

DINARA MATTIOLI LIMA

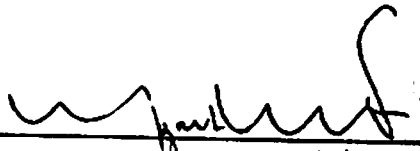
**INFLUÊNCIA DA MINERALOGIA E DA CONCENTRAÇÃO DE ELETRÓ-  
LITOS NA DISPERSÃO DA FRAÇÃO ARGILA DE LATOSSOLOS**

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura de Lavras, como parte das exigências do curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do grau de "MESTRE".

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS  
LAVRAS - MINAS GERAIS  
1992

**Influência da Mineralogia e da Concentração de Eletrólitos  
na Dispersão da Fração Argila de  
Latosolos**

Aprovada:



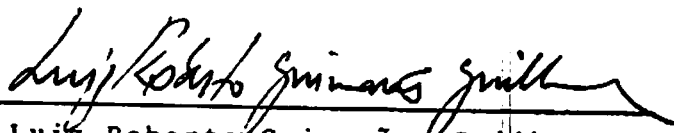
---

Mozart Martins Ferreira  
Orientador



---

Nilton Curi



---

Luiz Roberto Guimarães Guilherme

A Deus, princípio de  
todas as coisas

Aos meus pais, Emílio e Terézinha pela ajuda,  
compreensão e incentivo em todas as etapas de  
minha vida

Ao meu irmão Uéden e família pela amizade e  
apoio

Ao meu esposo Sérgio e ao meu filho Mayck,  
com amor

DEDICO.

## AGRADECIMENTOS

A Escola Superior de Agricultura de Lavras (ESAL) e em especial ao Departamento de Ciência do Solo da ESAL, pela oportunidade concedida para realização do curso de mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Mozart Martins Ferreira, pela orientação, incentivo e amizade.

Aos professores Nilton Curi, Luis Roberto Guimarães Guilherme e José Maria de Lima pelas sugestões e críticas no desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas do Departamento de Ciências do Solo, principalmente a Tânia Maria de Carvalho pela amizade e colaboração.

Aos funcionários do Departamento de Ciência do Solo, pelo convívio e colaboração.

A Agrocom Informática em especial ao Júlio César e Anderson pela digitação deste texto.

A todos que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

	Pag.
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Cargas Elétricas, Ponto de Carga Zero (PCZ) e Delta pH.....	3
2.2. Dupla Camada Elétrica Difusa.....	7
2.3. Fenômeno da Dispersão.....	11
2.4. Dispersão e Mineralogia da Fração Argila dos Latosolos.....	18
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1. Materiais de Solo Utilizados.....	21
3.2. Caracterização Física dos Materiais.....	23
3.2.1. Argila Total.....	23
3.2.2. Argila Dispersa em Água e Índice de Floculação.....	23
3.3. Caracterização Química dos Materiais.....	24
3.3.1. Complexo Sortivo e Ataque Sulfúrico.....	24
3.3.2. pH em Água e em Cloreto de Potássio.....	24
3.3.3. Ponto de Carga Zero.....	24
3.3.4. Carbono Orgânico.....	25
3.4. Espessura da Dupla Camada Difusa.....	25
3.5. Caracterização Mineralógica da Fração Argila.....	25
3.6. Análises Estatísticas.....	26

	Pag.
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
4.1. Complexo Sortivo e Carbono Orgânico.....	27
4.2. Mineralogia.....	28
4.3. Solução Dispersante e Suspensões dos Materiais Estudados.....	30
4.4. Ponto de Carga Zero, pH em Água, pH em KCl e Delta pH.....	31
4.5. Influência da Concentração na Dispersão da Fração Argila dos Materiais Latossólicos.....	38
4.6. Espessura da Dupla Camada Difusa.....	44
4.7. Influência da Mineralogia na Dispersão da Fração Argila de Materiais Latossólicos.....	46
5. CONCLUSÕES.....	52
6. RESUMO.....	53
7. SUMMARY.....	54
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56

## LISTA DE QUADROS

QUADROS	Pag.
01. Caracterização química dos materiais dos solos estudados.....	27
02. Teores de goethita e hematita na fração argila tratada com NaOH 5M dos diferentes materiais latossólicos estudados.....	28
03. Teores de caulinita e gibbsita da fração argila desferrificada dos diferentes materiais latossólicos estudados.....	29
04. Substituição isomórfica em Al e dimensão média dos cristais dos constituintes oxidicos da fração argila dos materiais latossólicos estudados.....	29
05. Valores de pH da solução do dispersante usado (NaOH 0,0N, 0,2N, 0,4N, 0,6N, 0,8N, 1,0N e 1,2N) e da suspensão obtida a partir dessas soluções, nos materiais de solo analisados.....	31
06. pH em água, pH em KCl, delta pH e PCZ dos materiais dos solos estudados.....	34
07. Ponto de carga zero de alguns minerais do solo.....	34
08. Conteúdo de argila total em função do dispersante químico, argila dispersa em água e índice de floculação dos materiais latossólicos estudados (média de 4 repetições).....	39
09. Espessura da dupla camada difusa dos materiais latossólicos estudados, para as seis diferentes concentrações de NaOH utilizadas.....	45
10. Coeficientes de correlação simples entre argila total obtida utilizando-se seis concentrações de NaOH e os constituintes mineralógicos dos materiais estudados.....	49



## LISTA DE FIGURAS

FIGURAS	Pag.
01. Representação esquemática da dupla camada elétrica difusa.....	8
02. Representação esquemática da distribuição de íons positivos e negativos em uma dupla camada difusa formada na interface de uma solução eletrolítica com uma superfície carregada negativamente.....	8
03. Força de repulsão em função da distância de separação entre as partículas.....	12
04. Força de Van der Waals em função da distância de separação entre as partículas.....	13
05. Interação entre partículas coloidais em três situações distintas.....	14
06. Energia líquida de interação em função da distância de separação entre as partículas. Baixa concentração eletrolítica.....	15
07. Energia líquida de interação em função da distância de separação entre as partículas. Média concentração eletrolítica.....	16
08. Energia líquida de interação em função da distância de separação entre partículas. Alta concentração eletrolítica.....	17
09. Localização do município de Lavras no Estado de Minas Gerais.....	22
10. Curvas de titulação potenciométrica e ponto de carga zero (PCZ) em amostras do horizonte Bw do Latossolo Vermelho - Amarelo (LV).....	32
... Curvas de titulação potenciométrica e ponto de carga zero (PCZ) em amostras do horizonte Bw do Latossolo Vermelho - Escuro (LE).....	33
-- Curvas de titulação potenciométrica e ponto de carga zero (PCZ) em amostras do horizonte Bw do Latossolo Roxo (LR).....	33

Figuras	Pag.
13. Relação entre PCZ e gibbsita da fração argila dos diferentes materiais latossólicos.....	36
14. Relação entre PCZ e caulinita da fração argila dos diferentes materiais latossólicos.....	36
15. Relação entre PCZ e hematita da fração argila dos diferentes materiais latossólicos.....	37
16. Relação entre PCZ e goethita da fração argila dos diferentes materiais latossólicos.....	37
17. Relação entre argila total e concentração de NaOH do Latossolo Vermelho - Amarelo.....	40
18. Relação entre argila total e concentração de NaOH do Latossolo Vermelho - Escuro.....	40
19. Relação entre argila total e concentração de NaOH do Latossolo Roxo.....	41
20. Eficiência relativa de dispersão para diferentes concentrações de NaOH no Latossolo Vermelho - Amarelo.....	43
21. Eficiência relativa de dispersão para diferentes concentrações de NaOH no Latossolo Vermelho - Escuro.....	43
22. Eficiência relativa de dispersão para diferentes concentrações de NaOH no Latossolo Roxo.....	44
23. Espessura da dupla camada elétrica em função da concentração eletrolítica.....	45
24. Relação entre teor de argila e gibbsita da fração argila dos diferentes materiais latossólicos.....	47
25. Relação entre teor de argila e caulinita da fração argila dos diferentes materiais latossólicos.....	47
26. Relação entre o teor de argila e goethita da fração argila dos diferentes materiais latossólicos.....	48
27. Relação entre argila dispersa em água e gibbsita da fração argila dos diferentes materiais latossólicos.....	50

## Figuras

Pag.

28. Relação entre argila dispersa em água e caulinita da fração argila dos diferentes materiais latossólicos..... 50
29. Relação entre argila dispersa em água e goethita da fração argila dos diferentes materiais latossólicos..... 51

## 1. INTRODUÇÃO

Dentre as frações granulométricas do solo, a fração argila apresenta grande importância por ser a fração ativa do solo, participando de praticamente todas as reações físico-químicas que ocorrem no mesmo. Esta fração pode ser composta por grande número de minerais e apresenta as seguintes características: encontra-se em estado coloidal apresentando cargas elétricas; capacidade de adsorção de íons e retenção de água; apresenta elevada superfície específica; plasticidade e pegajosidade; desempenha papel importante na cor e agregação dos solos minerais e é susceptível à dispersão e floculação (HILLEL, 1971).

Como a Ciência do Solo teve maior desenvolvimento inicial nas regiões temperadas, a maior parte dos trabalhos anteriormente realizados se aplica aos solos daquelas regiões, os quais apresentam predomínio de cargas negativas permanentes (RAIJ, 1986). Considerando que em condições tropicais úmidas, os processos intensos de intemperismo-lixiviação removem sílica e bases do perfil do solo durante a pedogênese, o que resulta em frações de argila dominada por minerais diferentes daqueles de regiões temperadas, torna-se importante verificar a influência da composição mineralógica dos solos dos trópicos nas propriedades físico-químicas dos mesmos.

Os Latossolos apresentam sua fração ativa forte ou totalmente dominada por colóides com carga elétrica variável, e por serem os solos predominantes no território brasileiro têm sido bem estudados ao longo dos anos. Mesmo assim, nota-se a carência de estudos específicos a respeito das propriedades físico-químicas dos mesmos associados à sua constituição mineralógica. Neste contexto, situa-se o fenômeno da dispersão, uma das etapas da análise granulométrica, que tem por finalidade destruir os agregados do solo, separando-os em partículas individualizadas e mantendo-as estáveis em suspensão durante toda a marcha analítica, garantindo o êxito da análise textural. Deste modo, se no campo o que se deseja é a floculação, que é essencial na formação e no desenvolvimento da estrutura dos solos, no laboratório o que se deseja é uma perfeita dispersão para que se possa realmente avaliar as quantidades de argila, silte e areia, que constituem uma informação extremamente importante para os cientistas que estudam o solo. De acordo com BAVER et alii (1972), para se conseguir uma suspensão de solo efetivamente dispersa há necessidade do uso de um dispersante químico. Para solos com predominância de  $H^+$  no complexo sortivo, como é o caso dos Latossolos, o NaOH tem-se mostrado o mais eficiente dispersante (CARVALHO, 1985).

Diante do exposto, o presente estudo teve por objetivo avaliar o comportamento da dispersão da fração argila de Latossolos com diferentes composições mineralógicas e sob diferentes concentrações de eletrólitos.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

Para o perfeito entendimento do fenômeno de dispersão da fração argila, há necessidade do conhecimento de importantes propriedades físico-químicas dos sistemas coloidais, tais como: balanço de cargas elétricas e comportamento da dupla camada difusa, propriedades essas que serão caracterizadas a seguir.

### 2.1. Cargas Elétricas, Ponto de Carga Zero (PCZ) e Delta pH

As reações principais que ocorrem nos solos são reações de superfície. Dessas, as que envolvem as cargas elétricas dos colóides se sobressaem do ponto de vista da física de solos pois influenciam sobremaneira em reações de floculação e dispersão (COSTA et alii, 1984).

Solos de regiões tropicais úmidas, com predomínio de óxidos de ferro e de alumínio e de argilas 1:1, apresentam, predominantemente, minerais do tipo potencial de superfície constante e carga variável (RAIJ & PEECH, 1972). A origem primária dessas cargas está ligada ao ganho ou perda de  $H^+$  do grupo funcional hidroxila na superfície dos colóides do solo. Essas cargas dependem do pH da solução, que regula o grau de protonação ou desprotonação do grupo funcional. Se a concentração de íons  $H^+$  na solução for alta, a superfície de óxidos metálicos poderá adsorver um número de prótons acima do necessário para a sua

neutralização, atingindo, assim, carga positiva  $(M - OH)_+$  (BOHN et alii, 1979). Podem ainda ocorrer, nos óxidos de ferro e de alumínio, cargas positivas permanentes, pela substituição isomórfica de  $Fe^{+3}$  por  $Ti^{+4}$ , de acordo com SUMNER & DAVIDTZ (1965).

Uma das maneiras de estudar as cargas dos colóides do solo é considerar o ponto de carga zero (PCZ), o qual é definido como o pH da solução em equilíbrio com o solo em que a carga elétrica líquida da superfície é nula (RAIJ, 1973).

Segundo RAIJ & PEECH (1972), o PCZ é o parâmetro mais importante para a descrição das propriedades decorrentes da dupla camada elétrica de interfaces reversíveis. Com ele é possível determinar o potencial da dupla camada elétrica (Equação 1) e com o potencial é possível determinar a distribuição de cargas elétricas dos solos.

$$U_0 = 59 (PCZ - pH) \dots \dots \dots \text{Equação 1}$$

onde  $U_0$  = Potencial superficial, em milivolts.

UEHARA & GILLMAN (1981) consideram o PCZ um parâmetro de grande importância em sistemas com carga variável porque ele determina o sinal da carga superficial líquida, ou seja, se o pH atual do sistema for menor do que o PCZ, a superfície estará carregada positivamente; por outro lado, ela estará carregada negativamente quando o pH for maior do que o PCZ.

Conforme FASSBENDER (1980), o PCZ também se mostra importante no que diz respeito à floculação ou dispersão de solos que

apresentam a possibilidade de reverter a carga superficial líquida, de positiva para negativa, com o aumento do pH, como é o caso dos sistemas cauliniticos e oxídicos. Assim, em condições de baixo pH haverá uma tendência de predominar cargas positivas no solo, produzindo uma repulsão entre as partículas, dispersando-as. Porém, ao se aumentar o pH, cargas negativas serão criadas até que se atinja um ponto no qual a carga elétrica líquida da superfície seja nula (PCZ). Neste ponto, a floculação ocorrerá; se o pH continuar aumentando, cargas negativas serão criadas, tornando a ocorrer a dispersão das partículas.

De acordo com FONTES et alii (1992), pode-se prever o ponto que favorece a dispersão do solo. Normalmente, à medida que se eleva o pH e se afasta do  $\text{pH} = \text{PCZ}$ , maior é a probabilidade dos colóides do solo se dispersarem e manterem uma boa estabilidade na dispersão. Isso ocorre porque quanto maior o pH, maior será a tendência de criação de cargas negativas na caulinita e principalmente nos óxidos de Fe e de Al. Por outro lado, tem-se que o pH a valores abaixo do PCZ do solo tende a promover maior número de cargas positivas que neutralizam cargas residuais negativas. Além disso a concentração hidrogeniônica será tal que haverá um ataque ácido nas estruturas das argilas silicatadas liberando o alumínio no meio, além do alumínio solubilizado de outras fontes no solo, que farão com que haja uma compressão na dupla camada difusa das argilas e conseqüentemente, floculação dos colóides.



