

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA DE SEIS SOLOS
~~DIFERENTES~~ DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE.

TRABALHO MONOGRAFICO

PATOS - PB

MAIO - 1992

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA DE SEIS SOLOS
DIFERENTES DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE.

RAIMUNDO GONÇALVES FERREIRA

Trabalho Monográfico apresentado
ao Departamento de Engenharia Flo-
restal, como um dos requisitos
básicos para aquisição do título
de Engenheiro Florestal.

PATOS - PB

MAIO - 1992



Biblioteca Setorial do CDSA. Maio de 2022.

Sumé - PB

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me concedido a inteligência, a coragem, a determinação e a fé para chegar ao término de mais um objetivo.

A minha esposa, Auseni Dantas de Almeida, por ter me apoiado durante todas as horas para realização deste trabalho.

A toda minha família, especialmente aos meus pais, Vicente Ferreira Duarte e Geralda Gonçalves de Almeida.

À Universidade Federal da Paraíba, principalmente ao Departamento de Engenharia Florestal.

Ao meu orientador, Ricardo de Almeida Viegas, pela atenção, orientação e dedicação na confecção deste trabalho.

A todos os Mestres, que direta ou indiretamente contribuíram para minha formação profissional.

E, finalmente, a todos aqueles que confiaram em mim e no meu trabalho.

SUMARIO

- APRESENTAÇÃO
- 1. INTRODUÇÃO
- 2. REVISÃO DE LITERATURA
- 3. METODOLOGIA
- 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO
 - 4.1. pH
 - 4.2. CORRELAÇÕES ENTRE DIVERSAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO
 - 4.3. TEORES DE FÓSFORO
 - 4.4. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS SOLOS ESTUDADOS
- 5. RESUMO E CONCLUSÃO
- 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS
- 7. ANEXOS

1. INTRODUÇÃO

O uso inadequado dos solos leva a um empobrecimento acelerado de suas reservas minerais e orgânicas, refletindo imediatamente, nas suas propriedades físicas e químicas.

A caracterização química e física do solo permite uma melhor avaliação de sua potencialidade produtiva, tendo em vista um maior número de informações tanto do ponto de vista quantitativo em relação a disponibilidade de nutrientes no solo, quanto textural, no que diz respeito ao arranjo das partículas.

Com relação às diferentes frações granulométricas do solo, a argila é a sede de todas as manifestações biológicas e de retenção de toda ordem, quer química, quer físico-química, quer bioquímica, além de servir fisicamente como armazenadora de ar, água, nutrientes e, também, como condicionadora da estrutura do solo conforme a proporção em que entra na sua formação.

As análises de solos são hoje feitas por diversos laboratórios de pesquisa e instituições pública e privadas distribuídas em todo país. A falta de uniformidade de metodologia para regiões específicas tem levado a resultados diferentes.

A necessidade de se padronizar os métodos de análises regionalmente tem sido motivo de várias pesquisas entre os estudiosos da área, utilizando-se de diferentes tipos de soluções, diferentes tempos de agitação, etc.

Objetiva-se neste estudo caracterizar química e fisicamente seis solos do Estado do Rio Grande do Norte, utilizando para isto metodologias que comumente são empregadas nos laboratórios de rotina para análise de solo, bem como testar

x as possíveis correlações existentes entre alguns extratores utilizados para análise e determinação de fósforo, e soluções dispersantes á quantificação das diferentes frações granulométrica do solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O pH, apesar de ser um índice quantitativo para medir a acidez do solo, reflete certas condições importantes à vida das plantas, como a acidez ou alcalinidade, solubilidade de alguns compostos e, conseqüentemente a disponibilidade de alguns nutrientes. Para maioria dos solos, os valores de pH, geralmente, encontram-se no intervalo de 4 a 7, sendo que valores menores que 7 indicam solos ácidos e a base de troca predominante nestes solos são o alumínio e/ou hidrogênio, em muitos solos minerais ácidos o alumínio é o principal cátion de troca. Já para solos com pH maiores ou próximo de 7 os cátions predominantes são o cálcio e o magnésio.

O pH do solo geralmente é determinado em H_2O ou em solução de sal neutro como é o caso do KCl 1N ou do $CaCl_2$ 0,01M.

