo, indica a obtenção de teores mais elevados de argila com D1. Esse argumento pode ser reforçado pelo intercepto positivo e significativo a 1 % para a fração silte, indicando a tendência do $[(NaPO_3)_n + Na_2CO_3]$ determinar valores mais elevados de silte em comparação ao NaOH. O resultado está de acordo com o que foi preconizado por Mauri et al. (2009), indicando que a efetividade do $(NaPO_3)_n$ seria adequada para solos com minerais de argila de carga elétrica permanente e não para solos com argilas que apresentem, pelo menos parcialmente, cargas elétricas dependentes do pH como é o caso dos utilizados neste trabalho (Quadro 7).

Erro médio não significativo, $R_{Y_jY_1} \geq (1-|\hat{\epsilon}|)$ e intercepto e declividade não significativos permite afirmar que há identidade entre os dispersantes $[(NaPO_3)_n + Na_2CO_3]$ (Y_j) e $[(NaPO_3)_n + NaOH]$ (Y_1), ou seja, $Y_j = Y_1$, quando utilizados os valores da fração argila (Figura 6). A única regra não obedecida para confirmar a igualdade entre D3 e D2 para as proporções de areia grossa, areia fina e silte, foi o da superioridade do valor do coeficiente de correlação em relação a expressão $1-|\hat{\epsilon}|$, mostrando que, apesar do erro médio ser não significativo ao nível de 1% de probabilidade, o $R_{Y_jY_1}$ não foi o suficientemente elevado para obedecer a regra decisória (Quadro 3, Figuras 5 e 6).

Desta forma, observa-se maior efetividade do NaOH em relação ao $[(NaPO_3)_n + NaOH]$ (Figuras 1 e 2), maior efetividade do NaOH comparado ao $[(NaPO_3)_n + Na_2CO_3]$ (Figuras 3 e 4) e certo equilíbrio na comparação $[(NaPO_3)_n + Na_2CO_3]$ vs $[(NaPO_3)_n + NaOH]$ (Figuras 5 e 6). Considerando-se o NaOH o mais efetivo, este é o dispersante indicado na análise granulométrica dos solos em estudo.

Cada solução dispersante apresenta esta relação de pressão osmótica (PO): $[(NaPO_3)_n + NaOH] > NaOH > [(NaPO_3)_n + Na_2CO_3]$; e de pH: $[(NaPO_3)_n + NaOH] = NaOH > [(NaPO_3)_n + Na_2CO_3]$ (Quadro 2). Daí pode-se atribuir, primeiramente, a superioridade do NaOH na comparação com D2 à sua menor

PO, haja vista a igualdade de pH entre os dois dispersantes. Por outro lado, mesmo possuindo PO superior ao D3, a resposta à elevação de pH a valor próximo de 12 do NaOH foi suficiente para anular a maior tendência a floculação em resposta à PO. Assim, o surgimento de cargas elétricas negativas no sistema, em resposta à elevação do pH, favoreceu a expansão da dupla camada difusa, conseqüentemente, a dispersão das partículas. Por último, acredita-se haver um limite de valor da PO onde sua implicação (floculação das partículas) pode ser anulada pela elevação do pH até valores próximos a 12.

Na expectativa de obter resultados mais conclusivos da aplicabilidade de cada dispersante químico, algumas comparações foram realizadas selecionando as amostras dos horizontes de acordo com peculiaridades distintivas de grupos de solos. No quadro 13 está o resumo do teste L&O comparando os dispersantes selecionando o horizonte superficial ou subsuperficial dos solos estudados. As representações gráficas são mostradas nas figuras 7 e 8

Para o horizonte superficial, os resultados foram semelhantes às comparações dos dispersantes químicos para cada fração textural para todos os horizontes analisados. A identidade entre dispersantes só foi obtida quando comparados D3 e D2 para a fração argila. A mesma comparação para as proporções de silte, areia fina e areia grossa resultou em diferenciação entre dispersantes, justificada pela relação $R_{Y_j Y_1} \leq (1 - |\bar{e}|)$.

No horizonte superficial, os valores negativos de β_0 , significativos a 1 % de probabilidade, para as proporções de argila, quando comparados D2 (Y_j) com D1 (Y_1) e D3 (Y_j) com D1 (Y_1), indicam maior efetividade do NaOH mostrada pela maior proporção de argila na análise granulométrica (Quadro 10 e Figura 7).

Para o horizonte subsuperficial houve identidade esporádica entre dispersantes para areia grossa e areia fina (Quadro 13 e Figura 8). Em geral, as diferenças entre dispersantes mostraram a maior efetividade do NaOH, considerando que o critério de escolha é o maior teor de argila na análise textural.

Quadro 13. Comparação dos dispersantes químicos utilizados na determinação das proporções de areia grossa, areia fina, silte e argila nas amostras dos horizontes superficiais e subsuperficiais, segundo as regras de decisão do teste L&O

Y_j	Y_1	Equação de Regressão ^{1/}	R^2	$t_{(e)}$ ^{2/}	$R_{Y_j Y_1} \geq (1- \bar{e})$	Conclusão
Horizonte Superficial (n = 108)						
Areia Grossa						
$(NaPO_3)_n + NaOH$	NaOH	$Y_j = 0,0024^{ns} + 0,9830^{ns} Y_1$	0,966	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	NaOH	$Y_j = 0,0128^{ns} + 0,9579^{ns} Y_1$	0,903	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	$(NaPO_3)_n + NaOH$	$Y_j = 0,0109^{ns} + 0,9731^{ns} Y_1$	0,933	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
Areia Fina						
$(NaPO_3)_n + NaOH$	NaOH	$Y_j = 0,0220^{ns} + 0,9466^{ns} Y_1$	0,903	*	Sim	$Y_j \neq Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	NaOH	$Y_j = 0,0270^{ns} + 0,9160^{ns} Y_1$	0,799	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	$(NaPO_3)_n + NaOH$	$Y_j = 0,0085^{ns} + 0,9566^{ns} Y_1$	0,865	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
Silte						
$(NaPO_3)_n + NaOH$	NaOH	$Y_j = 0,0101^{ns} + 0,9523^{ns} Y_1$	0,948	*	Sim	$Y_j \neq Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	NaOH	$Y_j = 0,0129^* + 0,9399^{ns} Y_1$	0,949	*	Sim	$Y_j \neq Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	$(NaPO_3)_n + NaOH$	$Y_j = 0,0072^{ns} + 0,9612^{ns} Y_1$	0,950	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
Argila						
$(NaPO_3)_n + NaOH$	NaOH	$Y_j = -0,0107^* + 1,0184^{ns} Y_1$	0,987	*	Sim	$Y_j \neq Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	NaOH	$Y_j = -0,0103^* + 1,0148^{ns} Y_1$	0,987	*	Sim	$Y_j \neq Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	$(NaPO_3)_n + NaOH$	$Y_j = 0,0019^{ns} + 0,9905^{ns} Y_1$	0,988	ns	Sim	$Y_j = Y_1$
Horizonte Subsuperficial (n = 100)						
Areia Grossa						
$(NaPO_3)_n + NaOH$	NaOH	$Y_j = -0,0028^{ns} + 0,9936^{ns} Y_1$	0,985	*	Sim	$Y_j \neq Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	NaOH	$Y_j = -0,0008^{ns} + 0,9942^{ns} Y_1$	0,955	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	$(NaPO_3)_n + NaOH$	$Y_j = 0,0020^{ns} + 1,0004^{ns} Y_1$	0,969	ns	Sim	$Y_j = Y_1$
Areia Fina						
$(NaPO_3)_n + NaOH$	NaOH	$Y_j = 0,0112^* + 0,9811^{ns} Y_1$	0,981	*	Sim	$Y_j \neq Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	NaOH	$Y_j = 0,0107^{ns} + 0,9795^{ns} Y_1$	0,938	ns	Sim	$Y_j = Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	$(NaPO_3)_n + NaOH$	$Y_j = 0,0001^{ns} + 0,9965^{ns} Y_1$	0,953	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
Silte						
$(NaPO_3)_n + NaOH$	NaOH	$Y_j = 0,0121^* + 0,9413^{ns} Y_1$	0,952	*	Sim	$Y_j \neq Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	NaOH	$Y_j = 0,0161^* + 0,8933^{ns} Y_1$	0,910	ns	Sim	$Y_j \neq Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	$(NaPO_3)_n + NaOH$	$Y_j = 0,0076^{ns} + 0,9291^{ns} Y_1$	0,916	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
Argila						
$(NaPO_3)_n + NaOH$	NaOH	$Y_j = -0,0091^* + 1,0090^{ns} Y_1$	0,994	*	Sim	$Y_j \neq Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	NaOH	$Y_j = -0,0022^{ns} + 0,9928^{ns} Y_1$	0,981	*	Sim	$Y_j \neq Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	$(NaPO_3)_n + NaOH$	$Y_j = 0,0079^{ns} + 0,9808^{ns} Y_1$	0,981	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$

^{1/} * significativo a 1% pelo teste F modificado por Graybill. ^{2/} * significativo a 1% pelo teste t.