A dispersão de argila frequentemente requer condições de pH elevado, havendo então necessidade de aumentar o pH, sem que o PCZ acompanhe esta elevação, para ocorrer a dispersão de argila (JUCKSCH, 1987).

Em misturas de materiais coloidais diferentes, como é o caso do solo, o PCZ resultante depende da interação das características individuais. Deste modo, o PCZ do solo depende fundamentalmente do teor de matéria orgânica e da composição mineralógica da fração argila, correspondendo os valores mais altos ao predomínio de gibbsita, hematita e goethita e, os mais baixos, à caulinita (RAIJ & PEECH, 1972; RAIJ, 1973 e EL-SWAIFY & TAMA, 1978).

A matéria orgânica torna mais baixo o PCZ dos solos oxídicos, de modo que neles o horizonte A costuma ter PCZ mais baixo que o horizonte B (RAIJ, 1973 e NASCIMENTO et alii, 1988). SIQUEIRA et alii (1990) tentando quantificar o efeito da matéria orgânica sobre o PCZ, verificaram que a contribuição do carbono para a variação do PCZ depende do grau de intemperismo do solo, avaliado através do índice  $K_i$  ou  $K_r$ , ou pela natureza dos colóides presentes na fração argila e que a matéria orgânica contribui para maior abaixamento do PCZ nos solos mais intemperizados ( $< K_i$ ).

CEHARA & GILLMAN (1981) mencionam que o PCZ corresponde a um ponto de máxima estabilidade química, havendo então a tendência do pH do solo em dirigir-se para ele, de modo que os solos de baixo PCZ tendem a ser mais ácidos que os solos com valores mais altos de PCZ. Os mesmos autores mencionam que o sinal e a magnitude do

delta pH, definido como a diferença entre o pH medido em KCl 1N e pH em água, corresponde ao sinal e magnitude da carga superficial do solo, e que valores de delta pH pequenos (menores do que 0,5 unidades), geralmente indicam um solo dominado por minerais com carga variável. Por outro lado, se o delta pH for um alto valor negativo, nada pode ser dito se a carga é variável ou permanente, indicando apenas uma elevada densidade de carga superficial negativa.

## 2.2. Dupla Camada Elétrica Difusa (D.C.E.D.)

A teoria da dupla camada, desenvolvida para descrever fenômenos que ocorrem em superfícies carregadas eletricamente, é de aplicação adequada por se tratar da variação de cargas elétricas em solos, mostrando-se inclusive apropriada para solos tropicais (RAIJ & PEECH, 1972 e RAIJ, 1986).

As cargas do complexo coloidal do solo estão neutralizadas por íons de sinal contrário adsorvidos em sua superfície. Grande parte destes íons, principalmente aqueles que estão mais próximos da superfície da argila, são eletrostaticamente atraídos pela superfície carregada, formando-se, na interface sólido-líquido, uma dupla camada elétrica (Figura 1). Entretanto, ao mesmo tempo, esses íons tendem a difundir-se na solução, apresentando um decréscimo na sua concentração à medida em que se distancia da superfície (Figura 2). Simultaneamente, há uma deficiência de íons de mesmo sinal próximo à superfície, pois esses íons são eletrostaticamente repelidos pela partícula (TAN, 1982).

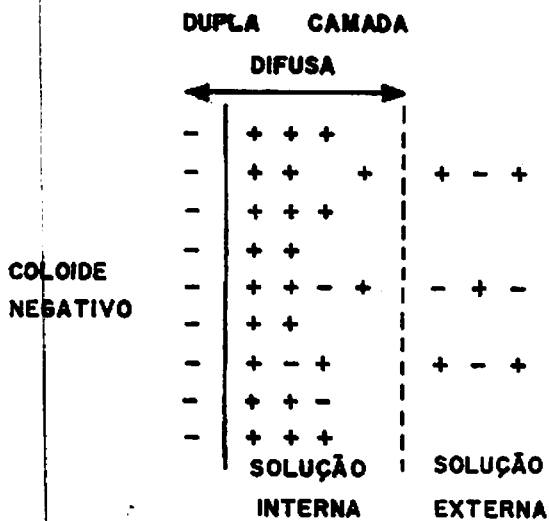


Figura 1. Representação esquemática da dupla camada elétrica difusa

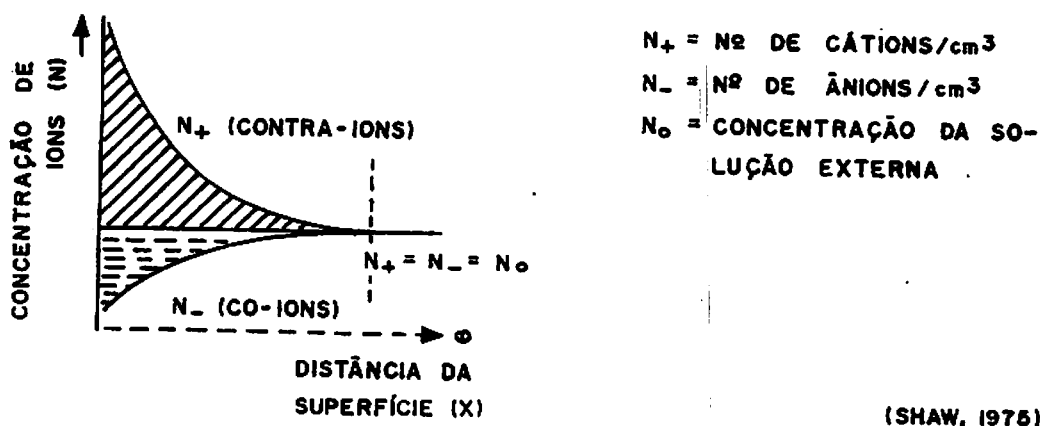


Figura 2. Representação esquemática da distribuição de íons positivos e negativos em uma dupla camada difusa formada na interface de uma solução eletrolítica com uma superfície carregada negativamente

De acordo com BAVER et alii (1972), a espessura da dupla camada difusa é determinada pela valência e concentração de íons de sinais opostos àqueles existentes na superfície das partículas. Esses dois fatores influenciam na energia de retenção dos cátions afetando a espessura da dupla camada. Quanto maior a valência e a concentração, maior será a compressão da dupla camada. Por outro lado, sob um baixo conteúdo eletrolítico na solução do solo, a dupla camada torna-se mais espessa. Normalmente, cátions polivalentes são retidos mais fortemente que os monovalentes do mesmo tamanho, segundo OLPHEN (1977). BAVER et alii (1972) mencionam que o raio iônico e o grau de hidratação também alteram a energia de ligação, isto é, quanto mais próximos os íons estiverem da superfície dos colóides, maior será a sua energia de retenção. Por outro lado, os íons que se tornam hidratados em solução terão um raio efetivo maior do que na forma não hidratada. Sendo assim, há uma tendência do sódio, que é um íon altamente hidratável, em promover duplas camadas mais espessas, e do potássio, por exemplo, em favorecer a compressão das mesmas. A espessura da dupla camada, para cátions monovalentes, segue a série liotrópica:  $Li > Na > K > Rb > Cs$  (OLPHEN, 1977).

Várias são as expressões empregadas para avaliação da espessura da dupla camada difusa. SHAW (1975) apresenta a seguinte expressão:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{0,328 \cdot 10^{10} \cdot \sqrt{c} \cdot Z}$$

onde,  $1/K$  = espessura da dupla camada em metros

$c$  = concentração da solução em moles por litro

$Z$  = valência do contra-íon

Essa expressão, conforme apontado por BAVER et alii (1972), mostra que a espessura da dupla camada é inversamente proporcional à valência do contra-íon e à raiz quadrada da concentração desse íon em solução.

OLPHEN (1977), menciona que :

$$\frac{1}{K} = \left( \frac{E \quad K \quad T}{2 \quad n \quad e^2 \quad v^2} \right)^{1/2}$$

sendo:  $1/K$  = "centro de gravidade da dupla camada difusa."

Este termo está diretamente relacionado com a espessura da dupla camada.

$n$  = concentração local de íons = Molaridade  $\times 10^3 \times n_0$   
Avogadro ( $6,02 \times 10^{23}$ ) íons/ $m^3$

$v$  = valência do íon

$e$  = carga elementar =  $1,602 \times 10^{-19} C$

$KT$  = constante Boltzmann  $\times T^\circ$  absoluta =  $0,4 \times 10^{-20} J$

$E$  = constante dielétrica do meio =  $80 \times 8,85 \times 10^{-12} J^{-1} C^{-2} m^{-1}$

Além de definir  $1/K$ , a equação apresenta as variáveis que afetam a espessura da dupla camada. Como  $K$  e  $e$  são constantes, os fatores que afetam a espessura da dupla camada são  $E$ ,  $T$ ,  $v$  e  $n$ :

Temperatura (T): o que a equação diz é que se tudo permanece constante, com o aumento da temperatura, a espessura da D.C.D. aumenta. A maior temperatura gera mais energia térmica para os íons e eles tendem a se difundir mais.

. Constante Dielétrica (E): é uma característica do solvente no qual as partículas coloidais estão dispersas. Maior constante dielétrica significa maior espessura da dupla camada.

. Valência do cátion (v): tem uma atuação inversamente proporcional, como deixa antever a equação. Geralmente à concentrações equivalentes de eletrólitos, cátions monovalentes nas posições de troca geram D.C.D. mais espessas que cátions divalentes.

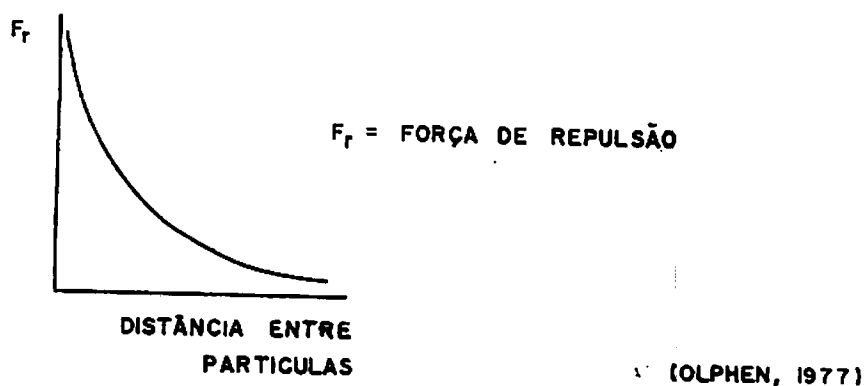
. Concentração de eletrólitos (n): segundo a equação, com o aumento na concentração de sais ou de eletrólitos a espessura da D.C.D. decresce.

Nota-se que nas equações normalmente utilizadas para calcular a espessura da dupla camada, não existe nenhum parâmetro que permita medir a influência da mineralogia na espessura da camada difusa.

### 2.3. Fenômeno da Dispersão

Para se entender com mais facilidade o fenômeno de dispersão e floculação de colóides, é importante uma noção do comportamento das forças de atração e repulsão que atuam nas partículas.

No que diz respeito a forças repulsivas, essas aparecem geralmente quando duas partículas carregadas, em suspensão, aproximam-se mutuamente, em função do movimento Browniano, e suas atmosferas difusas de íons contrários se interferem, havendo uma repulsão entre as partículas (GAST, 1977). O trabalho requerido para trazer essas partículas a uma dada distância entre elas é a energia repulsiva (OLPHEN, 1977). SHAW (1975) considera a força de repulsão como decrescendo exponencialmente com o aumento da distância que separa as partículas (Figura 3), e sendo influenciada pela concentração de eletrólitos em solução e pelo tipo de cátion saturando o colóide.



(OLPHEN, 1977)

Figura 3. Força de repulsão em função da distância de separação entre as partículas

De maneira oposta a essas forças repulsivas existem forças atrativas entre as partículas, chamadas de "Forças de Van der Waals". Essas compreendem as forças de atração entre dois átomos e são aditivas, ou seja, a atração entre duas partículas é a soma total de todas as forças entre cada átomo de uma partícula e cada átomo da outra partícula. Quando se observa que cada partícula é composta de um grande número de átomos pode-se ver que essas forças de Van der Waals se tornam significativas nessa interação (GAST, 1977). Segundo OLPHEN (1977), a magnitude total dessa força depende do tamanho e forma da partícula, sendo, no entanto, independente da concentração do sistema. O mesmo autor afirma que nos experimentos que têm sido feitos tentando-se medir a força atrativa de Van der Waals, tem-se usado somente distâncias maiores do que aquelas de interesse nos sistemas coloidais. As forças de Van der Waals diminuem com a distância de separação entre as partículas e podem ser caracterizadas conforme mostrado na Figura 4.

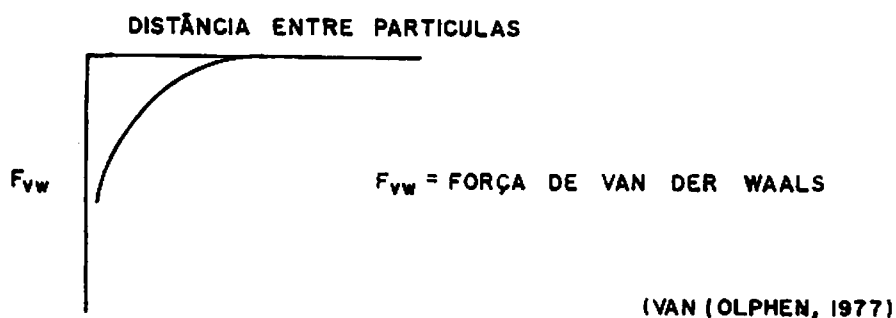
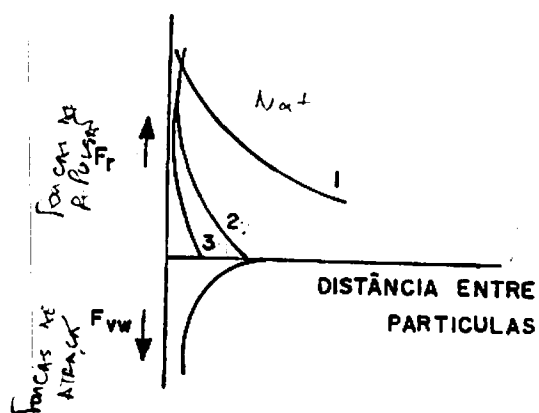


Figura 4. Força de Van Der Waals em função da distância de separação entre as partículas



As interações entre partículas coloidais carregadas fazendo com que estas estejam dispersas ou floculadas são resultantes de um balanço entre forças atrativas de Van der Waals e forças repulsivas incluindo a repulsão da dupla camada elétrica (SHAW, 1975; OLPHEN, 1977; GAST, 1977 e TAN, 1982). De acordo com GAST (1977), a magnitude das forças repulsivas da dupla camada elétrica é que determina se as partículas estão dispersas ou floculadas.