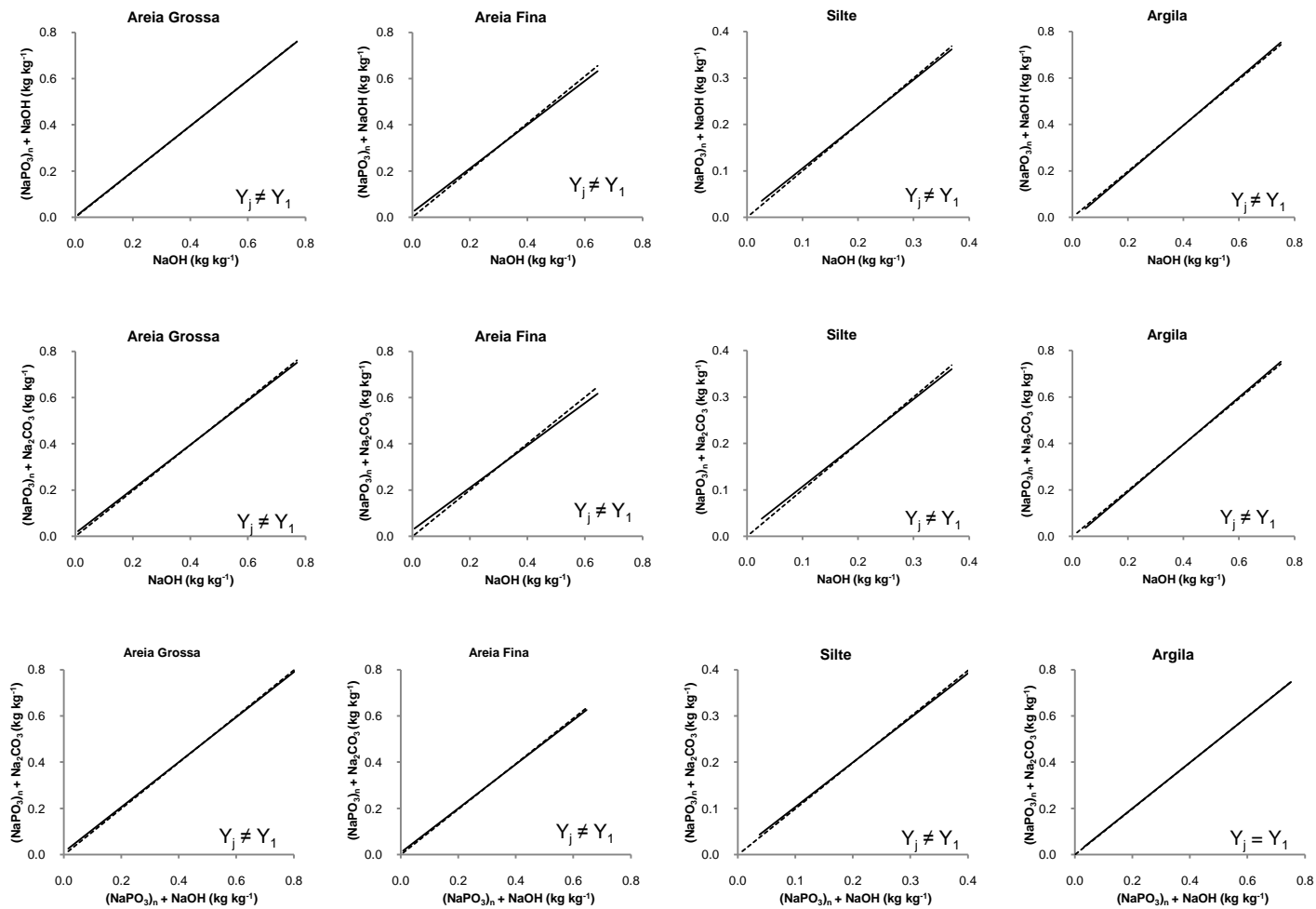


Figura 7. Representação da comparação dos dispersantes químicos utilizados na determinação das proporções de areia grossa, areia fina, silte e argila nas amostras dos horizontes superficiais, segundo as regras de decisão do teste L&O.

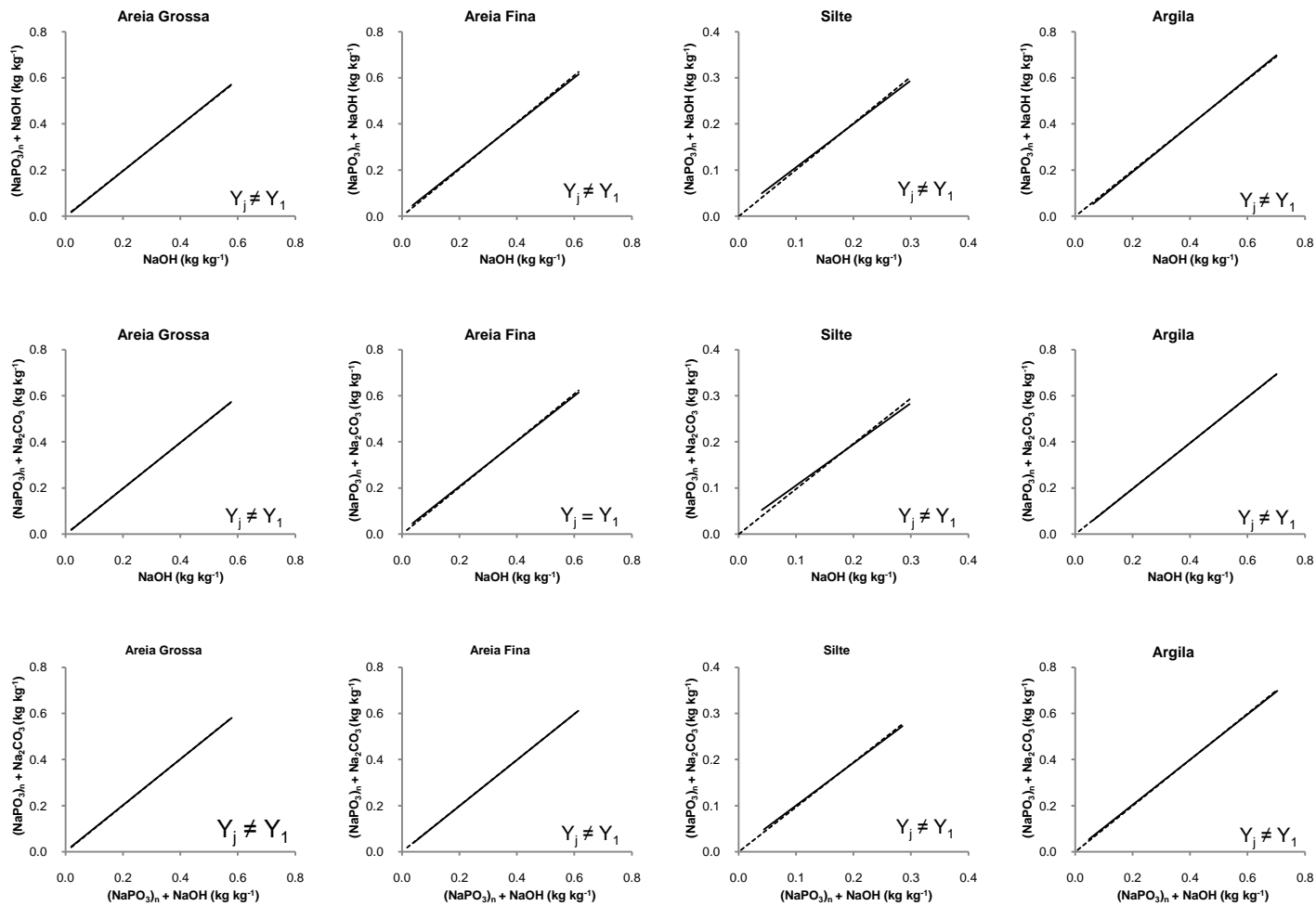


Figura 8. Representação da comparação dos dispersantes químicos utilizados na determinação das proporções de areia grossa, areia fina, silte e argila nas amostras dos horizontes subsuperficiais, segundo as regras de decisão do teste L&O.

Outra seleção realizada foi a discriminação dos solos correspondentes a cada uma das mesorregiões estudadas: Zona da Mata (Quadro 14), Agreste (Quadro 15) e Sertão (Quadro 16). Na Zona da Mata, tomando sempre como referência o dispersante D1 (Y_1) e como critério a maior proporção de argila, verifica-se que o NaOH é o dispersante mais efetivo na análise granulométrica de solos dessa mesorregião. Mantendo o critério apontado no parágrafo anterior verifica-se que para os solos do Agreste (Quadro 15) e do Sertão (Quadro 16) poderiam ser utilizadas, indistintamente, as soluções de NaOH ou da mistura $[(NaPO_3)_n + Na_2CO_3]$. Para todos os solos selecionados, a solução de $[(NaPO_3)_n + NaOH]$ deve ser descartada como dispersante químico alternativo (Quadros 14, 15 e 16).

Na comparação das soluções de NaOH e de $[(NaPO_3)_n + Na_2CO_3]$, a resposta diferenciada nas análises das amostras da Zona da Mata (Quadro 14), frente às do Agreste e do Sertão (Quadros 15 e 16) pode ser atribuída a diversos fatores. Todos os solos analisados apresentam elevada proporção de carga variável; porém, esse valor é maior nas amostras da Zona da Mata, frente as do Agreste e do Sertão, com médias de 0,60, 0,55 e 0,55, respectivamente (Quadro 7). Destaca-se que, quanto maior a proporção de carga variável no complexo de troca catiônica, maior será a efetividade de dispersantes que eleva o pH da solução.

Essa observação é corroborada pela caracterização mineralógica da fração argila, com presença maior de minerais do tipo 2:1 nos solos do Agreste e do Sertão (Quadro 8). Também, na comparação do ΔpH médio dos horizontes diagnósticos, os valores calculados são de -0,75, -0,98 e -1,19 para os solos da Zona da Mata, do Agreste e do Sertão, respectivamente (Quadro 4). Em acréscimo, a média da soma de $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ trocáveis nos horizontes diagnósticos é de 3,77, 4,64 e 6,10 $cmol_c dm^{-3}$ nas amostras das três mesorregiões indicadas, respectivamente (Quadro 6).

Assim, nos solos do Agreste e do Sertão, pode indicar-se que a equidade entre NaOH e $[(NaPO_3)_n + Na_2CO_3]$ na determinação do teor de argila pode ser justificada pela presença maior de cátions divalentes (floculantes), retirados da solução por precipitação na forma de fosfatos, pela menor proporção de carga variável no complexo de troca, que reduz a importância da

elevação do pH da solução, e pela maior pressão osmótica da solução de NaOH.

O fato que os dois dispersantes respondem de forma semelhante na análise granulométrica de solos do Agreste e do Sertão e que o NaOH é superior com solos da Zona da Mata, frente à solução $[(\text{NaPO}_3)_n + \text{Na}_2\text{CO}_3]$, sugere a utilização do NaOH como dispersante químico para a análise granulométrica dos solos do Estado de Pernambuco.

Também foram realizadas comparações dos dispersantes químicos selecionando solos agrupados de acordo com valores decrescentes da relação V/T: 0,600-0,460 (Quadro 17), 0,459-0,360 (Quadro 18) e 0,359-0,160 (Quadro19). Agrupados dessa forma, os dados analisados para cada faixa de V/T corresponderam a 32, 48 e 24 observações, considerando que essa relação foi determinada somente para os horizontes diagnósticos (Quadro 7).