OLPHEN (1977) menciona que o comportamento das partículas no sentido floculante ou dispersante pode ser observado sob três situações distintas conforme ilustrado na Figura 5.

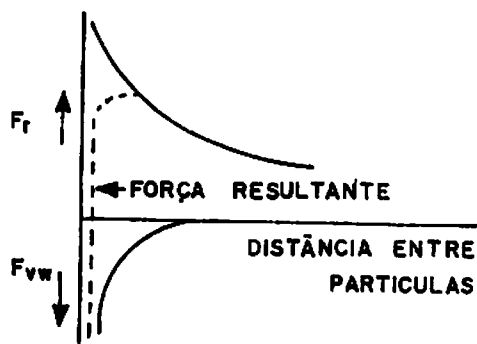


(VAN/OLPHEN, 1977)

Figura 5. Interação entre partículas coloidais em três situações distintas:

1. Baixa concentração de eletrólitos ou cátions monovalentes como  $\text{Na}^+$  ou  $\text{Li}^+$
2. Média concentração de eletrólitos ou cátions divalentes como  $\text{Ca}^{+2}$  ou  $\text{Mg}^{+2}$
3. Alta concentração de eletrólitos ou cátions trivalentes como  $\text{Al}^{+3}$

Na situação 1 (Figura 5), caracterizada por uma baixa concentração de eletrólitos ou pela presença de cátions monovalentes de raio hidratado grande, como  $\text{Li}^+$  ou  $\text{Na}^+$ , a dupla camada difusa vai estar com uma grande espessura. A resultante das forças de atração e repulsão ficará conforme mostrado na Figura 6.

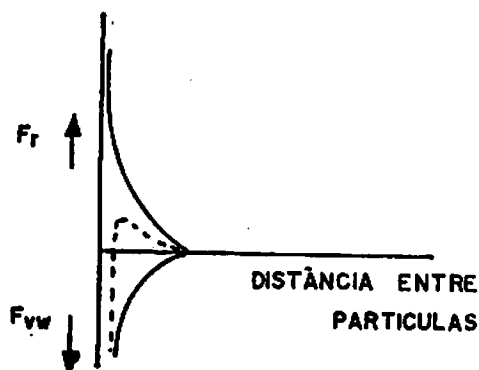


(VAN (OLPHEN, 1977)

Figura 6. Energia líquida de interação em função da distância separação entre as partículas. Baixa concentração eletrolítica

A linha tracejada significa a força resultante entre as forças de atração e repulsão que irão atuar entre as partículas. Nessas condições, devido a dupla camada relativamente espessa, decresce a possibilidade de aproximação mútua das partículas de argila, fazendo com que as forças repulsivas dominem a força atrativa de Van der Waals, o que favorece a dispersão das partículas coloidais.

A situação 2 (Figura 5) é caracterizada por uma concentração média de eletrólitos ou pela presença de cátions divalentes como o  $\text{Ca}^{+2}$  ou  $\text{Mg}^{+2}$ , o que faz com que a dupla camada seja parcialmente comprimida. A resultante ficará conforme ilustrado pela Figura 7.



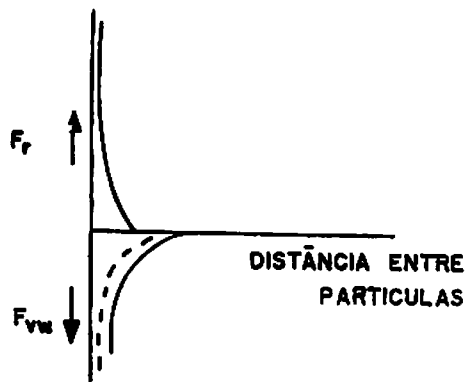
(VAN (OLPHEN, 1977))

Figura 7. Energia líquida de interação em função da distância de separação entre as partículas. Média concentração eletrolítica

A força resultante continua tendo uma influência das forças de repulsão e nessas condições, a floculação ocorre lentamente.

No caso 3 (Figura 5), à concentrações altas de eletrólitos ou na presença de cátions polivalentes como  $\text{Al}^{+3}$ , a dupla camada difusa é intensamente comprimida.

Nesse caso, as chances de aproximação são possíveis pela compressão da dupla camada. A resultante (Figura 8) mostra que as forças de atração superam as forças repulsivas e a floculação das partículas coloidais ocorre rapidamente.



(VAN (OLPHEN, 1977))

Figura 8. Energia líquida de interação em função da distância de separação entre partículas. Alta concentração eletrolítica

TAN (1982) menciona que quando a distância entre partículas é de 20 Å ou menos, forças de Van der Waals dominam, e as partículas estarão floculadas. Em distâncias superiores a 20 Å, forças repulsivas são dominantes, criando uma suspensão estável de argila.

Segundo GAST (1977), para a maioria dos solos, os íons  $Al^{+3}$ ,  $H^{+}$ ,  $Ca^{+2}$  e  $Mg^{+2}$  são dominantes nas duplas camadas, e esses íons tendem a reduzir as forças repulsivas da dupla camada elétrica para um ponto em que estas sejam menores do que as forças atrativas de Van der Waals, fazendo com que as partículas do solo formem agregados. Efeito diferente acontece em solos com quantidades apreciáveis de  $Na^{+}$ . Sob tais condições, as forças repulsivas podem predominar sobre as forças atrativas, resultando na dispersão das partículas do solo e pobres propriedades físicas do mesmo. Por outro lado, elevadas quantidades de  $Na^{+}$  resultam na floculação, por causa do alto conteúdo eletrolítico na solução do solo que comprime a dupla camada iônica.

#### 2.4. Dispersão e Mineralogia da Fração Argila dos Latossolos

A teoria da dispersão está embasada predominantemente em sistemas mineralógicos de ocorrência em condições de clima temperado. Poucas são as informações envolvendo minerais predominantes em clima tropical.

Caulinita, gibbsita, goethita e hematita, em diferentes proporções, são os principais minerais da fração argila dos Latossolos brasileiros (RESENDE & FRANZMEIER, 1982). Segundo NASCIMENTO et alii (1988), estes solos têm a sua fração ativa forte ou totalmente dominada por colóides de cargas dependentes de pH.

Caulinita é um aluminossilicato de ocorrência extremamente grande em solos brasileiros, cuja estrutura é formada por empilhamento de camadas 1:1, que são constituídas por uma lâmina tetraedral de silício e uma octaedral de alumínio. Pela presença de grupos hidroxila expostos e pela baixa taxa de substituição isomórfica, ela apresenta predominância de carga dependente de pH (TAN, 1982). O ponto de carga zero da caulinita varia de 0,0 a 5,0, segundo EL-SWAIFY & TAMA (1978). BELL & GILLMANN (1978), entretanto, encontraram uma variação menor para esse parâmetro (de 3,0 a 3,5).

A pequena carga negativa da caulinita dificulta, sob este aspecto, a sua dispersão e quando esta é tratada com NaOH, o seu pH pode atingir valores elevados (8,2 a 10,9), propiciando grande aumento na densidade de carga e uma melhor dispersão (DIXON, 1979).

Gibbsita é um polimorfo de hidróxido de alumínio comum em solos, cujo ponto de carga zero varia de 7,8 a 9,5 (EL-SWAIFY & TAMA, 1978). Deste modo, partículas de hidróxidos de alumínio são sempre carregadas positivamente em meio ácido e como essas cargas não são inteiramente satisfeitas, elas tendem a se ligar a partículas de argila silicatada carregadas negativamente e de matéria orgânica. Por causa da carga positiva de hidróxido de alumínio decrescer com o aumento do pH e tamanho da partícula, a efetividade cimentante deve seguir a mesma tendência, exercendo, sob este aspecto, pouco efeito na agregação do solo no seu ponto de carga zero (HSU, 1977).

Segundo HERBILLON (1985), os óxidos de ferro se encontram na categoria de minerais com carga variável, e são caracterizados por apresentar uma interface reversível, conferindo aos solos ricos neste tipo de constituinte, propriedades superficiais peculiares.

Como os óxidos de ferro, em meio aquoso, possuem hidroxilas na sua superfície, a carga superficial é determinada pela concentração de íons  $H^+$  e  $OH^-$  na solução. Além do pH, a carga depende também da concentração e valência de eletrólitos na solução (SCHWERTMANN & TAYLOR, 1977).

O ponto de carga zero da hematita sintética (Atkinson et alii, 1967 e Breeuwsma, 1973) e da goethita (Atkinson, 1969), todos citados por SCHWERTMANN & TAYLOR (1977), encontra-se variando de pH 7,5 a 9,3, sem uma diferença significativa entre os dois minerais. Os valores de PCZ são geralmente mais baixos para amostras naturais do que para as sintéticas. EL-SWAIFY & TAMA .

(1978) encontraram para a hematita ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ), PCZ = 8,2 e, para a goethita ( $\alpha\text{-FeOOH}$ ), PCZ = 8,5.

UEHARA & GILLMAN (1981) sugerem que nesses sistemas com carga variável, alguma carga coloidal permanente acompanha os componentes de carga variável.

A menos que abaixado pela presença de uma quantidade significativa de matéria orgânica, o PCZ dos oxissolos encontra-se entre aqueles da caulinita e dos óxidos de ferro e de alumínio (EL-SWAIFY & TAMA, 1978).

Do exposto, percebe-se que como o fenômeno da dispersão ocorre na interface sólido-líquido e depende da espessura da dupla camada difusa, espera-se que este seja influenciado pela fase sólida tanto quanto o é pela solução do solo. Isto se torna difícil de ser quantificado uma vez que nas expressões normalmente utilizadas para se calcular a espessura da camada difusa não existe nenhum parâmetro que permita verificar a influência da mineralogia.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Materiais de Solo Utilizados

No presente estudo utilizaram-se amostras deformadas de materiais do horizonte B de latossolos (vermelho-amarelo, vermelho-escuro e roxo) de ocorrência no município de Lavras. Lavras situa-se no sul de Minas Gerais, a 21°15' de latitude sul e a 45° de longitude W.G. (Figura 9). A região apresenta clima Cwb segundo classificação de Köppen (CASTRO NETO, 1982). A seleção destes materiais foi feita procurando variação quanto à constituição mineralógica dos mesmos. Informações pedológicas detalhadas concernentes a tais materiais de solos podem ser encontradas em BAHIA (1975), LIMA (1987) e LIMA (1987).



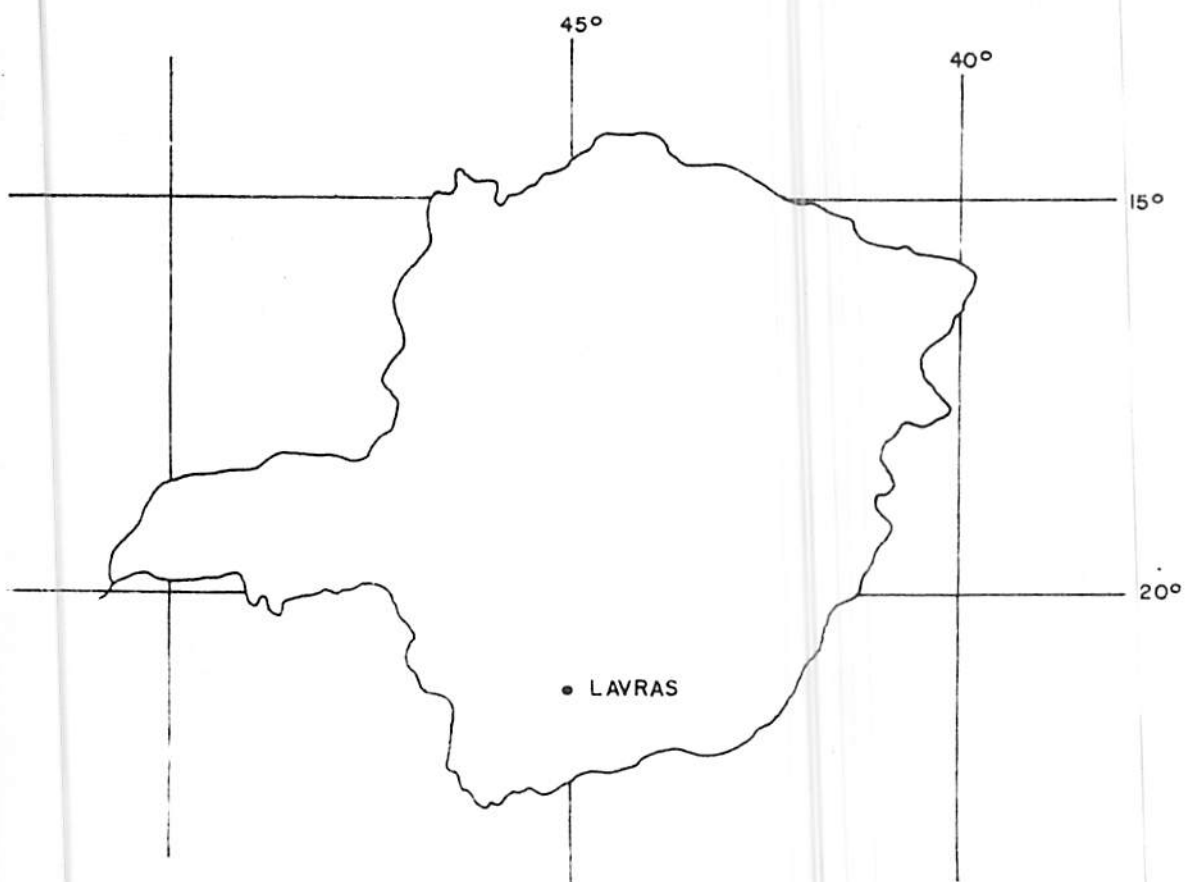


Figura 9. Localização do município de Lavras no Estado de Minas Gerais

### 3.2. Caracterização Física dos Materiais

#### 3.2.1. Argila Total

Para a determinação da argila total, empregou-se o método da pipeta (DAY, 1965), realizando-se a dispersão da amostra correspondente a 10g de terra fina seca em estufa (TFSE), em suspensão contendo 10ml de dispersante químico (NaOH), nas seguintes concentrações: 0,2N, 0,4N, 0,6N, 0,8N, 1,0N e 1,2N. A dispersão mecânica foi feita submetendo-se a amostra à agitação rápida durante 10 minutos. Para o cálculo do tempo de sedimentação, empregou-se a lei de Stokes, conforme BAVER et alii (1972). Determinou-se a eficiência relativa de dispersão (ERD), utilizando-se a expressão:

$$ERD \% = \frac{\% \text{ Argila total}}{\% \text{ Argila total (máxima dispersão)}} \times 100$$

#### 3.2.2. Argila Dispersa em Água e Índice de Floculação

A argila dispersa em água foi também obtida pelo método da pipeta (DAY, 1965), sem a utilização do agente químico dispersante.