Quadro 14. Comparação dos dispersantes químicos utilizados na determinação das proporções de areia grossa, areia fina, silte e argila nas amostras dos solos da Zona da Mata, segundo as regras de decisão do teste L&O

Y_j	Y_1	Equação de Regressão ^{1/}	R^2	$t_{(e)}$ ^{2/}	$R_{Y_j Y_1} \geq (1- \hat{e})$	Conclusão
Zona da Mata (n = 80)						
Areia Grossa						
$(\text{NaPO}_3)_n + \text{NaOH}$	NaOH	$Y_j = -0,0008^* + 0,9774^{\text{ns}} Y_1$	0,984	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
$(\text{NaPO}_3)_n + \text{Na}_2\text{CO}_3$	NaOH	$Y_j = -0,0036^{\text{ns}} + 1,0178^{\text{ns}} Y_1$	0,951	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
$(\text{NaPO}_3)_n + \text{Na}_2\text{CO}_3$	$(\text{NaPO}_3)_n + \text{NaOH}$	$Y_j = -0,0039^* + 1,0465^{\text{ns}} Y_1$	0,976	ns	Sim	$Y_j \neq Y_1$
Areia Fina						
$(\text{NaPO}_3)_n + \text{NaOH}$	NaOH	$Y_j = 0,0115^* + 1,0099^{\text{ns}} Y_1$	0,930	*	Sim	$Y_j \neq Y_1$
$(\text{NaPO}_3)_n + \text{Na}_2\text{CO}_3$	NaOH	$Y_j = 0,0194^{\text{ns}} + 0,9376^{\text{ns}} Y_1$	0,880	ns	Sim	$Y_j = Y_1$
$(\text{NaPO}_3)_n + \text{Na}_2\text{CO}_3$	$(\text{NaPO}_3)_n + \text{NaOH}$	$Y_j = 0,0086^* + 0,9293^{\text{ns}} Y_1$	0,948	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
Silte						
$(\text{NaPO}_3)_n + \text{NaOH}$	NaOH	$Y_j = 0,0036^{\text{ns}} + 0,9794^{\text{ns}} Y_1$	0,951	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
$(\text{NaPO}_3)_n + \text{Na}_2\text{CO}_3$	NaOH	$Y_j = 0,0082^{\text{ns}} + 0,9527^{\text{ns}} Y_1$	0,941	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
$(\text{NaPO}_3)_n + \text{Na}_2\text{CO}_3$	$(\text{NaPO}_3)_n + \text{NaOH}$	$Y_j = 0,0091^{\text{ns}} + 0,9470^{\text{ns}} Y_1$	0,941	ns	Sim	$Y_j \neq Y_1$
Argila						
$(\text{NaPO}_3)_n + \text{NaOH}$	NaOH	$Y_j = -0,0157^* + 1,0265^{\text{ns}} Y_1$	0,990	*	Sim	$Y_j \neq Y_1$
$(\text{NaPO}_3)_n + \text{Na}_2\text{CO}_3$	NaOH	$Y_j = -0,0125^{\text{ns}} + 1,0173^{\text{ns}} Y_1$	0,982	*	Sim	$Y_j \neq Y_1$
$(\text{NaPO}_3)_n + \text{Na}_2\text{CO}_3$	$(\text{NaPO}_3)_n + \text{NaOH}$	$Y_j = 0,0056^{\text{ns}} + 0,9846^{\text{ns}} Y_1$	0,979	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$

^{1/} * significativo a 1% pelo teste F modificado por Graybill. ^{2/} * significativo a 1% pelo teste t.

Quadro 15. Comparação dos dispersantes químicos utilizados na determinação das proporções de areia grossa, areia fina, silte e argila nas amostras dos solos do Agreste, segundo as regras de decisão do teste L&O

Y_j	Y_1	Equação de Regressão ^{1/}	R^2	$t_{(e)}^{1/}$	$R_{Y_j Y_1} \geq (1- \bar{e})$	Conclusão
Agreste (n = 72)						
Areia Grossa						
$(\text{NaPO}_3)_n + \text{NaOH}$	NaOH	$Y_j = -0,0033^{\text{ns}} + 0,9891^{\text{ns}} Y_1$	0,952	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
$(\text{NaPO}_3)_n + \text{Na}_2\text{CO}_3$	NaOH	$Y_j = 0,0177^{\text{ns}} + 0,9376^{\text{ns}} Y_1$	0,858	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
$(\text{NaPO}_3)_n + \text{Na}_2\text{CO}_3$	$(\text{NaPO}_3)_n + \text{NaOH}$	$Y_j = 0,0213^{\text{ns}} + 0,9468^{\text{ns}} Y_1$	0,899	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
Areia Fina						
$(\text{NaPO}_3)_n + \text{NaOH}$	NaOH	$Y_j = 0,0044^* + 1,0391^{\text{ns}} Y_1$	0,865	*	Sim	$Y_j \neq Y_1$
$(\text{NaPO}_3)_n + \text{Na}_2\text{CO}_3$	NaOH	$Y_j = 0,0177^{\text{ns}} + 0,9812^{\text{ns}} Y_1$	0,675	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
$(\text{NaPO}_3)_n + \text{Na}_2\text{CO}_3$	$(\text{NaPO}_3)_n + \text{NaOH}$	$Y_j = 0,0161^{\text{ns}} + 0,9318^{\text{ns}} Y_1$	0,760	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
Silte						
$(\text{NaPO}_3)_n + \text{NaOH}$	NaOH	$Y_j = 0,0177^* + 0,9128^{\text{ns}} Y_1$	0,928	*	Sim	$Y_j \neq Y_1$
$(\text{NaPO}_3)_n + \text{Na}_2\text{CO}_3$	NaOH	$Y_j = 0,0237^* + 0,8692^{\text{ns}} Y_1$	0,918	*	Sim	$Y_j \neq Y_1$
$(\text{NaPO}_3)_n + \text{Na}_2\text{CO}_3$	$(\text{NaPO}_3)_n + \text{NaOH}$	$Y_j = 0,0120^{\text{ns}} + 0,9158^{\text{ns}} Y_1$	0,914	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
Argila						
$(\text{NaPO}_3)_n + \text{NaOH}$	NaOH	$Y_j = -0,0061^* + 0,9840^{\text{ns}} Y_1$	0,990	*	Sim	$Y_j \neq Y_1$
$(\text{NaPO}_3)_n + \text{Na}_2\text{CO}_3$	NaOH	$Y_j = 0,0002^{\text{ns}} + 0,9619^{\text{ns}} Y_1$	0,964	ns	Sim	$Y_j = Y_1$
$(\text{NaPO}_3)_n + \text{Na}_2\text{CO}_3$	$(\text{NaPO}_3)_n + \text{NaOH}$	$Y_j = 0,0023^{\text{ns}} + 0,9897^{\text{ns}} Y_1$	0,988	ns	Sim	$Y_j = Y_1$

^{1/} * significativo a 1% pelo teste F modificado por Graybill. ^{2/} * significativo a 1% pelo teste t.

Com os dados apontados, considerando o NaOH como dispersante de referência e o maior teor de argila como critério de escolha, nenhum dos outros dois dispersantes testados, D2 e D3, teve resposta estatisticamente maior que a solução de referência. Ocasional igualdade na faixa de 0,459-0,360 entre os dispersantes D2 (Y_j) e D1 (Y_1) não permite sugerir o uso alternativo de D2 na análise.

Aparente discrepância entre dispersantes, quando selecionados por mesorregião do Estado de Pernambuco (Quadros 14, 15 e 16) e quando selecionados pela proporção V/T (Quadros 17, 18 e 19) devem levar em conta que os dados analisados no primeiro caso totalizaram 208 observações e no segundo, 104 observações.

Os dados apresentados nas figuras 1 a 8 e nos quadros 13 a 19 permitem indicar que, em nenhum caso, o NaOH (D1) foi superado pelos outros dois dispersantes testados: $[(\text{NaPO}_3)_n + \text{NaOH}]$ (D2) e $[(\text{NaPO}_3)_n + \text{Na}_2\text{CO}_3]$ (D3).

Isso favorece a indicação da utilização do NaOH como dispersante químico para a análise granulométrica de solos do Estado de Pernambuco. Eventuais igualdades na determinação da textura dos solos do Agreste e do Sertão entre NaOH e $[(\text{NaPO}_3)_n + \text{Na}_2\text{CO}_3]$, sugerem a utilização do primeiro, adequado para a totalidade de solos dos solos analisados. Por outra parte, a solução $[(\text{NaPO}_3)_n + \text{NaOH}]$ não apresentou resultados favoráveis, possivelmente devido à sua pressão osmótica, a mais elevada entre as três soluções testadas.

Quadro 16. Comparação dos dispersantes químicos utilizados na determinação das proporções de areia grossa, areia fina, silte e argila nas amostras dos solos do Sertão, segundo as regras de decisão do teste L&O

Y_j	Y_1	Equação de Regressão ^{1/}	R^2	$t_{(e)}$ ^{2/}	$R_{Y_j Y_1} \geq (1- \bar{e})$	Conclusão
Sertão (n = 56)						
Areia Grossa						
$(\text{NaPO}_3)_n + \text{NaOH}$	NaOH	$Y_j = -0,0028^{\text{ns}} + 1,0270^{\text{ns}} Y_1$	0,957	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
$(\text{NaPO}_3)_n + \text{Na}_2\text{CO}_3$	NaOH	$Y_j = 0,0041^{\text{ns}} + 0,9996^{\text{ns}} Y_1$	0,888	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
$(\text{NaPO}_3)_n + \text{Na}_2\text{CO}_3$	$(\text{NaPO}_3)_n + \text{NaOH}$	$Y_j = 0,0084^{\text{ns}} + 0,9673^{\text{ns}} Y_1$	0,915	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
Areia Fina						
$(\text{NaPO}_3)_n + \text{NaOH}$	NaOH	$Y_j = 0,0065^{\text{ns}} + 0,9684^{\text{ns}} Y_1$	0,954	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
$(\text{NaPO}_3)_n + \text{Na}_2\text{CO}_3$	NaOH	$Y_j = -0,0031^{\text{ns}} + 0,9946^{\text{ns}} Y_1$	0,856	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
$(\text{NaPO}_3)_n + \text{Na}_2\text{CO}_3$	$(\text{NaPO}_3)_n + \text{NaOH}$	$Y_j = -0,0073^{\text{ns}} + 1,0205^{\text{ns}} Y_1$	0,885	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
Silte						
$(\text{NaPO}_3)_n + \text{NaOH}$	NaOH	$Y_j = 0,0141^* + 0,9280^{\text{ns}} Y_1$	0,968	*	Sim	$Y_j \neq Y_1$
$(\text{NaPO}_3)_n + \text{Na}_2\text{CO}_3$	NaOH	$Y_j = 0,0099^{\text{ns}} + 0,9320^{\text{ns}} Y_1$	0,932	ns	Sim	$Y_j = Y_1$
$(\text{NaPO}_3)_n + \text{Na}_2\text{CO}_3$	$(\text{NaPO}_3)_n + \text{NaOH}$	$Y_j = -0,0031^{\text{ns}} + 0,9963^{\text{ns}} Y_1$	0,948	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
Argila						
$(\text{NaPO}_3)_n + \text{NaOH}$	NaOH	$Y_j = -0,0155^* + 1,0576^* Y_1$	0,986	ns	Sim	$Y_j \neq Y_1$
$(\text{NaPO}_3)_n + \text{Na}_2\text{CO}_3$	NaOH	$Y_j = -0,0135^{\text{ns}} + 1,0585^{\text{ns}} Y_1$	0,973	ns	Sim	$Y_j = Y_1$
$(\text{NaPO}_3)_n + \text{Na}_2\text{CO}_3$	$(\text{NaPO}_3)_n + \text{NaOH}$	$Y_j = 0,0026^{\text{ns}} + 0,9986^{\text{ns}} Y_1$	0,983	ns	Sim	$Y_j = Y_1$

^{1/} * significativo a 1% pelo teste F modificado por Graybill. ^{2/} * significativo a 1% pelo teste t.

Quadro 17. Comparação dos dispersantes químicos utilizados na determinação das proporções de areia grossa, areia fina, silte e argila nas amostras dos horizontes diagnósticos com relação CTC Variável/CTC Total no intervalo de 0,600 a 0,460, segundo as regras de decisão do teste L&O

Y_j	Y_1	Equação de Regressão ^{1/}	R^2	$t_{(e)}$ ^{2/}	$R_{Y_j Y_1} \geq (1- \bar{e})$	Conclusão
Intervalo 0,600 a 0,460 (n = 32)						
Areia Grossa						
$(NaPO_3)_n + NaOH$	NaOH	$Y_j = -0,0050^{ns} + 1,0034^{ns} Y_1$	0,991	ns	Sim	$Y_j = Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	NaOH	$Y_j = -0,0016^{ns} + 1,0021^{ns} Y_1$	0,967	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	$(NaPO_3)_n + NaOH$	$Y_j = 0,0024^{ns} + 1,0027^{ns} Y_1$	0,984	ns	Sim	$Y_j = Y_1$
Areia Fina						
$(NaPO_3)_n + NaOH$	NaOH	$Y_j = 0,0119^{ns} + 0,9618^{ns} Y_1$	0,965	ns	Sim	$Y_j = Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	NaOH	$Y_j = 0,0087^{ns} + 0,9613^{ns} Y_1$	0,939	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	$(NaPO_3)_n + NaOH$	$Y_j = -0,0035^{ns} + 1,0015^{ns} Y_1$	0,977	ns	Sim	$Y_j = Y_1$
Silte						
$(NaPO_3)_n + NaOH$	NaOH	$Y_j = 0,0185^{ns} + 0,9183^{ns} Y_1$	0,916	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	NaOH	$Y_j = 0,0328^{ns} + 0,8415^{ns} Y_1$	0,867	ns	Sim	$Y_j = Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	$(NaPO_3)_n + NaOH$	$Y_j = 0,0262^{ns} + 0,8635^{ns} Y_1$	0,841	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
Argila						
$(NaPO_3)_n + NaOH$	NaOH	$Y_j = -0,0138^* + 1,0238^{ns} Y_1$	0,998	*	Sim	$Y_j \neq Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	NaOH	$Y_j = -0,0047^* + 0,9790^{ns} Y_1$	0,998	*	Sim	$Y_j \neq Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	$(NaPO_3)_n + NaOH$	$Y_j = 0,0089^* + 0,9543^{ns} Y_1$	0,997	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$

^{1/} * significativo a 1% pelo teste F modificado por Graybill. ^{2/} * significativo a 1% pelo teste t.

Quadro 18. Comparação dos dispersantes químicos utilizados na determinação das proporções de areia grossa, areia fina, silte e argila nas amostras dos horizontes diagnósticos com relação CTC Variável/CTC Total no intervalo de 0,459 a 0,360, segundo as regras de decisão do teste L&O

Y_j	Y_1	Equação de Regressão ^{1/}	R^2	$t_{(e)}$ ^{2/}	$R_{Y_j Y_1} \geq (1- \bar{e})$	Conclusão
Intervalo 0,459 a 0,360 (n = 48)						
Areia Grossa						
$(NaPO_3)_n + NaOH$	NaOH	$Y_j = 0,0033^{ns} + 0,9642^{ns} Y_1$	0,978	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	NaOH	$Y_j = 0,0024^{ns} + 0,9716^{ns} Y_1$	0,938	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	$(NaPO_3)_n + NaOH$	$Y_j = -0,0009^{ns} + 1,0078^{ns} Y_1$	0,959	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
Areia Fina						
$(NaPO_3)_n + NaOH$	NaOH	$Y_j = 0,0106^{ns} + 0,9921^{ns} Y_1$	0,984	*	Sim	$Y_j \neq Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	NaOH	$Y_j = 0,0130^{ns} + 0,9837^{ns} Y_1$	0,934	ns	Sim	$Y_j = Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	$(NaPO_3)_n + NaOH$	$Y_j = 0,0031^{ns} + 0,9888^{ns} Y_1$	0,945	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
Silte						
$(NaPO_3)_n + NaOH$	NaOH	$Y_j = 0,0157^* + 0,8863^{ns} Y_1$	0,939	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	NaOH	$Y_j = 0,0342^* + 0,7659^{ns} Y_1$	0,792	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	$(NaPO_3)_n + NaOH$	$Y_j = 0,0258^{ns} + 0,8272^{ns} Y_1$	0,773	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
Argila						
$(NaPO_3)_n + NaOH$	NaOH	$Y_j = -0,0074^{ns} + 1,0080^{ns} Y_1$	0,992	ns	Sim	$Y_j = Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	NaOH	$Y_j = -0,0070^{ns} + 1,0004^{ns} Y_1$	0,955	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	$(NaPO_3)_n + NaOH$	$Y_j = 0,0015^{ns} + 0,9897^{ns} Y_1$	0,957	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$

^{1/} * significativo a 1% pelo teste F modificado por Graybill. ^{2/} * significativo a 1% pelo teste t.

Quadro 19. Comparação dos dispersantes químicos utilizados na determinação das proporções de areia grossa, areia fina, silte e argila nas amostras dos horizontes diagnósticos com relação CTC Variável/CTC Total no intervalo de 0,359 a 0,160, segundo as regras de decisão do teste L&O

Y_j	Y_1	Equação de Regressão ^{1/}	R^2	$t_{(e)}$ ^{2/}	$R_{Y_j Y_1} \geq (1- \bar{e})$	Conclusão
Intervalo 0,359 a 0,160 (n = 24)						
Areia Grossa						
$(NaPO_3)_n + NaOH$	NaOH	$Y_j = -0,0082^{ns} + 1,0170^{ns} Y_1$	0,979	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	NaOH	$Y_j = 0,0016^{ns} + 0,9988^{ns} Y_1$	0,937	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	$(NaPO_3)_n + NaOH$	$Y_j = 0,0123^{ns} + 0,9755^{ns} Y_1$	0,944	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
Areia Fina						
$(NaPO_3)_n + NaOH$	NaOH	$Y_j = 0,0145^{ns} + 0,9548^{ns} Y_1$	0,976	ns	Sim	$Y_j = Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	NaOH	$Y_j = 0,0135^{ns} + 0,9544^{ns} Y_1$	0,933	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	$(NaPO_3)_n + NaOH$	$Y_j = -0,0005^{ns} + 0,9979^{ns} Y_1$	0,952	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
Silte						
$(NaPO_3)_n + NaOH$	NaOH	$Y_j = 0,0099^{ns} + 0,9586^{ns} Y_1$	0,948	*	Sim	$Y_j \neq Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	NaOH	$Y_j = 0,0221^{ns} + 0,8574^{ns} Y_1$	0,747	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	$(NaPO_3)_n + NaOH$	$Y_j = 0,0147^{ns} + 0,8820^{ns} Y_1$	0,766	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$
Argila						
$(NaPO_3)_n + NaOH$	NaOH	$Y_j = -0,0138^* + 1,0238^{ns} Y_1$	0,998	*	Sim	$Y_j \neq Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	NaOH	$Y_j = -0,0047^* + 0,9790^{ns} Y_1$	0,998	*	Sim	$Y_j \neq Y_1$
$(NaPO_3)_n + Na_2CO_3$	$(NaPO_3)_n + NaOH$	$Y_j = 0,0089^* + 0,9543^{ns} Y_1$	0,997	ns	Não	$Y_j \neq Y_1$

^{1/} * significativo a 1% pelo teste F modificado por Graybill. ^{2/} * significativo a 1% pelo teste t.

5. CONCLUSÕES

- Dos três dispersantes químicos testados, NaOH, $[(\text{NaPO}_3)_n + \text{NaOH}]$ e $[(\text{NaPO}_3)_n + \text{Na}_2\text{CO}_3]$ e tomando como critério a maior proporção de argila na análise granulométrica, o NaOH foi o mais adequado na determinação da textura de dois horizontes de 26 perfis de solos do Estado de Pernambuco, representativos de 82 % da área total do estado. Nenhum dos outros dois dispersantes superou a dispersão lograda com o NaOH.
- A seleção das amostras por horizonte confirmou a supremacia do NaOH sobre os outros dois dispersantes químicos.
- A seleção das amostras por mesorregião estudada, Zona da Mata, Agreste e Sertão, mostrou superioridade do NaOH nos solos da Zona da Mata e igualdade com o $[(\text{NaPO}_3)_n + \text{Na}_2\text{CO}_3]$, nos solos do Agreste e do Sertão.
- Os 26 solos analisados apresentaram capacidade de troca catiônica dependente do pH, com valores no intervalo de 0,160 a 0,600, quando relacionada com a capacidade de troca catiônica total. A seleção por faixas de relações CTC Variável/CTC Total também indicaram o NaOH como o dispersante químico mais apropriado na análise granulométrica destes solos, independente da predominância de qualquer tipo de carga nos solos.

6. LITERATURA CITADA

- ALLEN, B.L. & HAJEK, B.F. Mineral occurrence in soil environments. In: DIXON, S.B. & WEED, S.B. Minerals in soil environments. 2.ed. Madison, Wiscosin, Soil Science Society of American, 1989. p.199-278.
- ALVAREZ V., V.H. & FONSECA, D.M. Definição de doses de fósforo para determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios em casa de vegetação. R. Bras. Ci. Solo, 14:49-55, 1990.
- ALVES, M.E. Atributos mineralógicos e eletroquímicos, adsorção e dessorção de sulfato em solos paulistas. Tese (Doutorado). Agronomia, Solos e Nutrição de Plantas. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz-USP. Piracicaba, SP. 154p. 2002.
- ANDERSON, S.J. & SPOSITO, G. Cesium adsorption methods for measuring accessible structural surface charge. Soil Sci. Soc. Am. J., 55:1569-1576, 1991.
- ATTERBERG, A. Die rationale klassifikation der sande und kiese. Chemiker Zeitung, 29:195-198, 1905.
- AZEVEDO, A. C. & BONUMÁ, A. S. Partículas coloidais, dispersão e agregação em latossolos. Ciência Rural, Santa Maria, v.34, n.2, p. 609-617, 2004.