A partir dos dados de argila total, dispersa com NaOH 1,0N e argila dispersa em água, determinou-se o índice de floculação (I.F.), utilizando-se a expressão:

$$I.F. \% = \frac{\% \text{ Argila total} - \% \text{ argila dispersa em água}}{\% \text{ Argila total}} \times 100$$

### 3.3. Caracterização Química dos Materiais

#### 3.3.1. Complexo Sortivo e Ataque Sulfúrico

Determinados segundo VETTORI (1969) e EMBRAPA (1979): Ca, Mg e Al (extraídos pelo KCl 1N); P, Na e K (extrator de Mehlich-1) e H + Al (acetato de cálcio 1N a pH 7,0); Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> do ataque sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1:1-v/v).

#### 3.3.2. pH em Água e em Cloreto de Potássio

O pH foi determinado empregando-se a relação 1:2,5 de solo: água e solo: KCl 1N, segundo VETTORI (1969).

#### 3.3.3. Ponto de Carga Zero (PCZ)

Determinado pelo método de RAIJ (1973), com algumas modificações.

Utilizaram-se amostras de 5g de material de solo, às quais se adicionou 25ml de soluções de NaCl 0,1N, 0,01N e 0,001N. As leituras de pH foram executadas 72 horas após o contato da solução de NaCl com a amostra.

Acrescentou-se sucessivamente 1ml de ácido (HCl 0,02N), ou 1ml de base (NaOH 0,02N) aos recipientes correspondentes. Aguardado o mesmo tempo de contato, foram realizadas as leituras de pH até que estes valores estivessem em torno de 2,5 (ácido) e 8,0 (base).

O valor do PCZ foi obtido plotando-se os valores de pH em função da quantidade do ácido ou base adsorvido pelo solo. O valor do pH no qual ocorre a intersecção das curvas corresponde ao PCZ.

### 3.3.4. Carbono Orgânico

Determinado pelo método calorimétrico Dakota do Sul modificado, conforme QUAGGIO & RAIJ (1979).

### 3.4. Espessura da Dupla Camada Difusa

A espessura da D.C.D. foi determinada segundo SHAW (1975), utilizando-se a expressão:

$$1/K = \frac{1}{0,328 \cdot 10^{10} \sqrt{c} \cdot Z}$$

onde,

c = concentração da solução em moles por litro

Z = valência do contra-íon

### 3.5. Caracterização Mineralógica da Fração Argila

Caulinita e gibbsita foram quantificadas, na fração argila desferrificada, por meio de análise térmica diferencial.

A mineralogia dos óxidos de ferro foi analisada na fração argila com base nos difratogramas obtidos em aparelho de raios X, após a concentração dos mesmos com NaOH 5M (KÄMPF & SCHWERTMANN, 1982).

A dimensão média dos cristais foi calculada usando a equação de Scherrer (KLUG & ALEXANDER, 1974).

A substituição isomórfica do Fe pelo Al na hematita foi calculada de acordo com o método de SCHWERTMANN et alii (1979); para a goethita utilizou-se o método de SCHULZE (1981).

### 3.6. Análises Estatísticas

Os dados resultantes das determinações físicas, químicas e mineralógicas foram submetidos a análises estatísticas de regressão e correlação.

## 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Complexo Sortivo e Carbono Orgânico

Observando-se os resultados do Quadro 1, verifica-se que todos os materiais latossólicos estudados são pobres em bases e distróficos. O íon  $H^+$  contribui com mais de 80% da capacidade de troca catiônica (valor T) dos materiais. Os teores de carbono orgânico variam de 0,64% a 1,18%, equivalentes a níveis baixo (LV) e médio (os demais) de carbono orgânico no solo.

A análise global do Quadro 1, revela que esses resultados seguem os padrões pertinentes às peculiaridades de materiais de horizontes B latossólicos.

Quadro 1. Caracterização Química dos Materiais dos Solos Estudados

Material	Complexo Sortivo							Saturação		Carbono Orgânico	
	$K^+$	$Ca^{+2}$	$Mg^{+2}$	$Na^+$	Valor S	$Al^{+3}$	$H^+$	Valor T	Bases (V)		Al (m)
	ppm				meq/100cc			%			
LV	5	0,2	0,1	0,0	0,3	0,1	2,5	2,9	11	24	0,64
LE	14	0,4	0,1	0,0	0,5	0,4	4,1	5,0	11	42	1,18
LR	16	0,1	0,1	0,0	0,3	0,1	3,5	3,9	7	28	0,94

#### 4.2. Mineralogia

Nos Quadros 2 a 4 encontram-se os resultados da mineralogia quantitativa dos materiais estudados. Observa-se no Quadro 2 que, em todos os materiais de solos estudados, a goethita é o óxido de Fe predominante.

Pelos resultados da análise térmica diferencial (Quadro 3), nota-se que, proporcionalmente, o LV é mais caulínítico e o LR mais gibbsítico, estando o LE intermediariamente entre estes dois.

Quadro 2. Teores de Goethita e Hematita na Fração Argila Tratada com NaOH 5M dos Diferentes Materiais Latossólicos Estudados.

Material	Goethita (Gt)	%	Hematita (Hm)	$\frac{Gt}{Gt + Hm}$
LV	7,0		0,3	0,96
LE	16,6		2,1	0,89
LR	17,5		10,9	0,62

Quadro 3. Teores de Caulinita e Gibbsita da Fração Argila Desferrificada dos Diferentes Materiais Latossólicos Estudados.

Material	Caulinita (Ct)	Gibbsita (Gb)	Ct		
			Ct + Gb		
		%			
LV	35	27	0,56		
LE	30	40	0,42		
LR	19	47	0,28		

Os teores de substituição isomórfica do Fe pelo Al nas estruturas da goethita e hematita, bem como as dimensões médias dos cristais destes minerais são apresentados no Quadro 4. Observa-se que a substituição por Al varia de 22 a 33 mol % na goethita e 11 a 15 mol % na hematita, o que contribuiu para que os cristais da goethita se apresentassem como possuindo menores dimensões, quando comparados com os da hematita. Essas tendências confirmam as observações de KÄMPF et alii (1988).

Quadro 4. Substituição Isomórfica em Al e Dimensão Média dos Cristais dos Constituintes Oxídicos da Fração Argila dos Materiais Latossólicos Estudados.

Material	Substituição Isomórfica em Al		Dimensão Média dos Cristais		
	Gt (110 e 111)	Hm (110)	Gt (110)	Hm (110)	
		mol %			
LV	33	11	17	34	
LE	24	11	18	28	
LR	22	15	20	25	



#### 4.3. Solução Dispersante e Suspensões dos Materiais Estudados

Os valores de pH das soluções de NaOH nas seis concentrações usadas, bem como do pH das respectivas suspensões envolvendo as soluções de NaOH nos materiais latossólicos analisados, além do pH das suspensões dos materiais latossólicos em água são apresentados no Quadro 5. Observa-se que o pH da solução de NaOH é superior ao pH da respectiva suspensão. Em ambos os casos (solução e suspensão) a variação de pH com a concentração se verifica de maneira pouco acentuada na faixa de 0,2N até 1,2N de NaOH. Por outro lado, na faixa do 0,0N de NaOH (dispersão em água) a 0,2N de NaOH, o pH se eleva bruscamente, passando de pH = 6,6 para pH = 10,6. Essa variação brusca de pH apresenta reflexos importantes no fenômeno de dispersão da argila, aspecto que será abordado em seção posterior deste trabalho.

Quadro 5. Valores de pH da Solução do Dispersante Usado (NaOH 0,0N, 0,2N, 0,4N, 0,6N, 0,8N, 1,0N e 1,2N) e da Suspensão Obtida a Partir dessas Soluções, nos Materiais de Solo Analisados.

Material	Concentração NaOH	pH	
		Solução	Suspensão
LV	0,0*	-	6,5
LE		-	6,6
LR		-	6,6
LV	0,2	12,7	10,4
LE			10,8
LR			10,6
LV	0,4	13,0	11,1
LE			11,4
LR			11,2
LV	0,6	13,1	11,6
LE			11,8
LR			11,7
LV	0,8	13,2	11,6
LE			11,8
LR			11,8
LV	1,0	13,3	11,8
LE			11,9
LR			11,9
LV	1,2	13,4	12,1
LE			12,2
LR			12,2

\* Dispersão em Água

#### 4.4. Ponto de Carga Zero (PCZ), pH em Água, pH em KCl e Delta pH

Os valores de pH no PCZ dos materiais estudados, determinados por titulação potenciométrica, cujas curvas podem ser observadas nas Figuras 10, 11 e 12 foram de 4,5, 4,4 e 5,6 para o LV, LE e LR, respectivamente (Quadro 6). Estes valores refletem a

composição mineralógica predominante na fração argila de cada solo (Quadros 2 e 3) e o teor de matéria orgânica dos mesmos (Quadro 1), de acordo com RAIJ & PEECH (1972), RAIJ (1973), EL-SWAIFY & TAMA (1978) e NASCIMENTO et alii (1988).

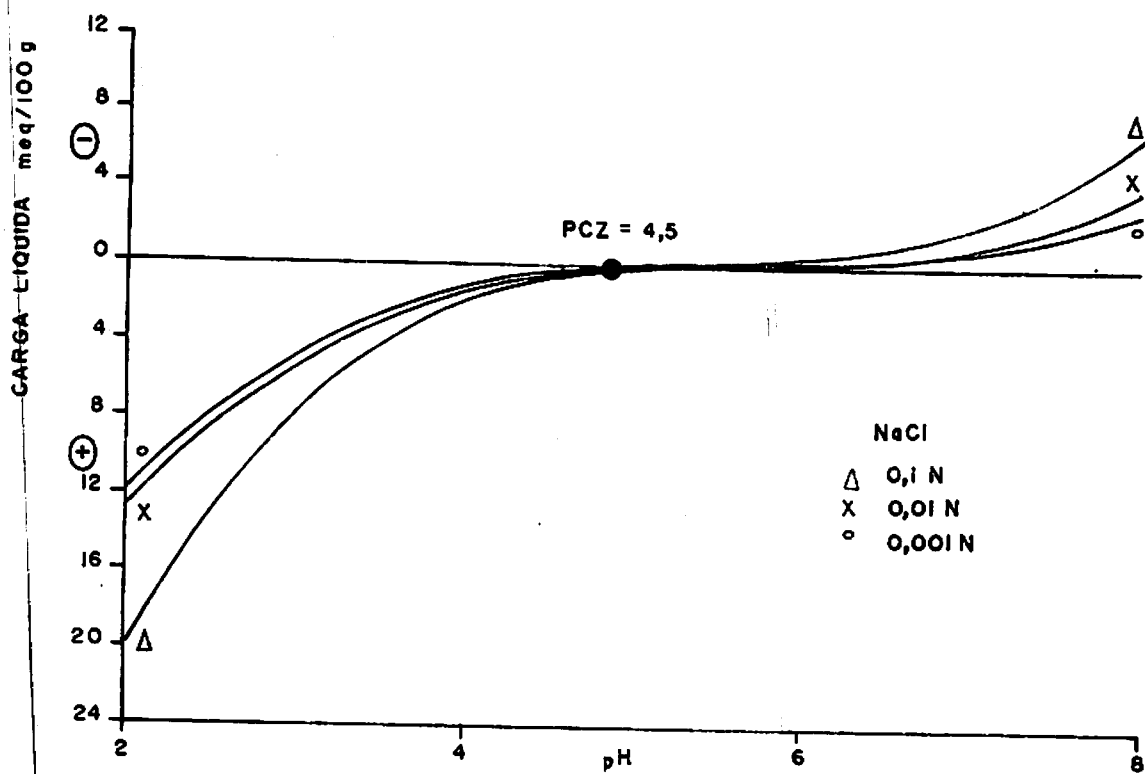


Figura 10. Curvas de titulação potenciométrica e ponto de carga Zero (PCZ) em amostras do horizonte Bw do Latossolo Vermelho-Amarelo (LV)

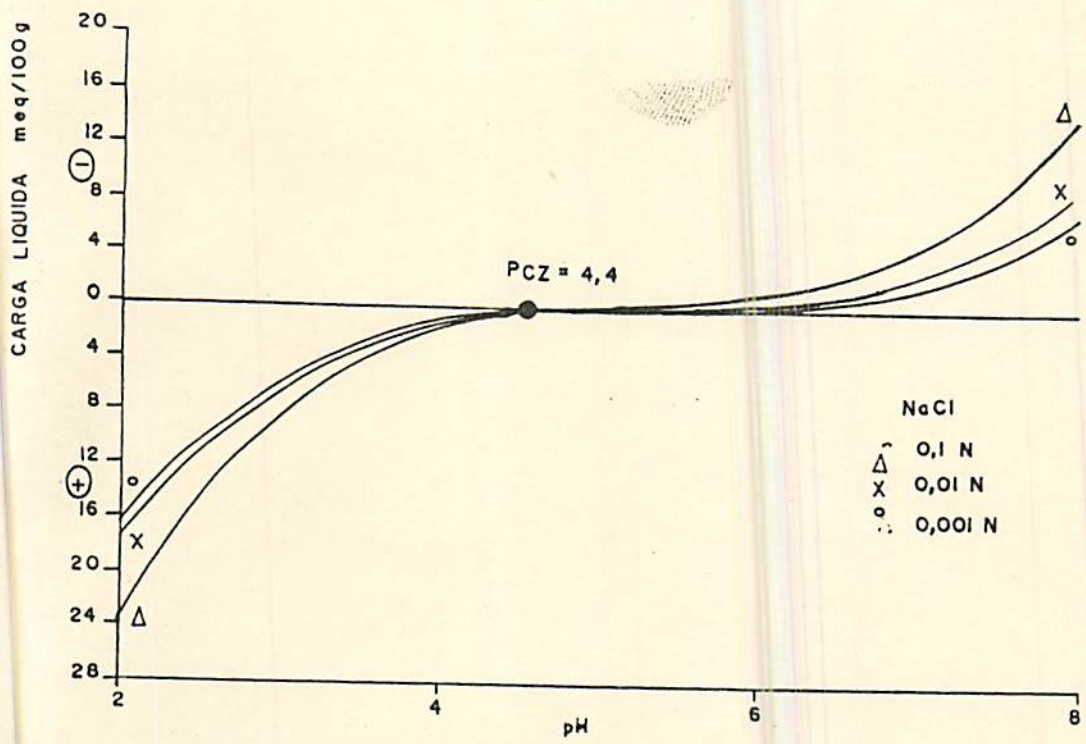


Figura 11. Curvas de titulação potenciométrica e ponto de carga zero (PCZ) em amostras do horizonte Bw do Latossolo Vermelho-Escuro (LE)