- BARRETO, W. Eletroquímica de solos tropicais de carga variável: capacidade da dupla camada elétrica. Itaguaí, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1986. 273p. (Tese de Doutorado).
- BORTOLUZZI, E.C.; TESSIER, D.; RHEINHEIMER, D.S. & JULIEN, J.L. The cation exchange capacity of a sandy soil in southern Brazil: an estimation of permanent and pH-dependent charges. *British Society of Soil Science, European Journal of Soil Science*, 57, p. 356-364, 2006.
- CHOROVER, J. & SPOSITO, G. Surface charge characteristics of kaolinitic tropical soils. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v.59, p. 875-884, 1995.
- COTTON, F.A. & WILKINSON, G. *Advanced inorganic chemistry, a comprehensive text*. New York, Interscience, 1966. 1136p.
- EMBRAPA SOLOS - UEP RECIFE. Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do Estado de Pernambuco. *Boletim de pesquisa*; 11. ISSN 1517 – 5219. Recife, PE. 2000.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.
- ESPINOZA, W.; GAST, R.G. & ADAMS Jr., R.S. Charge characteristics and nitrate retention by two Andepts from South-Central Chile. *Soil Science Society of America Journal*, v.39, p.842-846, 1975.
- FONTES, M.P.F. & SPOSITO, G. Medição da densidade de carga estrutural acessível em Latossolos brasileiros com diferentes mineralogias. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. *Resumos Expandidos*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. v.1. p.292-294.
- FONTES, M.P.F. *Mineralogia do solo (Versão Resumida)*. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2002. Não paginado.
- FONTES, M.P.F.; CAMARGO, O.A. & SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. *Sci. Agric.*, 58:627–646, 2001.

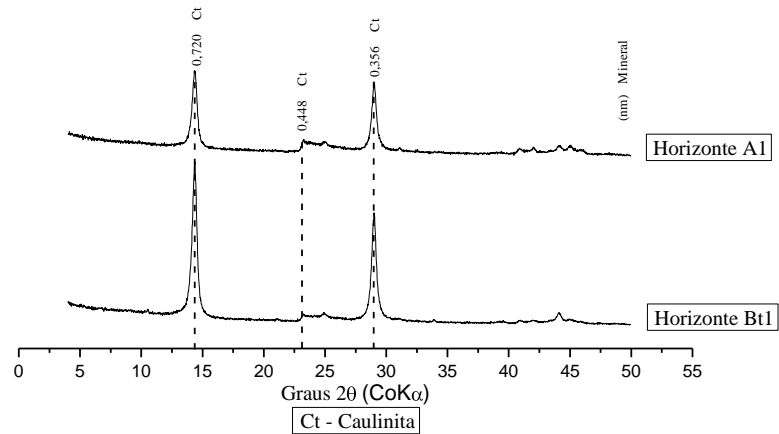
- GALLEZ, A. & HERBILLON, A.J. Surface and charge characteristics of selected soils in the tropics. *Soil Science Society of America Journal*, v.40, p.601-608, 1976.
- GAST, R.G. Surface and colloid chemistry. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B., eds. *Minerals in soil environments*. Madison, Soil Science Society of America, 1977. p.27-73.
- GILLMAN, G.P. & BELL, L.C. Surface charge characteristics of six weathered soils from tropical North Queensland. *Australian Journal of Soil Research*, v.14, p.351-360, 1976.
- GRAYBILL, F.A. *Theory and application of the linear model*. Duxbury Press Belmont, CA, 1976.
- HUGHES, J.C.; BROWN, G.A. A crystallinity index for soil kaolins and its relation to parent rock, climate and soil maturity. *Journal of Soil Science*, v. 30, n.3, p. 557 – 563, 1979.
- JUCKSCH, I.; COSTA, L.M.; MELLO, J.W.V.; BUENO, B.S. & FONTES, L.E.F. Meios mecânicos e concentração de NaOH na dispersão e estabilidade de suspensões de argila. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, MG, 1995. Resumos expandidos. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. v.1, p.104-105.
- JURY, W. A.; GARDNER, W. R. & GARDNER, W. H. *Soil Physics*. 5.ed. New York, Wiley, 1991. 328p.
- KIRKHAM, D. & POWERS, W.L. *Advanced soil physics*. 2.ed. New York, Interscience, 1972. 548p.
- LEITE, H.G. & OLIVEIRA, F.H.T. Statistical procedure to test identity between analytical methods. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, v.37, n.7-8, p. 1105-1118, 2002.
- MAURI, J.; REZENDE, L.R.M.; RUIZ, H.A.; FERNANDES, R.B.A. & KER, J.C. Dispersantes químicos na análise granulométrica de Latossolos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., Fortaleza, CE, 2009. Resumos expandidos. Fortaleza, CE, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. CD-ROM

- MEDINA, H.P. & GROHMANN, F. Contribuição ao estudo da análise granulométrica do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 6, Salvador, 1957. Resumos. Rio de Janeiro, RJ, SBCS, 1962. p.29-38.
- PARKER, J.C.; ZELAZNY, L.W.; SAMPATH, S. & HARRIS, W.G. A critical evaluation of the extension of zero point of charge (ZPC) theory to soil systems. Soil Science Society of America Journal, v.43, p.668-673, 1979.
- PEIXOTO, R.T.G.; TRAINA, S.J. & BIGHAM, J.M. Aplicabilidade do método de adsorção de Cs na determinação de carga elétrica permanente em Latossolos derivados de basalto no Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. Resumos Expandidos. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. v.1. p.295-297.
- RAIJ, B. & PEECH, M. Electrochemical properties of some Oxisols and Alfisols of tropics. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 36:587-598, 1972.
- RAIJ, B. VAN. Determinação do Ponto de Carga Zero em solos. Bragantia, v.32, p.337-347, 1973.
- RUIZ, H.A. Dispersão física do solo para análise granulométrica por agitação lenta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., Recife, PE, 2005a. Resumos expandidos. Recife, PE, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005a. CD-ROM
- RUIZ, H.A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte+argila). R. Bras. Ci. Solo, 29:297-300, 2005b.
- RUIZ, H.A. Métodos de análises físicas do solo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2004. 22p. (Notas de Aula)
- SILVA, I.R. & MENDONÇA, E.S. Matéria Orgânica do Solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. Fertilidade do Solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.275-374.
- STUMM, W. & MORGAN, J.J. Aquatic chemistry. New York, Wiley-Interscience, 1981. 780p.
- STUMM, W. Chemistry of the solid-water interface. New York, John Wiley, 1992. 428p.

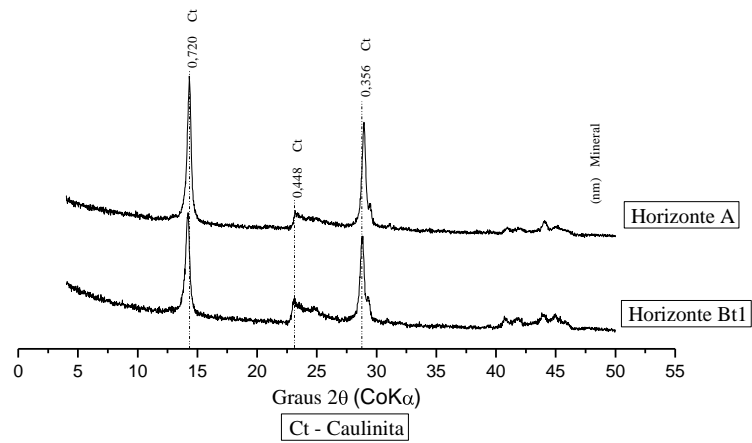
- VELOSO, M.E.C. Efeito de diferentes qualidades de água sobre algumas propriedades físico-químicas de um Brunizem Avermelhado. Viçosa, UFV: 1991. Dissertação (mestrado).
- VETTORI, L. & PIERANTONI, H. Análise granulométrica: novo método para determinar a fração argila. Rio de Janeiro: Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo-MA, 1968. 9p. (Boletim Técnico, 3)
- VETTORI, L. Métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 9)
- VIEIRA, L. S. Manual da ciência do solo: com ênfase aos solos tropicais. 2. ed. New York, Agronômica, 1988. 464p.
- WEBER, O.L.S; CHITOLINA, J.C.; CAMARGO, O.A. & ALLEONI, L.R.F. Método da adsorção de cézio para determinação da carga estrutural em solos altamente intemperizados. *Bragantia*, 64:109-113, 2005.
- YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of carbon in soil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 19:1467-1476, 1988.

APÉNDICE

APÊNDICE

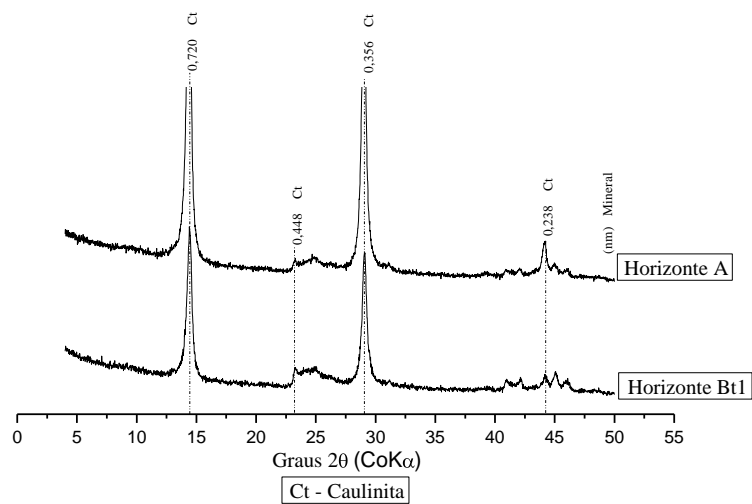


Perfil 1. Argissolo Vermelho Amarelo distrófico típico A húmico textura média/argilosa

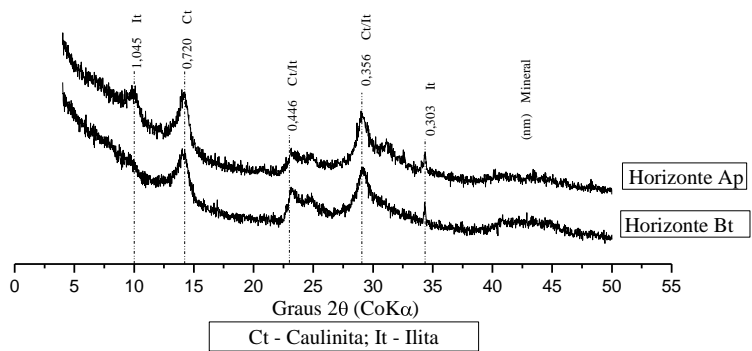


Perfil 2. Argissolo Amarelo distrófico latossólico A moderado textura média/argilosa