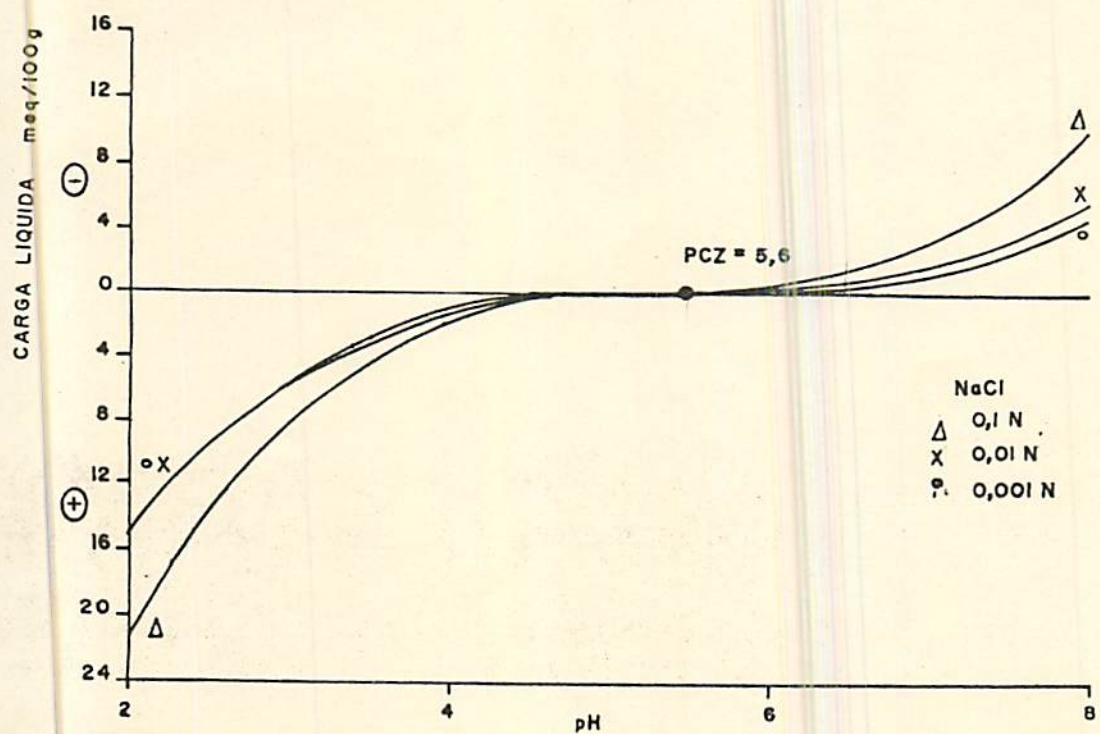


Figura 12. Curvas de titulação potenciométrica e ponto de carga zero (PCZ) em amostras do horizonte Bw do Latossolo Roxo (LR)

Quadro 6 - pH em Água, pH em KCl, Delta pH e PCZ dos Materiais dos Solos Estudados.

Material	pH		Delta pH	PCZ
	Água	KCl 1N		
LV	5,5	5,1	-0,4	4,5
LE	5,2	4,5	-0,7	4,4
LR	5,0	5,0	0,0	5,6

Para o LV, o PCZ de 4,5 reflete o elevado teor de caulinita que este solo possui, uma vez que este constituinte apresenta baixos valores de PCZ, conforme o Quadro 7.

Quadro 7 - Ponto de Carga Zero de Alguns Minerais do Solo.

Mineral	Ponto de Carga Zero (PCZ)
Caulinita	3,0 - 3,5*
Gibbsita	7,8 - 9,5**
Goethita	8,5**
Hematita	8,2**

Fonte: \* BELL & GILLMANN (1978)

\*\* EL-SWAIFY e TAMA (1978)

No caso do LE, por este possuir maiores teores de gibbsita e goethita, esperar-se-ia um PCZ mais elevado do que o LV, porém, o teor de matéria orgânica mais alto encontrado no solo LE pode ter contribuído para o abaixamento do seu PCZ (RAIJ & PEECH, 1972).

Elevados teores de gibbsita, goethita e hematita resultaram no PCZ mais elevado do LR. Estas observações estão de acordo com RAIJ (1973), EL-SWAIFY & TAMA (1978) e NASCIMENTO et alii (1988).

As análises de correlação entre PCZ e os resultados das caracterizações mineralógicas (Figuras 13 a 16) revelaram que o PCZ correlacionou-se positivamente com a gibbsita, goethita e hematita, ocorrendo o inverso com a caulinita. Esta observação vem de encontro com os resultados obtidos por NASCIMENTO et alii (1988), e pode ser atribuída ao fato de que o PCZ do solo depende fundamentalmente do teor de matéria orgânica e da composição mineralógica da fração argila, correspondendo os valores mais altos à presença de gibbsita, hematita e goethita, e os mais baixos à caulinita e matéria orgânica (RAIJ, 1973; UEHARA & GILLMAN, 1981 e NASCIMENTO et alii, 1988).

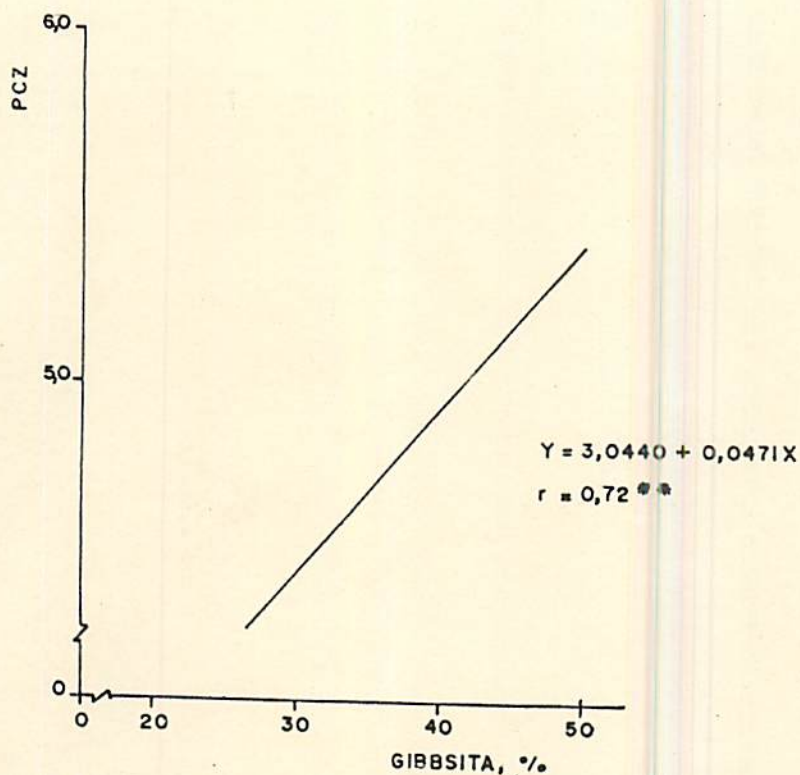


Figura 13. Relação entre PCZ e teor de gibbsita da fração argila dos diferentes materiais latossólicos

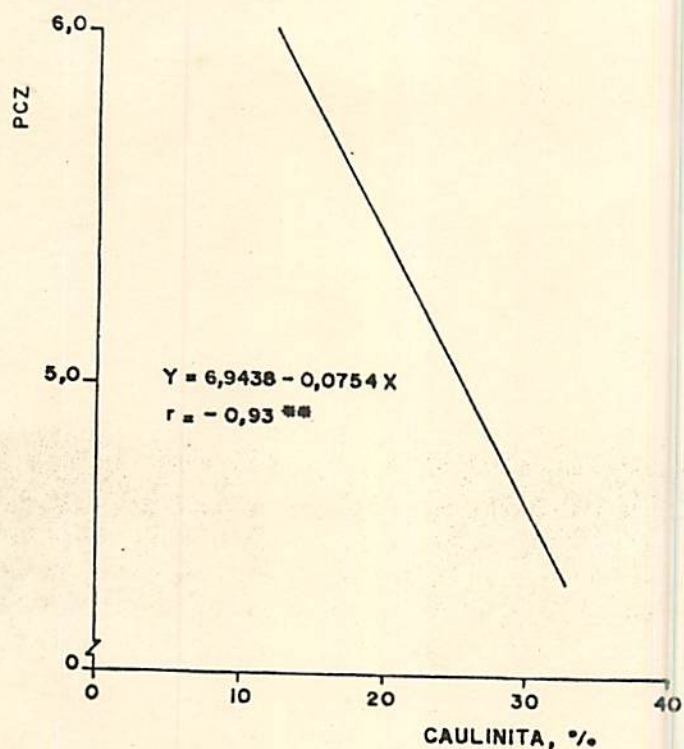


Figura 14. Relação entre PCZ e teor de caulinita da fração argila dos diferentes materiais latossólicos



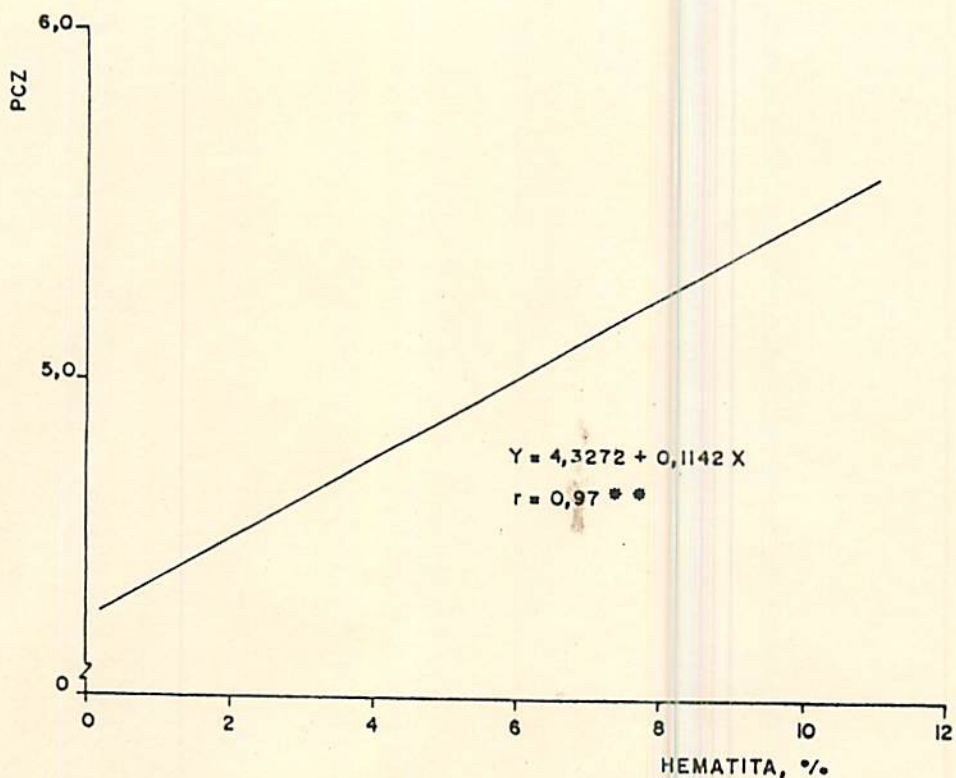


Figura 15. Relação entre PCZ e teor de hematita da fração argila dos diferentes materiais latossólicos

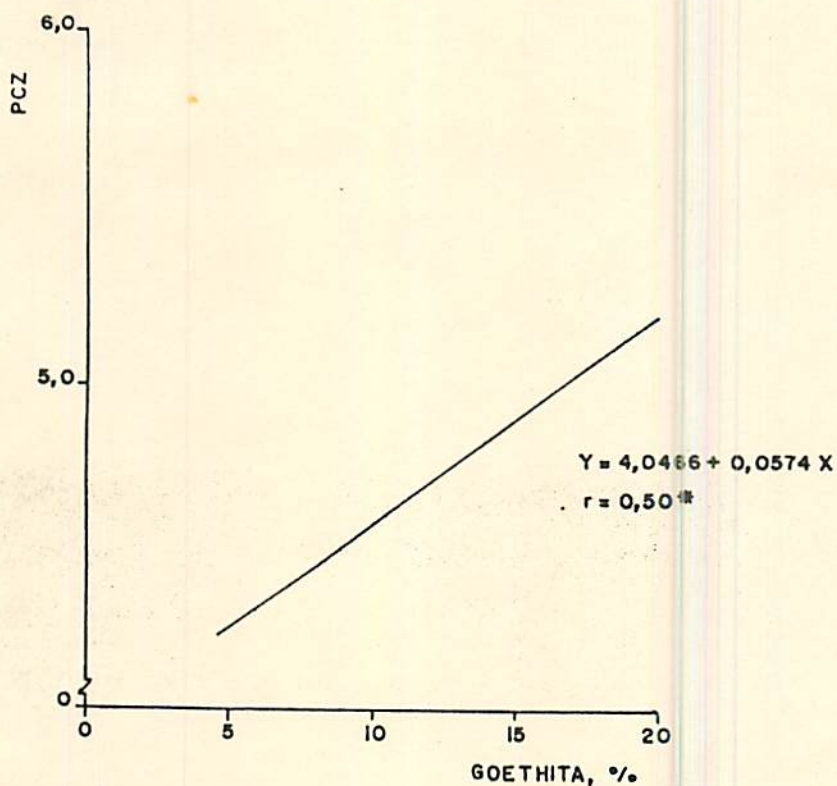


Figura 16. Relação entre PCZ e teor de goethita da fração argila dos diferentes materiais latossólicos



Apesar da matéria orgânica tornar mais baixo o PCZ dos solos oxidicos, no presente estudo, não houve correlação significativa entre teores de carbono orgânico nos solos e valores de PCZ dos mesmos. Resultados semelhantes foram obtidos por NASCIMENTO et alii (1988).

Confrontando-se os valores de PCZ, pH em água, pH em KCl 1,0N e delta pH dos três materiais de solos (Quadro 6) percebe-se que tanto para o LV como o LE, o pH em água é maior do que o pH no PCZ, indicando que a carga superficial líquida desses materiais é negativa. Este resultado também pode ser observado pela diferença entre o pH determinado em KCl 1,0N e em água, ou seja, pelo delta pH, que apresentou os valores de -0,4 e -0,7 para o LV e LE, respectivamente.

Para o LR, nota-se que o pH em água é menor do que pH no PCZ, indicando carga superficial líquida positiva para este material, apesar do valor do delta pH ter sido de 0.

#### 4.5. Influência da Concentração na Dispersão da Fração Argila dos Materiais Latossólicos

No Quadro 8 encontram-se os resultados de argila total em função da concentração de NaOH, argila dispersa em água e índice de floculação para os materiais de solo estudados. Observa-se que os maiores conteúdos de argila total, para todas as concentrações de NaOH, e de argila dispersa em água foram obtidos para o LE, seguido do LR e posteriormente do LV. Isto pode ser atribuído ao fato de que o LR sendo mais gibbsítico apresenta maior resistência

dos microagregados à dispersão, subestimando-se o teor de argila deste solo, conforme KÄMPF & CURI (1992).