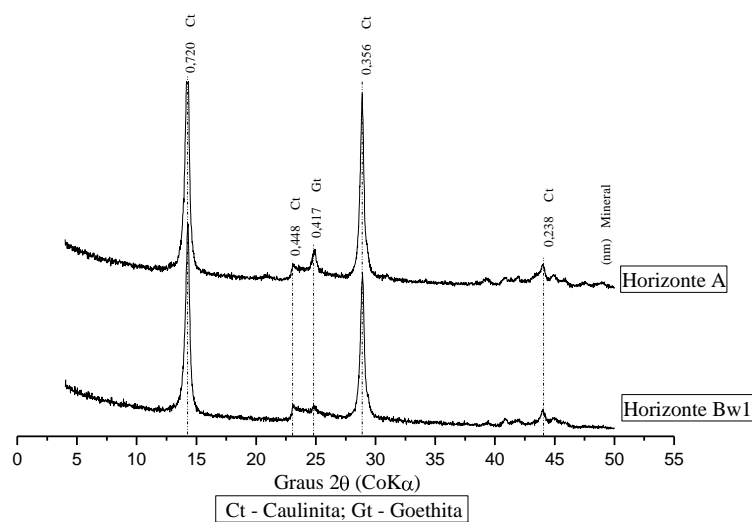
Figura 1A. Difrátogramas da fração argila natural dos perfis 1 e 2, horizontes superficiais e subsuperficiais.



Perfil 4. Argissolo Vermelho Amarelo distrófico típico A moderado textura média/argilosa

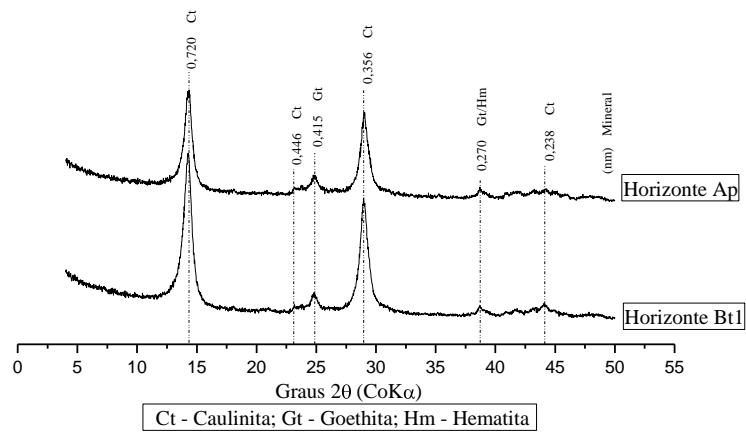


Perfil 5. Chernossolo Argilúvico órtico típico textura média/argilosa

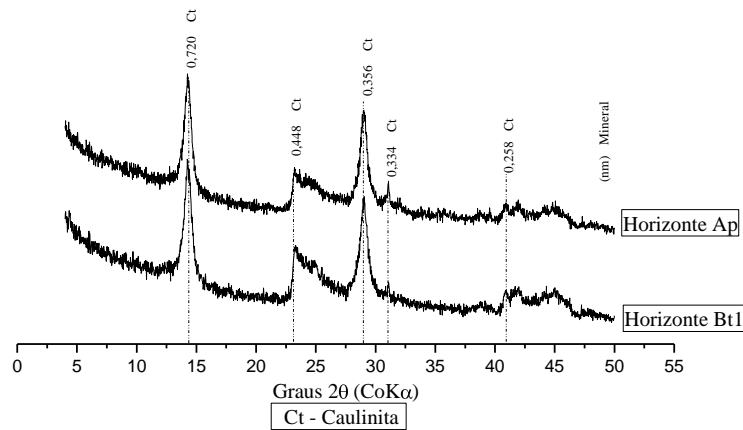


Perfil 6. Latossolo Amarelo coeso típico A moderado textura argilosa

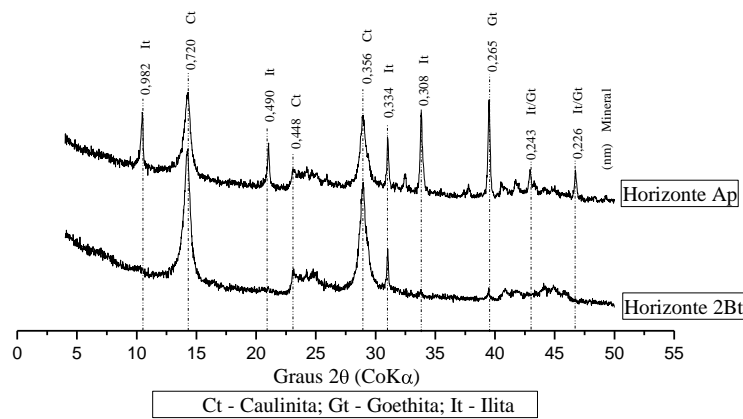
Figura 2A. Difrátogramas da fração argila natural dos perfis 4, 5 e 6, horizontes superficiais e subsuperficiais.



Perfil 7. Nitossolo Vermelho distroférrico típico A moderado textura muito argilosa

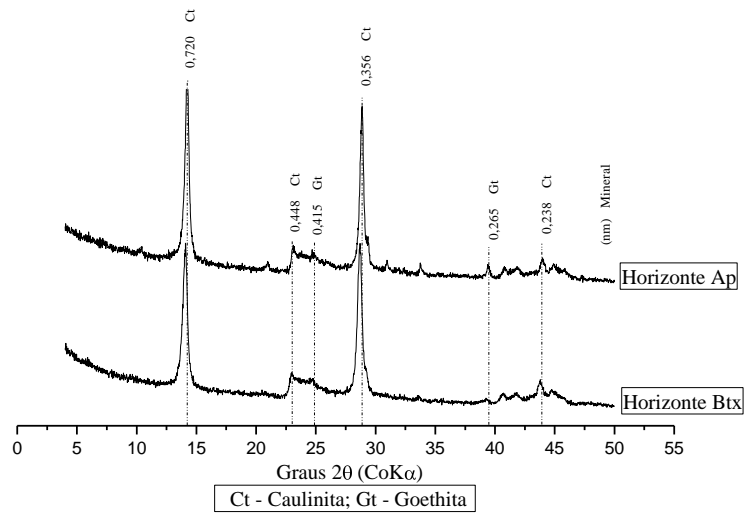


Perfil 8. Argissolo Vermelho eutrófico típico textura argilosa/muito argilosa

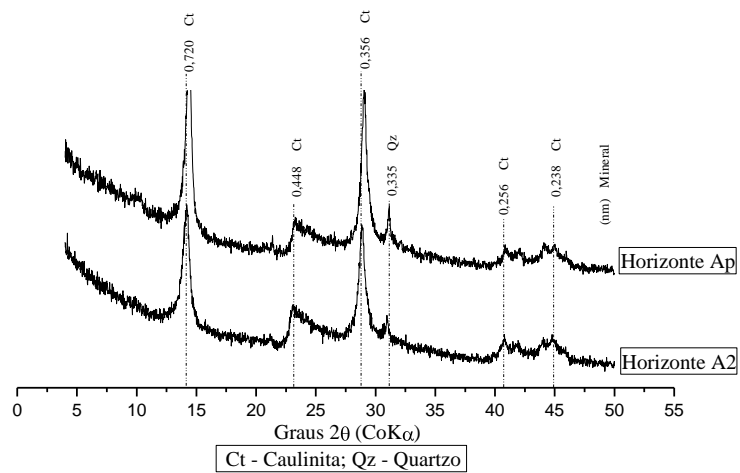


Perfil 9. Plintossolo Argilúvico distrófico abrupto A moderado textura média/argilosa

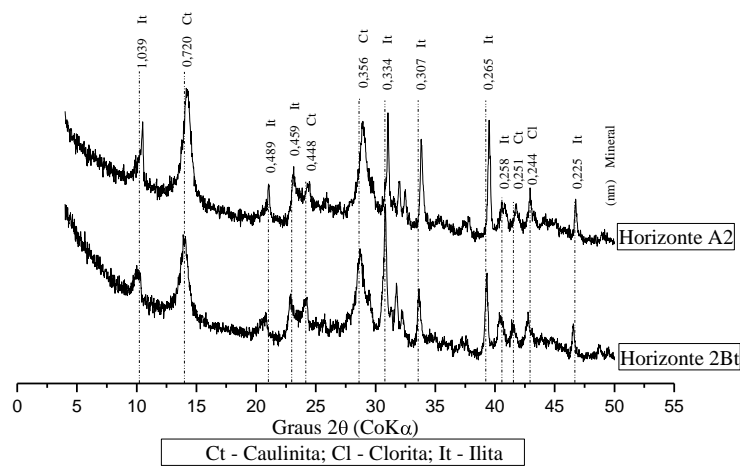
Figura 2A. Difratoformas da fração argila natural dos perfis 7, 8 e 9, horizontes superficiais e subsuperficiais.



Perfil 10. Argissolo Amarelo distrófico fragipânico A moderado textura média/argilosa

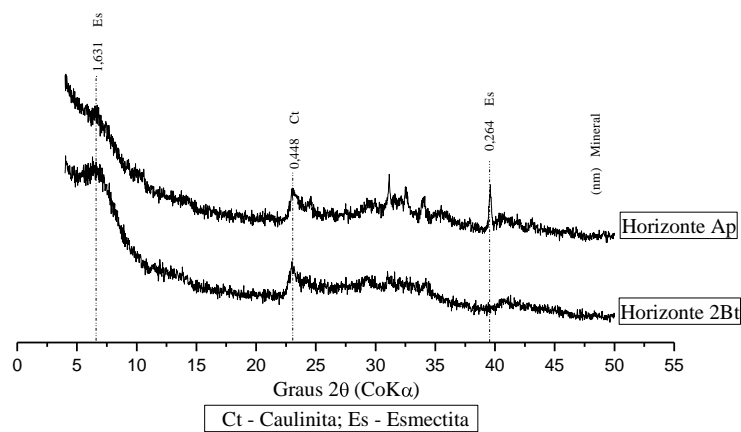


Perfil 12. Gleissolo Háptico Ta eutrófico típico A moderado textura argilosa

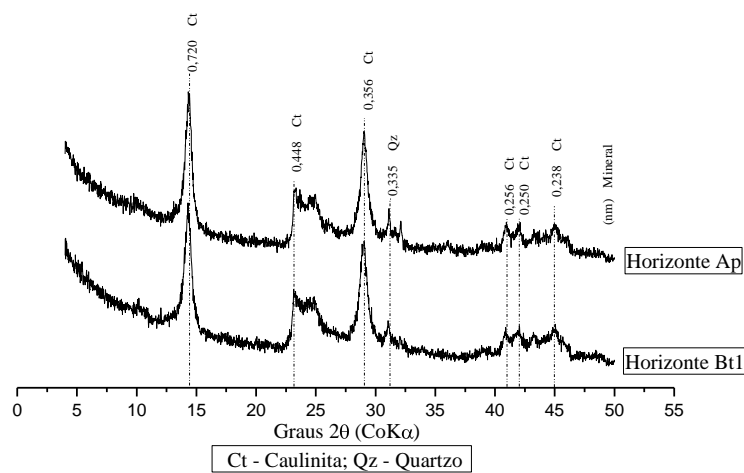


Perfil 14. Planossolo Háptico eutrófico arenício solódico A moderado textura arenosa/argilosa

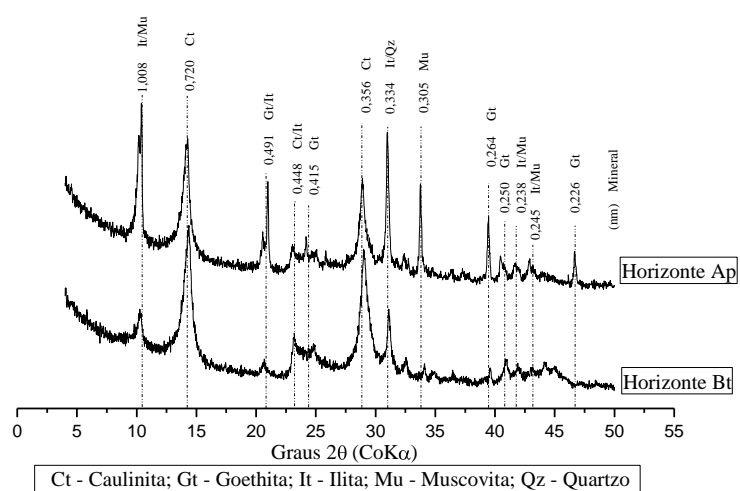
Figura 3A. Difractogramas da fração argila natural dos perfis 10, 12 e 14, horizontes superficiais e subsuperficiais.



Perfil 15. Planossolo Háplico eutrófico solódico A moderado textura média

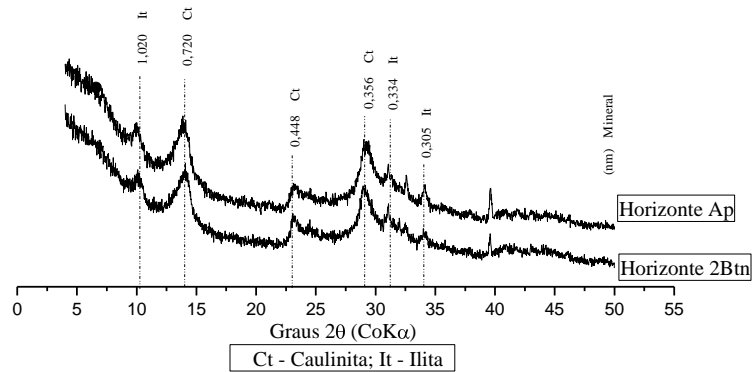


Perfil 16. Argissolo Vermelho eutrófico câmbico A moderado textura média

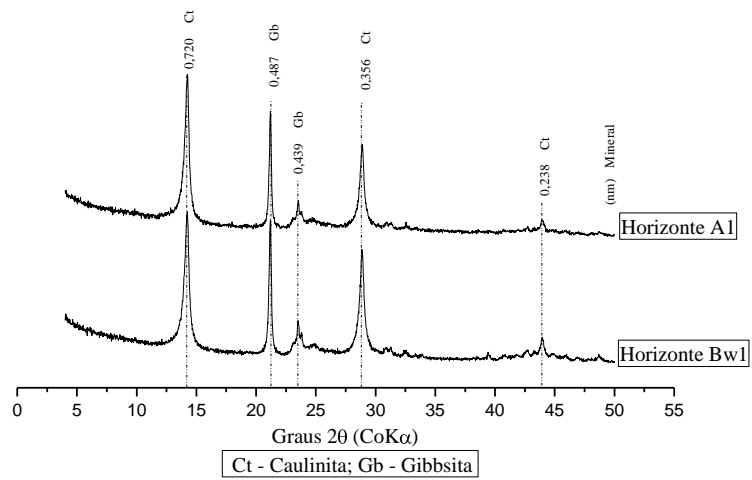


Perfil 18. Argissolo Amarelo distrófico abrupto plúntico A moderado textura média/muito argilosa

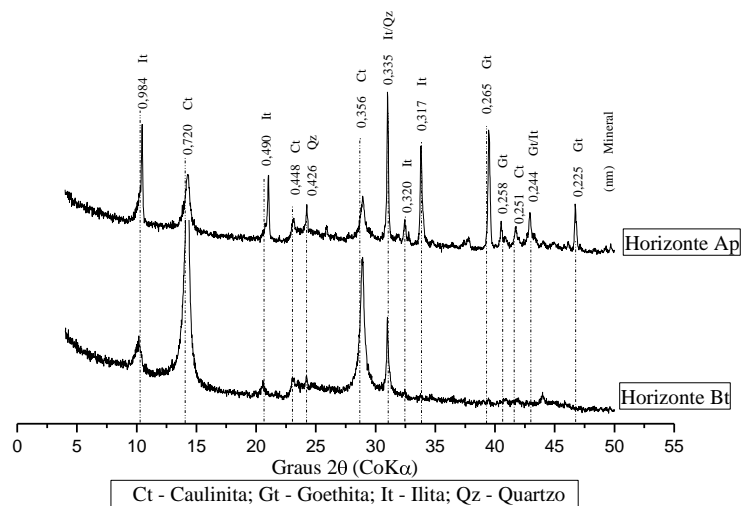
Figura 4A. Difractogramas da fração argila natural dos perfis 15, 16 e 18, horizontes superficiais e subsuperficiais.



Perfil 19. Planossolo Nátrico sálico típico A fraco textura média

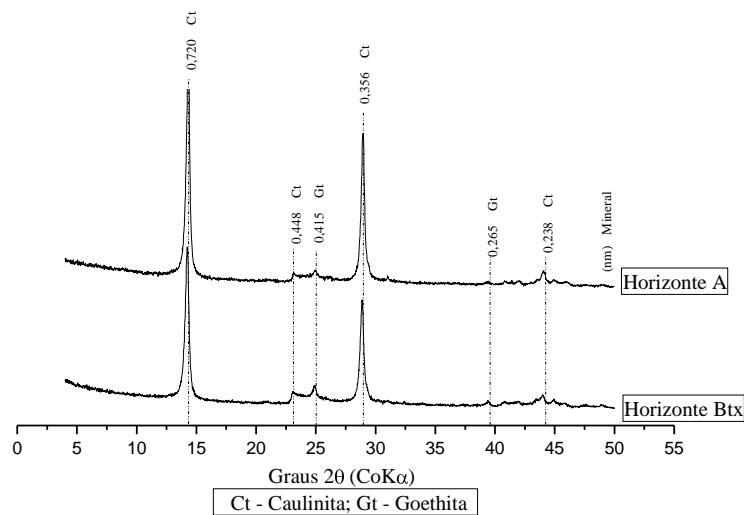


Perfil 20. Latossolo Vermelho Amarelo distrófico húmico textura argilosa

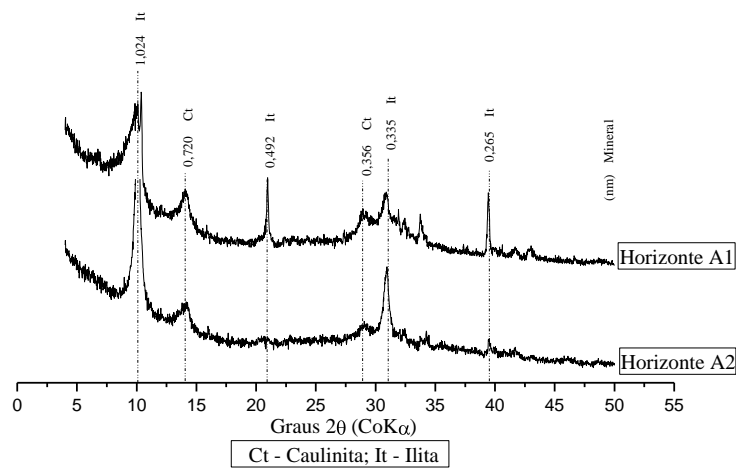


Perfil 21. Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico abrupto espessoarênico A moderado textura arenosa cascalhenta/argilosa

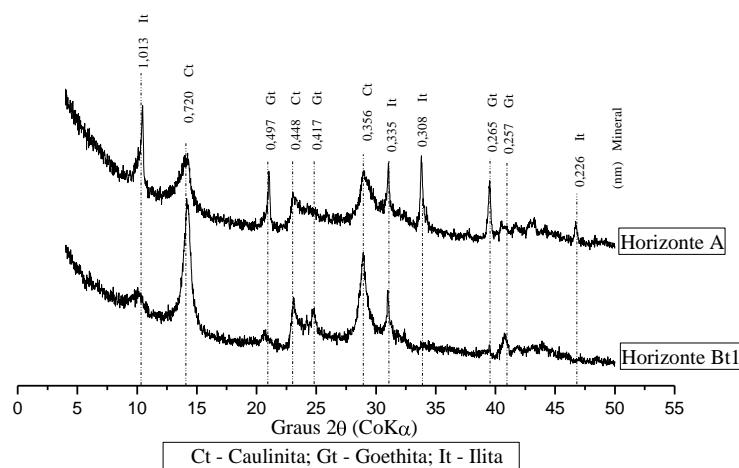
Figura 5A. Difractogramas da fração argila natural dos perfis 19, 20 e 21, horizontes superficiais e subsuperficiais.