Nota-se ainda, no Quadro 8 e nas Figuras 17 a 19, que um aumento na concentração do dispersante acarreta aumento no teor de argila total, até atingir um máximo, a partir do qual, a utilização de maiores concentrações de NaOH resultam na floculação, por causa do alto conteúdo eletrolítico na solução do solo que comprime a dupla camada difusa, concordando com BAVER et alii (1972), OLPHEN (1977), TAN (1982) e RAIJ (1986).

Quadro 8 - Conteúdo de Argila Total (AT) em Função do Dispersante Químico, Argila Dispersa em Água (ADA) e Índice de Floculação (IF) dos Materiais Latossólicos Estudados (Média de 4 repetições).

Material	AT (Sob diferentes Concentrações de NaOH)						ADA	IF
	0,2N	0,4N	0,6N	0,8N	1,0N	1,2N		
	%							
LV	55,4	58,4	57,5	62,2	61,8	60,8	1,6	97,4
LE	66,1	72,3	72,4	75,5	75,8	73,7	9,6	87,3
LR	64,2	69,2	69,3	72,1	71,9	71,4	7,0	90,3

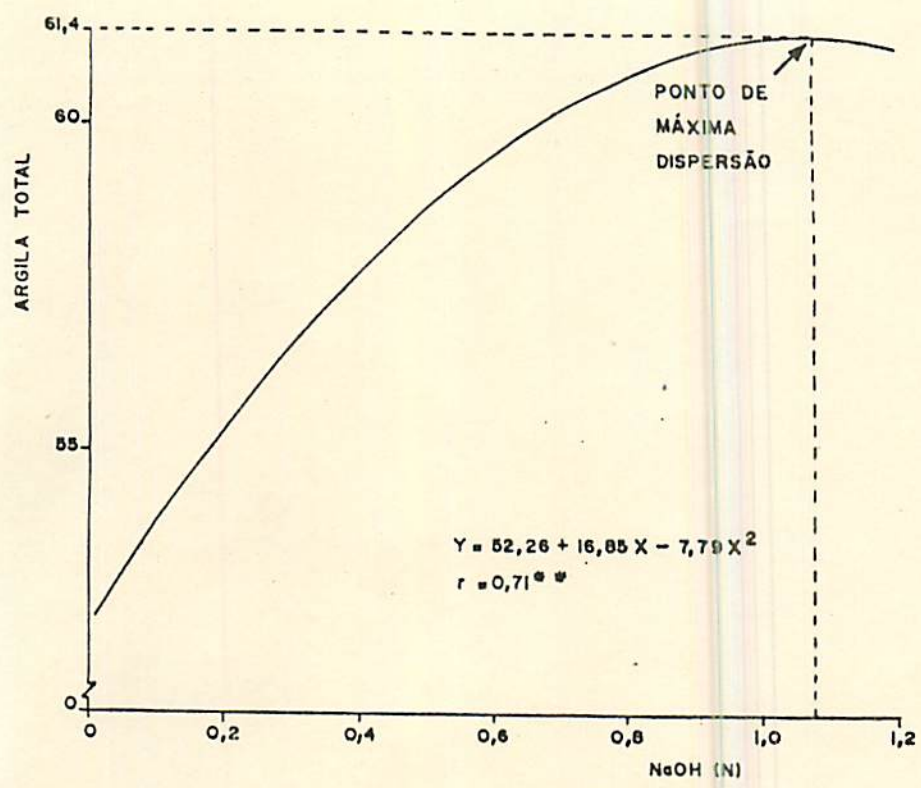


Figura 17. Relação entre argila total e concentração de NaOH do Latossolo Vermelho-Amarelo

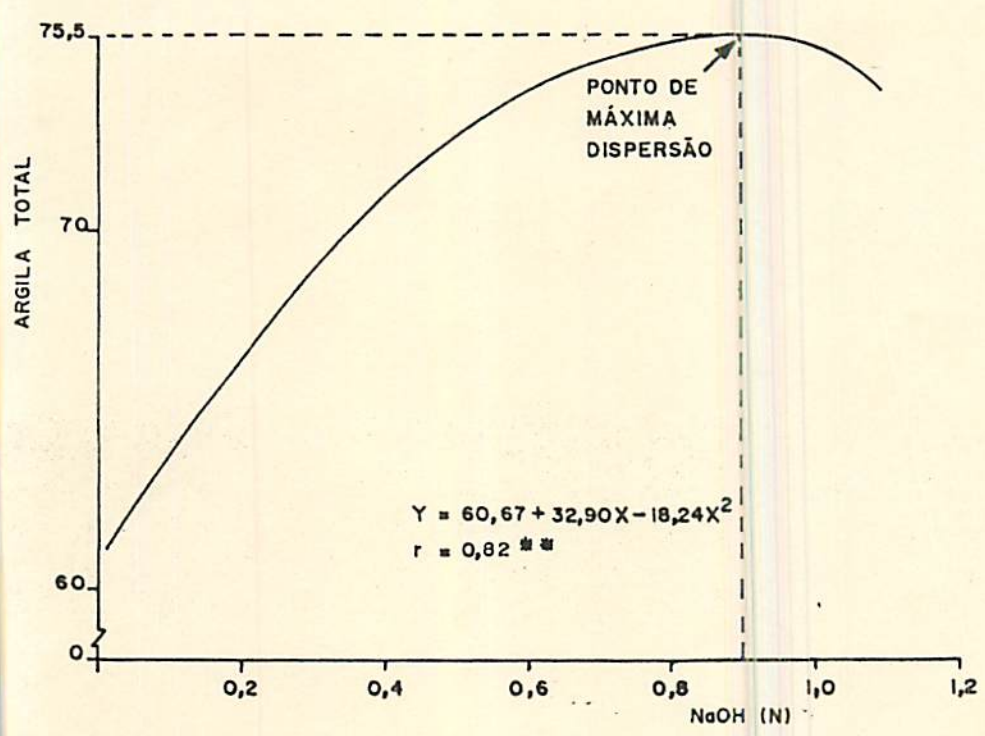


Figura 18. Relação entre argila total e concentração de NaOH do Latossolo Vermelho-Escuro

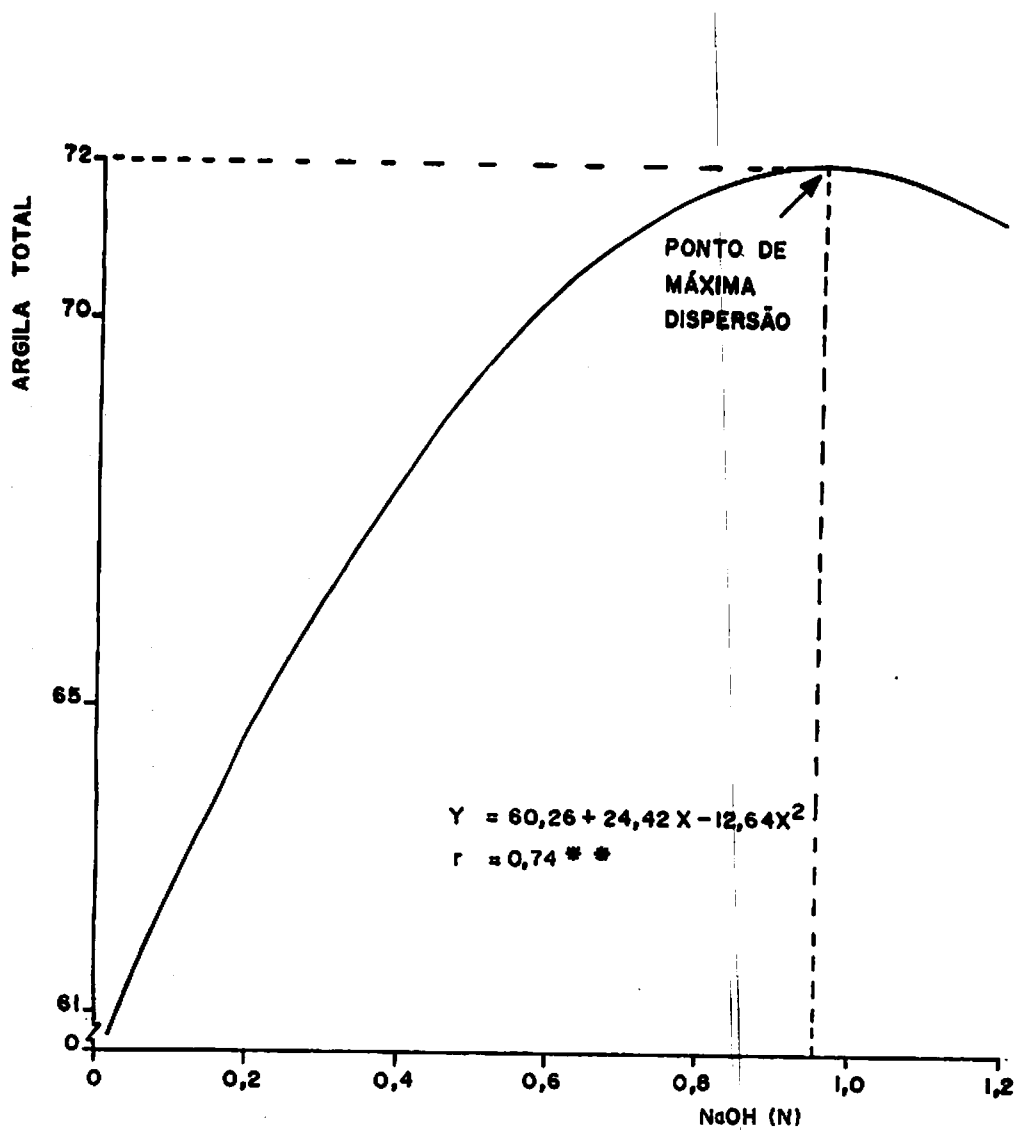


Figura 19. Relação entre argila total e concentração de NaOH do Latossolo Roxo

Através das equações de regressão envolvendo concentração de dispersante e teor de argila dos diferentes materiais (Figuras 17 a 19), foram determinados os pontos de máxima dispersão. Esses pontos correspondem às concentrações de 1,08N, 0,9N e 0,96N para os materiais LV, LE e LR, respectivamente.

Calculando-se a Eficiência Relativa de Dispersão, cujos resultados são apresentados nas Figuras 20 a 22, verifica-se que para os três solos estudados, a menor concentração de NaOH (0,2N), já apresentou uma dispersão próxima de 90%. O desempenho do hidróxido de sódio mesmo na menor concentração usada (0,2N) é explicado por DIXON (1977). Segundo este autor, esse dispersante eleva o pH da suspensão do solo, aumentando o número de cargas negativas no sistema, propiciando assim uma melhor dispersão. Este fato é mais notável em solos que possuem predomínio de cargas dependentes do pH, como é o caso dos materiais latossólicos estudados. DIXON (1977) aponta que a faixa de pH ótima para dispersão é de 8,2 a 10,9. Este aspecto foi mencionado anteriormente quando da caracterização tanto da solução dispersante quanto da suspensão envolvendo os materiais latossólicos.

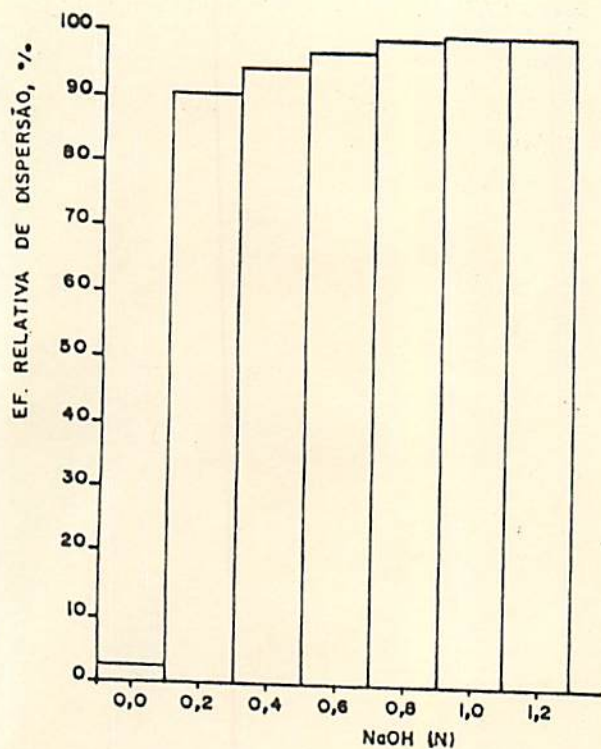


Figura 20. Eficiência relativa de dispersão para diferentes concentrações de NaOH no Latossolo Vermelho-Amarelo

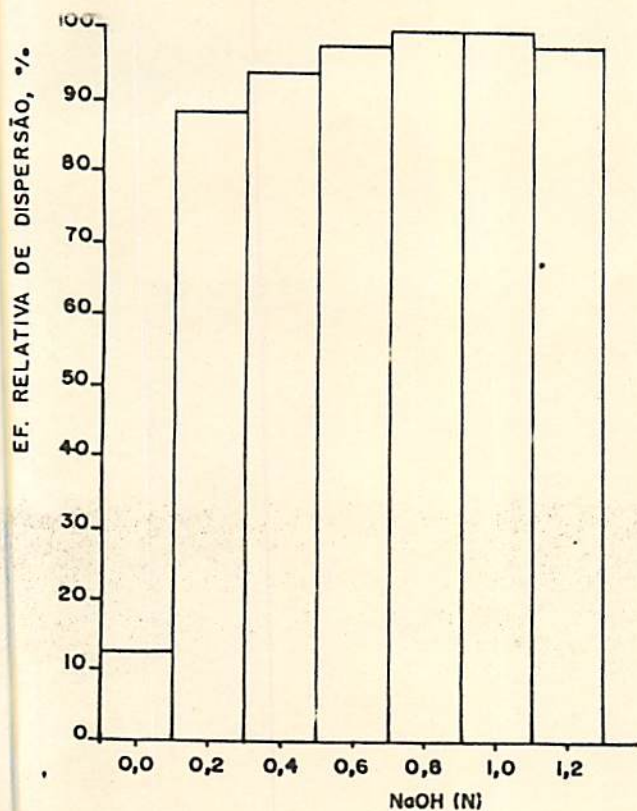


Figura 21. Eficiência relativa de dispersão para diferentes concentrações de NaOH no Latossolo Vermelho-Escuro

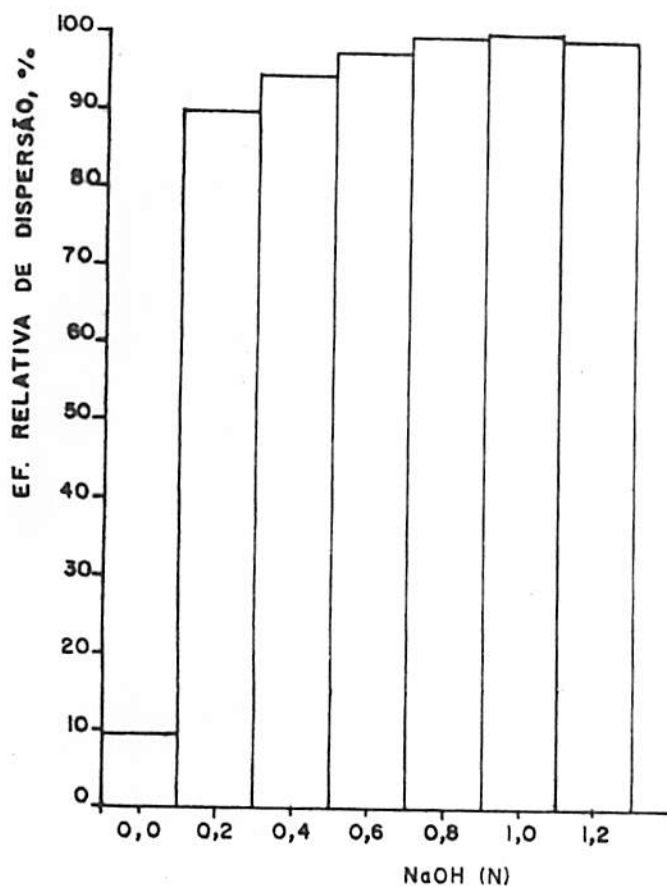


Figura 22. Eficiência relativa de dispersão para diferentes concentrações de NaOH no Latossolo Roxo

#### 4.6 Espessura da Dupla Camada Difusa

As espessuras da dupla camada difusa para as seis concentrações de NaOH estão apresentadas no Quadro 9 e ilustradas na Figura 23. Nota-se que à medida que aumenta a concentração eletrolítica da solução ocorre compressão da dupla camada, favorecendo a floculação, concordando com BAVER et alii (1972), OLPHEN (1977) e TAN (1982).