Perfil 22. Argissolo Amarelo distrófico abrupto fragipânico A húmico textura argilosa/muito argilosa

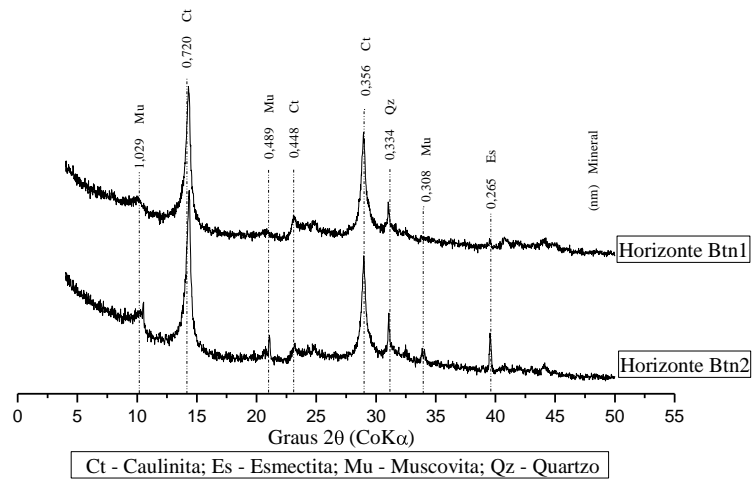


Perfil 22a. Neossolo Litólico Ta eutrófico típico A fraco textura média

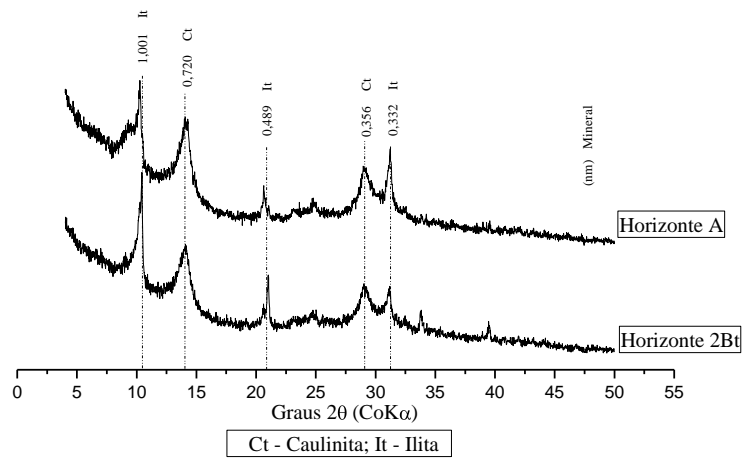


Perfil 23. Argissolo Amarelo eutrófico abrupto plântico textura média/argilosa

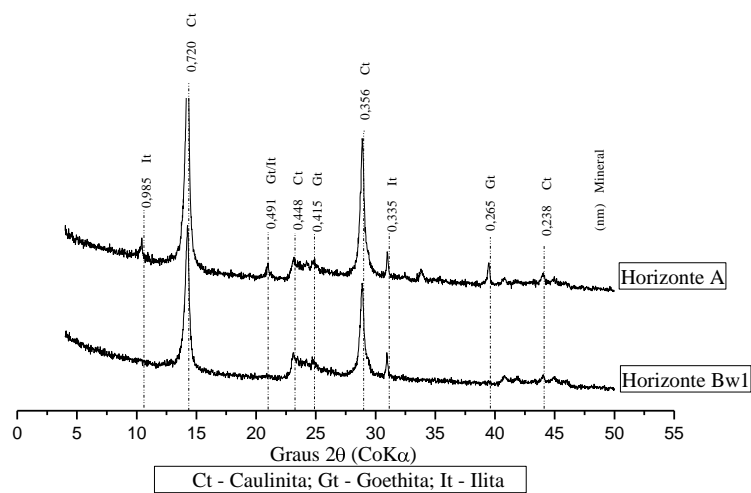
Figura 6A. Difrátogramas da fração argila natural dos perfis 22, 22a e 23, horizontes superficiais e subsuperficiais.



Perfil 24. Planossolo Nátrico sálico típico A fraco textura média/argilosa

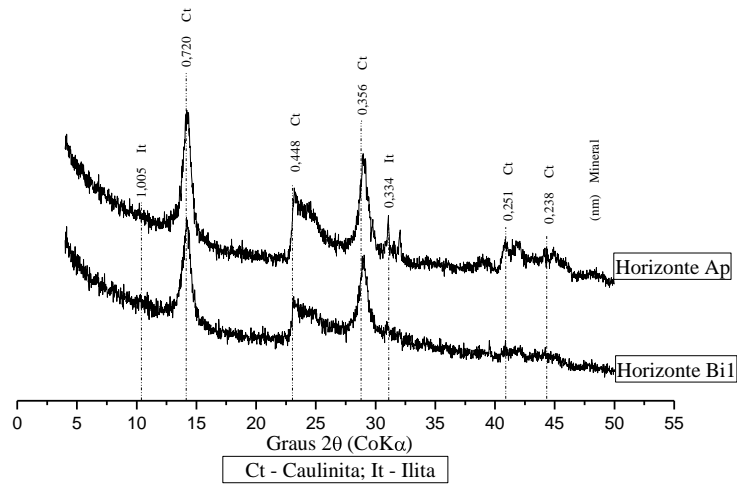


Perfil 29. Luvissole Crômico órtico típico A moderado textura média cascalhenta/argilosa

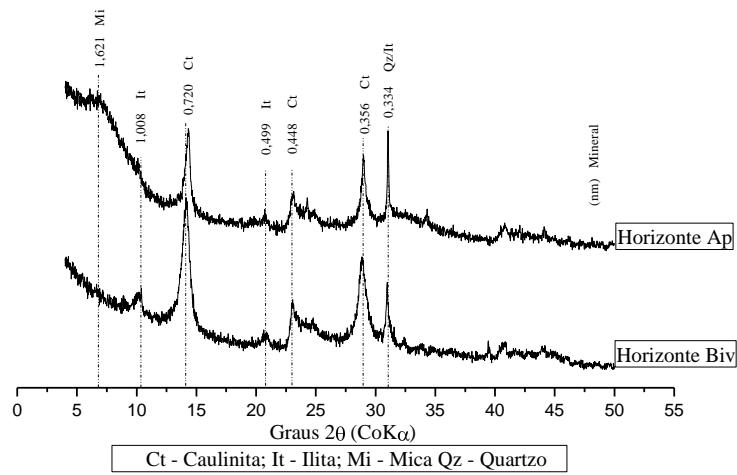


Perfil 30. Latossolo Amarelo distrófico argissólico A moderado textura média

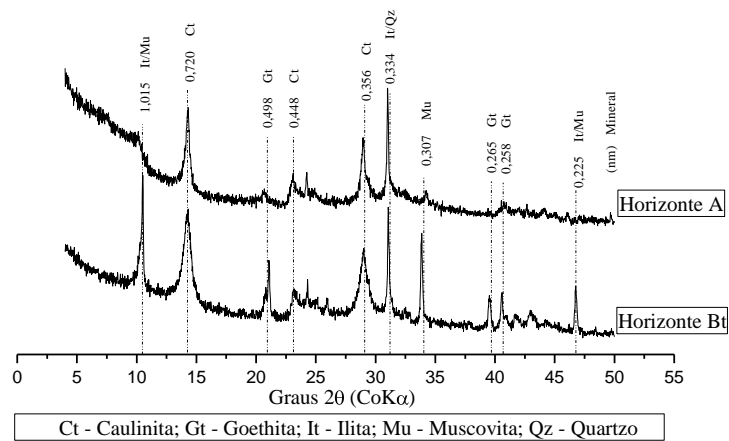
Figura 7A. Difractogramas da fração argila natural dos perfis 24, 29 e 30, horizontes superficiais e subsuperficiais.



Perfil 31. Cambissolo Háplico Tb eutrófico latossólico A moderado textura argilosa



Perfil 32. Vertissolo Cromado órtico chernossólico textura muito argilosa



Perfil 33. Argissolo Amarelo eutrófico plúntico A fraco textura média/argilosa

Figura 8A. Difractogramas da fração argila natural dos perfis 31, 32 e 33, horizontes superficiais e subsuperficiais.

Quadro 1A. Estatística descritiva das frações texturais das 52 amostras dos solos e horizontes analisados, considerando o dispersante químico

Medida	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
NaOH				
Média (kg kg ⁻¹)	0,300	0,241	0,155	0,305
Desvio-padrão (kg kg ⁻¹)	0,172	0,131	0,085	0,177
Valor Máximo (kg kg ⁻¹)	0,732	0,609	0,355	0,737
Valor Mínimo (kg kg ⁻¹)	0,013	0,008	0,036	0,049
Amplitude (kg kg ⁻¹)	0,719	0,601	0,319	0,688
C.V. (%)	57,20	54,30	55,40	59,70
(NaPO₃)_n + NaOH				
Média (kg kg ⁻¹)	0,296	0,248	0,156	0,300
Desvio-padrão (kg kg ⁻¹)	0,172	0,130	0,082	0,187
Valor Máximo (kg kg ⁻¹)	0,739	0,612	0,367	0,742
Valor Mínimo (kg kg ⁻¹)	0,017	0,011	0,042	0,040
Amplitude (kg kg ⁻¹)	0,722	0,601	0,325	0,702
C.V. (%)	58,00	52,10	52,70	61,90
(NaPO₃)_n + Na₂CO₃				
Média (kg kg ⁻¹)	0,298	0,247	0,157	0,298
Desvio-padrão (kg kg ⁻¹)	0,170	0,128	0,078	0,183
Valor Máximo (kg kg ⁻¹)	0,694	0,616	0,344	0,753
Valor Mínimo (kg kg ⁻¹)	0,014	0,009	0,043	0,035
Amplitude (kg kg ⁻¹)	0,680	0,607	0,301	0,718
C.V. (%)	57,20	51,90	49,50	61,60

Quadro 2A. Análise de variância das proporções das frações texturais determinadas nas 52 amostras dos solos e horizontes analisados utilizando NaOH, [(NaPO₃)_n + NaOH] e [(NaPO₃)_n + Na₂CO₃]

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio			
		Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
NaOH					
Blocos	3	0,005162*	0,002578*	0,000156	0,000916*
Tratamentos	51	0,117818*	0,068245*	0,029358*	0,132477*
Resíduo	153	0,000495	0,000872	0,000346	0,000188
C.V. (%)		7,41	12,28	12,02	4,50
(NaPO₃)_n + NaOH					
Blocos	3	0,001921*	0,004211*	0,000180	0,000451
Tratamentos	51	0,117844*	0,067115*	0,026900*	0,137744*
Resíduo	153	0,000659	0,000906	0,000433	0,000285
C.V. (%)		8,67	12,11	13,37	5,63
(NaPO₃)_n + Na₂CO₃					
Blocos	3	0,015460*	0,021801*	0,001419	0,000594
Tratamentos	51	0,116191*	0,065561*	0,023291*	0,134595*
Resíduo	153	0,001734	0,002240	0,000582	0,000455
C.V. (%)		13,97	19,17	15,33	7,17

* Significativo a 5 % de probabilidade pelo teste F.