Quadro 9 - Espessura da Dupla Camada Difusa (1/k) dos Materiais Latossólicos Estudados, para as seis diferentes concentrações de NaOH utilizadas.

Concentração (N)	Espessura (1/k) (nm)
0,2	0,68
0,4	0,48
0,6	0,39
0,8	0,34
1,0	0,30
1,2	0,28

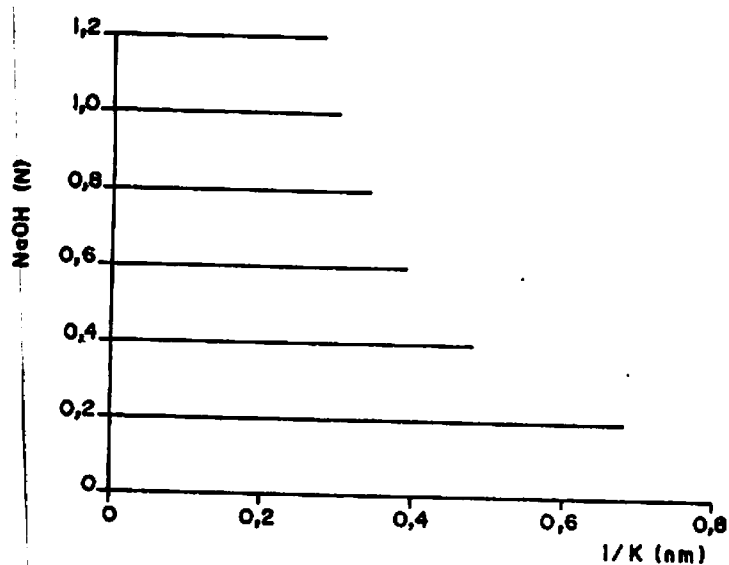


Figura 23. Espessura da dupla camada elétrica em função da concentração eletrolítica



Pode-se ainda, dentro da faixa de concentração de NaOH utilizada neste estudo, estimar o valor real de  $1/K$  calculado pela equação de SHAW (1975), através da seguinte expressão obtida a partir dos dados do Quadro 9:  $1/k \text{ (nm)} = 0,3034 \times \text{NaOH(N)}^{-0,5001}$ ;  $r = -0,9997$ .

#### 4.7. Influência da Mineralogia na Dispersão da Fração Argila de Materiais Latossólicos

Os teores de argila obtidos utilizando-se o NaOH nas concentrações 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1,0 e 1,2N e os constituintes mineralógicos foram correlacionados entre si, e os coeficientes de correlação encontram-se no Quadro 10.

Verifica-se que do par mineralógico caulinita - gibbsita, a gibbsita foi a que apresentou coeficiente de correlação mais alto e positivo com o teor de argila, nas seis concentrações de NaOH, enquanto a caulinita correlacionou-se negativamente com a argila. Observando-se ainda o Quadro 10, constatam-se também altos coeficientes de correlação positiva entre teor de argila e goethita. Estes comportamentos podem ser ilustrados pelas Figuras 24 a 26, para a concentração 1,0N de NaOH. Tais resultados podem ser atribuídos ao material de origem destes solos, ou seja, o produto da alteração do gabro (LR) é mais rico em ferro e menos resistente ao intemperismo do que aquele do gnaisse granítico mesocrático (LE) e do gnaisse granítico leucocrático (LV), nessa ordem. Em função disto, os latossolos por ele influenciados tendem a apresentar maiores teores de ferro e argila, corroborando observações de MARQUES JÚNIOR et alii (1992).

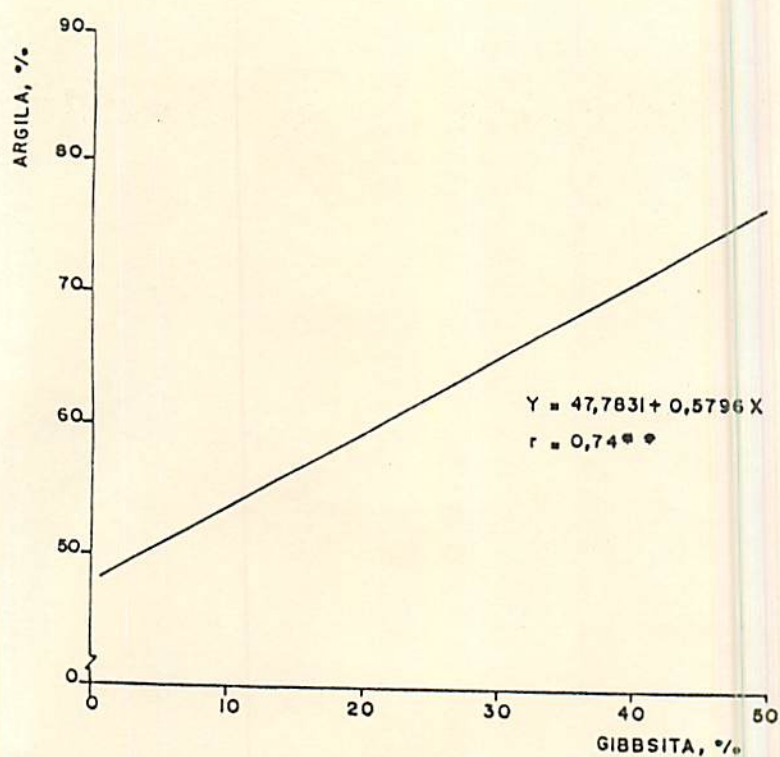


Figura 24. Relação entre teor de argila e gibbsita da fração argila dos diferentes materiais latossólicos

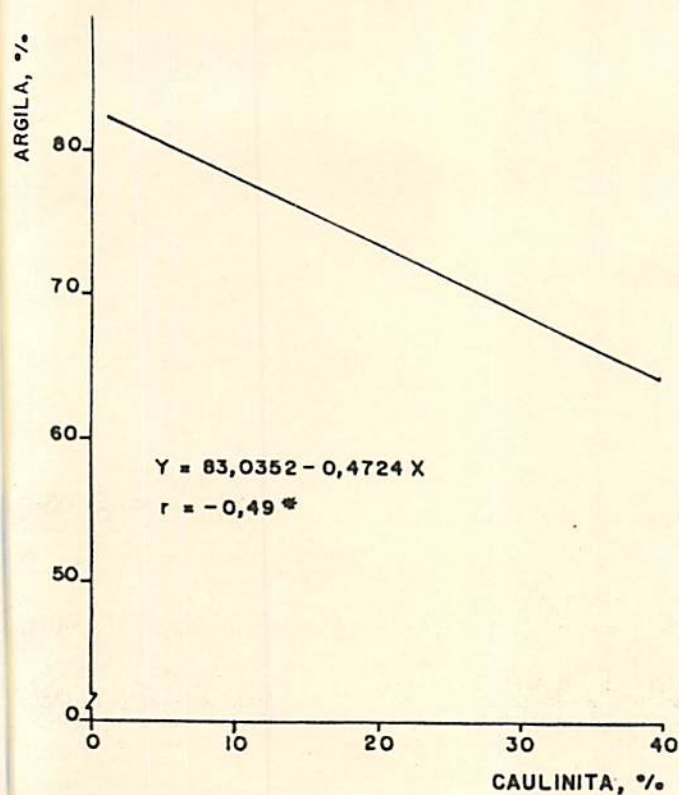


Figura 25. Relação entre teor de argila e caulinita da fração argila dos diferentes materiais latossólicos

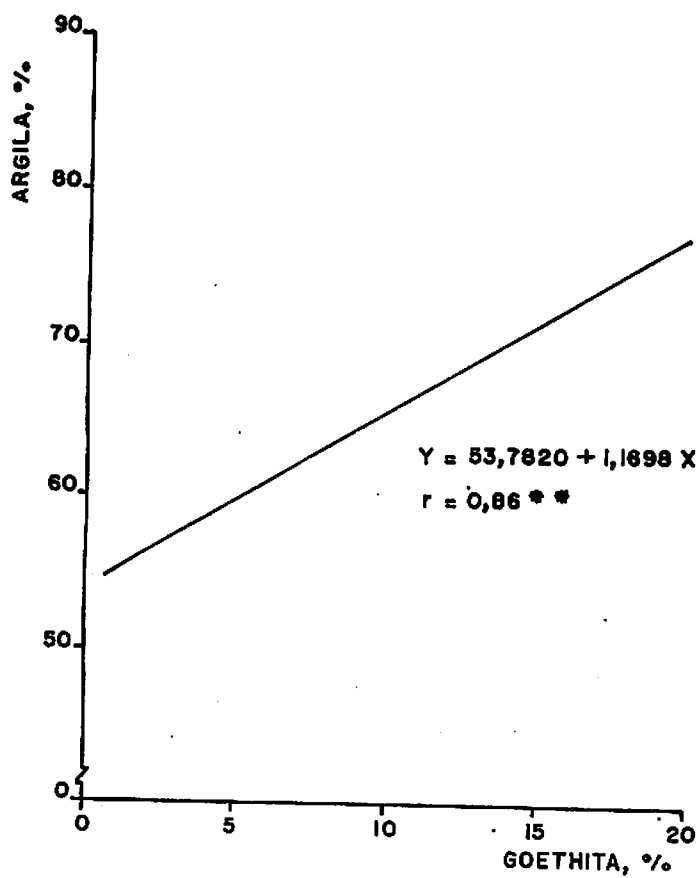


Figura 26. Relação entre teor de argila e goethita da fração argila dos diferentes materiais latossólicos

Quadro 10 - Coeficientes de Correlação Simples entre Argila Total Obtida Utilizando-se Seis Concentrações de NaOH e os Constituintes Mineralógicos dos Materiais Estudados.

Argila Total	Caui.	Gibb.	Goeth.	Hem.
Argila 0,2N	-0,60*	0,84**	0,94**	0,48
Argila 0,4N	-0,57*	0,83**	0,94**	0,44
Argila 0,6N	-0,57*	0,83**	0,94**	0,45
Argila 0,8N	-0,52*	0,77**	0,88**	0,39
Argila 1,0N	-0,49*	0,74**	0,86**	0,36
Argila 1,2N	-0,56*	0,79**	0,88**	0,45

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.  
 \*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t.

Pelas equações de regressão que estimam o teor de argila dispersa em água (Figuras 27 a 29), observa-se que o comportamento dos constituintes mineralógicos foi o mesmo daquele obtido para o teor de argila total, ou seja, goethita e gibbsita. Se correlacionarmos melhor com a ADA, e positivamente, ao passo que correlação negativa foi obtida para a caulinita. Tal aspecto pode estar relacionado aos teores de argila total, anteriormente discutidos.

Existe, sem questionamento, necessidade de revalidação desses dados, através de estudos mais abrangentes, que comparem estas observações com aquelas obtidas numa gama maior de materiais latossólicos brasileiros.

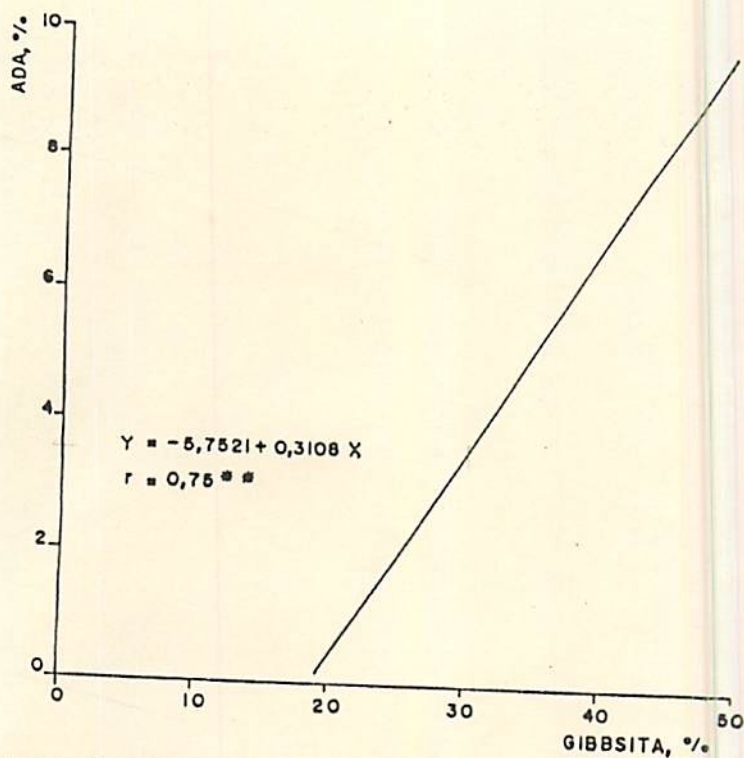


Figura 27. Relação entre argila dispersa em água e gibbsita da fração argila dos diferentes materiais latossólicos

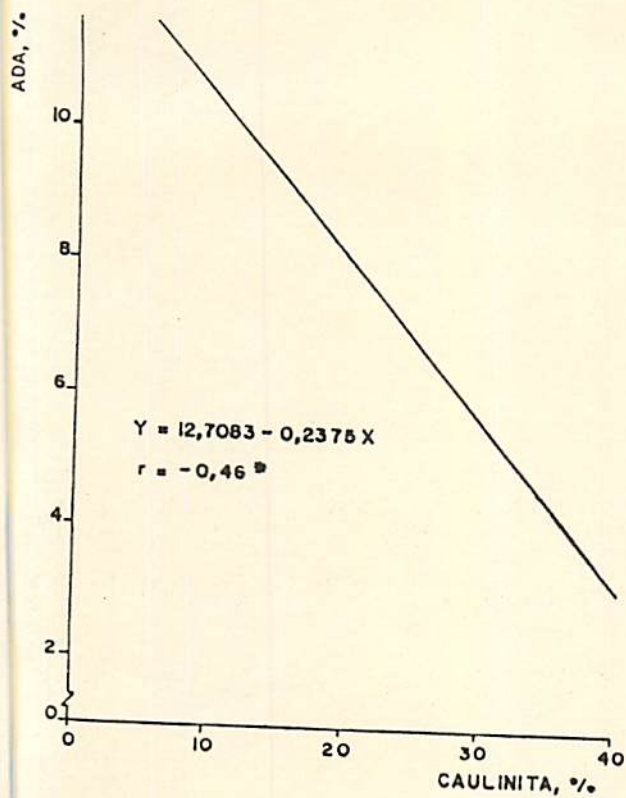


Figura 28. Relação entre argila dispersa em água e caulinita da fração argila dos diferentes materiais latossólicos

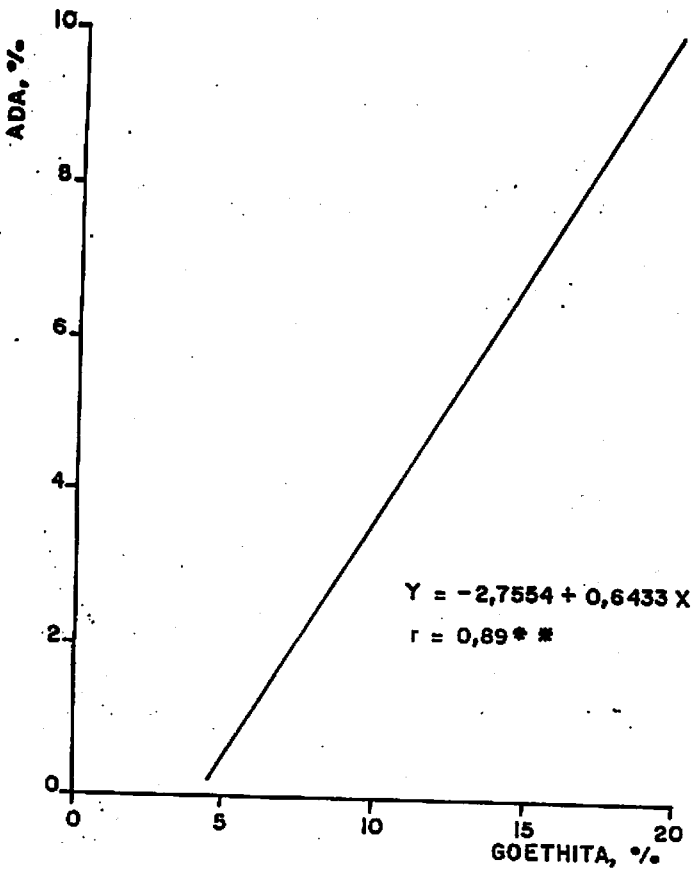


Figura 29. Relação entre argila dispersa em água e goethita da fração argila dos diferentes materiais latossólicos

## 5. CONCLUSÕES

Dos resultados obtidos pode-se concluir que:

- A influência do pH na dispersão foi marcante na faixa do 0,0 - 0,2N de NaOH.

- Independente da mineralogia da argila, a dispersão máxima ocorreu em torno da concentração 1,0N de NaOH.

- Do par mineralógico caulinita - gibbsita, a gibbsita foi a que melhor correlacionou-se com a dispersão e positivamente, enquanto a caulinita correlacionou-se negativamente.

- Dos óxidos de ferro, goethita foi a que melhor correlacionou-se com a dispersão e positivamente.

## 6. RESUMO

Com o objetivo de estudar a influência da mineralogia e da concentração de eletrólitos na dispersão da fração argila de Latossolos, selecionaram-se materiais de solo ocorrentes no município de Lavras, estado de Minas Gerais, apresentando variação quanto à constituição mineralógica da fração argila dos mesmos.

A amostragem foi efetuada no horizonte B dos seguintes solos: Latossolo Vermelho - Amarelo; Latossolo Vermelho - Escuro e Latossolo Roxo. No laboratório procederam-se as seguintes caracterizações: (a) químicas: - complexo sortivo; ataque sulfúrico; pH em água e em KCl; ponto de carga zero; carbono orgânico; (b) físicas: - argila total obtida utilizando como dispersante químico o NaOH nas concentrações de 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1,0 e 1,2N; argila dispersa em água; índice de floculação; (c) mineralógicas: - difração de raios X e análise térmica diferencial; também foi calculada a espessura da dupla camada difusa.

Os dados resultantes destas caracterizações foram submetidos a análises estatísticas de regressão e correlação, as quais mostraram que nos materiais do solos estudados a influência do pH na dispersão foi marcante em baixas concentrações do dispersante; independentemente da mineralogia, a dispersão máxima ocorreu em torno da concentração 1,0N de NaOH; e, os óxidos de ferro e de alumínio correlacionaram-se positivamente com a dispersão, enquanto a caulinita correlacionou-se negativamente.



## 7. SUMMARY

### INFLUENCE OF MINERALOGY AND ELECTROLYTE CONCENTRATION UPON DISPERSION OF CLAY FRACTION OF LATOSOLS.

With the objective of studying the influence of mineralogy and electrolyte concentration upon dispersion of clay fraction of Latosols (Oxisols), it were selected materials of soils that occur at Lavras county, Minas Gerais State, Brazil, presenting variation related to mineralogical constitution of clay fraction of them.

The sampling was done in B horizon of the following soils: Red-Yellow Latosol, Dark Red Latosol and Dusky Red Latosol.


In the laboratory, the following characterizations were done: (a) chemicals - sorption complex, sulfuric acid digestion, pH in water and in KCl, point of zero charge and organic carbon; (b) physicals - total clay utilizing as chemical disperser the NaOH in the concentrations of 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 and 1.2N, water - dispersible clay and flocculation index; (c) mineralogicals - X-ray diffraction and differential thermal analyses; also it was calculated the thickness of the diffuse double layer.

The data resulting from these characterizations were submitted to statistical analyses of regression and correlation, which showed that in the materials of soils studied, the influence of pH upon dispersion was effective at low concentrations of the

disperser; independently of the mineralogy, the maximum dispersion occurred about the concentration of 1.0N of NaOH; and, the iron and aluminum oxides positively correlated with the dispersion, while the kaolinite negatively correlated with it.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

01. BAHIA, V. G. Gênese e Classificação de um solo do município de Lavras - MG. Piracicaba, ESALQ, 1975. 66p. (Dissertação de Doutorado).
02. BAVER, L. D.; GARDNER, W. H. & GARDNER, W. R. Soil physics. 4.ed. New York, John Wiley, 1972. 498p.
03. BELL, L. C. & GILLMANN, C. P. Surface charge characteristics and soil solution composition of highly weathered soils. In: ANDREWS, C. S., ed. Mineral nutrition of legumes in Tropical and subtropical soils. Melbourne, CSIRO, 1978. p.37-57.
04. BOHN, H. L.; McNEAL, B. L. & O'CONNOR, G. A. Soil Chemistry. 4.ed. New York, John Wiley, 1979. 329p.
05. CARVALHO, M. A. de Eficiência de dispersantes na análise textural de materiais de solos com horizonte B latossólico e B textural. Lavras, ESAL, 1985. 79p. (Dissertação MS).
06. CASTRO NETO, P. Notas de aula prática do curso de agrometeorologia. Lavras. ESAL, 1982. 45p.
07. COSTA, L. M. da.; MORAIS, E. J. de.; RIBEIRO, A. C. & FONSECA, S. da. Cargas elétricas de um Latossolo Vermelho - Amarelo com diferentes coberturas florestais. Revista Ceres, Viçosa, 31(177):351-9, set./out. 1984.
08. DAY, P. R. Particle fractionation and particle size analysis. In: BLACK, C. A., ed. Methods of soil analysis. Physical and mineralogical properties including statistics of measurement and sampling. Madison, American Society of Agronomy, 1965. pt.1, p. 545-67.
09. DIXON, J. B. Kaolinite and serpentine group minerals. In: DIXON, J. B., ed. Minerals in soil environments. Madison, Soil Science Society of America, 1977. p. 357-404.
10. EL-SWAIFY, S. A. & TAMA, K. Charge, colloidal and structural stability interrelationships for oxidic soils. In: EMERSON, W. W. Modification of Soil Structure. Wiley Interscience, 1978. p.41-9.

11. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de Métodos de Análise de Solos. Rio de Janeiro, 1979. s.n.p.
12. FASSBENDER, H. W. Química de suelos. San José, Instituto Interamericano de Ciência Agrícola, 1980. 398p.
13. FONTES, M. P. F. O solo como um sistema disperso. In: FONTES, L. E. F.; SANS, L. M. A.; FONTES, M. P. F. & RUIZ, H. A. Física do solo - Princípios Básicos. Viçosa, UFV, 1992. p. 1-55.
14. GAST, R. G. Surface and colloid chemistry. In: DIXON, J. B., ed. Minerals in soil environments. Madison, Soil Science Society of America, 1977. p.27-73.
15. HERBILLON, A. J. Introduction to the surface charge properties of iron oxides and oxidic soils. In: STUCKI, J. W. Iron on soils and clay minerals. Germany, 1985. v.2, p. 735-57.
16. HILLEL, D. Soil and water. New York, Academic Press, 1971. 299p.
17. HSU, P. H. Aluminum Hydroxides and oxyhydroxides. In: DIXON, J. B., ed. Minerals in soil environments. Madison, Soil Science Society of America, 1977. p.99-143.
18. JUCKSCH, I. Calagem e dispersão de argila em amostra de um Latossolo Vermelho - Escuro. Viçosa, UFV, 1987.37p. (Dissertação MS). 
19. KÄMPF, N. & CURI, N. Argilominerais e óxidos em solos. In: LEPSCH, I. F.; KÄMPF, N.; ESPÍNDOLA, C. R. & MONIZ, A. C.; eds. Gênese, morfologia, classificação e levantamento de solos. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. cap. 4. (Em fase de preparo para publicação).
20. -----; RESENDE, M. & CURI, N. Iron oxides in Brazilian Oxisols. In: INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP, 8., Brasil, 1986. Anais... Rio de Janeiro, EMBRAPA/ SMSS/UPR, 1988. p. 71-7.
21. -----; & SCHWERTMANN, U. The 5M NaOH concentration treatment for iron oxides in soils. Clays and clay minerals, Clarkson, 30:401-8, 1982.
22. KLUG, H. P. & ALEXANDER, L. E. X-ray diffraction procedures for polycrystalline and amorphous materials. New York, John Wiley, 1974. 966p.

23. LIMA, J. M. de. Relação entre erosão, teor de ferro, parâmetros físicos e mineralógicos de solos da região de Lavras (MG). Lavras, ESAL, 1987. 86p. (Dissertação MS).
24. LIMA, P. M. de P. Perdas de solo e água em dois latossolos sob cerrado, com diferentes preparos e chuva simulada. Lavras, ESAL, 1987. 88p. (Dissertação MS).
25. MARQUES JÚNIOR, J.; CURI, N. & LIMA, J. M. Evolução diferenciada de Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Escuro em função da litologia gnáissica na região de Lavras (MG). Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 16 (2): 235-40, 1992.
26. NASCIMENTO, R. A.M.; CUNHA, L. H. & RAMOS, D. P. Comparações entre o ponto de carga zero (titulação potenciométrica), mineralogia e diversos outros parâmetros, para quatorze perfis de Latossolos. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA, 3, Rio de Janeiro, 1988. Anais... Rio de Janeiro, EMBRAPA-SNLCS/SBCS, 1988. p. 365-90.
27. OLPHEN, H. van. An introduction to clay colloid chemistry. 2. ed. New York, Wiley - Interscience, 1977. 318p.
28. QUAGGIO, J. A. & RAIJ, B. Van. Comparação de métodos rápidos para a determinação da matéria orgânica em solos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 3(3):184-7, set./dez. 1979.
29. RAIJ, B. van. Determinação do ponto de carga zero em solos. Bragantia, Campinas, 32(18):337-47, 1973.
30. ----- . Propriedades eletroquímicas de solos. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, Piracicaba, Fundação Cargill, 1986. p.9-41.
31. ----- & PEECH, M. Electrochemical properties of some Oxisols and Alfisols of the tropics. Soil Science Society American Proceedings, Madison, 36(4):587-93, July./Aug. 1972.
32. RESENDE, M. & FRANZMEIER, D. P. Mineralogy of Brazilian oxisols a proposed general model. Viçosa, UFV, 1982. 2p.
33. SCHWERTMANN, U.; FITZPATRICK, R. W.; TAYLOR, R. M. & LEWIS, D. G. The influence of aluminum on iron oxides. 2. Preparation and properties of Al-substituted hematites. Clays and clay minerals, New York, 27:105-12, 1979.

34. SCHWERTMANN, U. & TAYLOR, R. M. Iron oxides. In: DIXON, J. B. Minerals in soil environments. Madison, Soil Science Society of America, 1977. p.145-80.
35. SCHULZE, D. G. Estimation of Al substitution in goethite from x-ray line positions. Agronomy Abstracts, Atlanta, 244: , Nov./Dec. 1981.
36. SHAW, D. J. Introdução à química dos colóides e de superfícies. São Paulo, Edgard Blücher, 1975. 185p.
37. SIQUEIRA, C.; LEAL, J. R.; VELLOSO, A. C. X. & SANTOS, G. A. Eletroquímica de solos tropicais de carga variável: II Quantificação do efeito da matéria orgânica sobre o ponto de carga zero. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 14(1):13-7, jan./abr. 1990.
38. SUMNER, M. E. & DAVIDTZ, J. C. Positive and negative charges in some Natal soils. African Journal Agriculture Science, 8:1045-50, 1965.
39. TAN, K. H. Principles of soil chemistry. New York, Marcel Dekker, 1982. 267p.
40. UEHARA, G. & GILLMAN, G. The mineralogy, chemistry, and physics of tropical soils with variable charge clays. 4. ed. Colorado, Westview Press, 1981. 169p.
41. VETTORI, L. Métodos de análises de solo. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7).