Quando se determina o pH em solução de $CaCl_2$ 0,01M os resultados tendem a ser menores que em H_2O . Segundo Maggeo (1983), citado por RAIJ (1987), verificou-se em 26 solos representativo do Estado de São Paulo, que o pH em $CaCl_2$ 0,01M apresenta um decréscimo médio de 0,6 unidades em relação ao pH em água, o que está próximo aos valores observados por PEECH (1965). Entretanto, existe uma correlação estreita entre essas duas medidas de pH. Contudo, é importante ressaltar que podem ocorrer

variações consideráveis entre amostras individuais.

Para RAIJ (1987), a solução de KCl 1N, sendo de sal neutro, é capaz de extrair cátions ligados eletrostaticamente aos colóides do solo, os quais recebem a denominação de íons trocáveis. O pH obtido em KCl 1N, é quase sempre menor que o obtido em H₂O, fato este, justificado em razão do íon K⁺, do KCl, extrair o alumínio trocável que é um dos componentes da acidez do solo, e também íons hidrogênio.

A diferença de valores de pH determinado em solução de KCl 1N e em H₂O indica a natureza da carga elétrica líquida do solo, se é positiva ou se é negativa.

Convém ressaltar, que a troca de cátions aumenta, na maioria dos solos, com a elevação do pH. A menores valores de pH, apenas as cargas permanentes das argilas e uma pequena porção das cargas negativas dos colóides orgânicos retêm íons que poderão ser substituído, mediante a permuta de cátions. Na maioria dos locais de permuta dos colóides orgânicos, os íons hidrogênicos e talvez os íons hidróxidos de alumínio são retidos com rigidez bastante para resistirem a reposição. Nesta situação a capacidade de troca catiônica é relativamente mais baixa do que seria com pH elevado. Quantitativamente, os cátions mais importantes do solo são: Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, Al³⁺ e H⁺. O conjunto desses cátions de troca constituem a C.T.C do solo (capacidade de troca catiônica). Muitas condições de solos têm influência marcante sobre a C.T.C, dentre os quais citam-se: o pH, a natureza dos cátions trocáveis e a natureza dos colóides.

O efeito do pH verifica-se, principalmente, sobre as

cargas dependentes do pH. A natureza dos ânions trocáveis afeta a preferencialidade de troca no solo, de acordo com a densidade de carga dos cátions; os cátions que têm maior densidade de carga são mais fortemente retidos nas cargas negativas do solo. Em razão disto, os cátions polivalentes são, geralmente, mais fortemente retidos no solo. A natureza do colóide influencia diretamente na capacidade de troca catiônica, como exemplo, a caulinita tem uma maior capacidade de retenção de cátions que a montmorilonita, que é uma argila de alta atividade. Entretanto, a matéria orgânica supera todas as frações minerais do solo na sua capacidade de troca catiônica.

O solo que possui pouca argila, geralmente, não possui alumínio trocável em proporções maiores. O solo possui tanto mais alumínio quanto maior for o teor de argila caulinitica, uma vez que o alumínio é parte integrante predominante da argila mineral 1:1. Em solos argilosos com pH menor que 5,5, a causa mais comum da acidez é o alumínio trocável (PRIMAVESI, 1984). O hidrogênio e o alumínio tende a predominar em solos ácidos, ambos contribuem diretamente para a concentração de íons H^+ , na solução do solo. Os íons Al^{3+} fazem o mesmo indiretamente por intermédio da hidrólise, fazendo com que o pH decresça grande parte das bases trocáveis, neutralizando a acidez do solo. A proporção da capacidade de troca de cátions ocupada por estas bases é denominada porcentagem de saturação de bases (V) (BRADY, 1983).

Além da capacidade de troca catiônica verificam-se reações de adsorção de ânions que tendem a aumentar com a diminuição do pH. A capacidade de retenção difere sensivelmente com a natureza dos ânions. Assim, é particularmente baixa para o

x Cl^- e NO_3^- , um tanto superior para SO_4^{2-} e nitidamente alta para H_2PO_4^- . Nesta última forma, o fósforo encontra-se disponível para a absorção pelas plantas.

Do ponto de vista químico, o fósforo inorgânico do solo encontra-se combinado preferencialmente com ferro, alumínio e cálcio. Os fosfatos de cálcio, ao contrário, são mais solúveis a valores de pH mais baixos. De maneira geral, os fosfatos do solo estão em uma ótima disponibilidade para as plantas em valores de pH entre 6,0 e 7,0 (RAIJ, 1987).

Os fosfatos adicionados ao solo como fertilizantes dissolvem-se passando para a solução. Devido a baixa solubilidade dos compostos de fósforo e a forte tendência de adsorção pelo solo deste nutriente, a maior parte do fósforo passa para a fase sólida onde fica em parte como fosfato lábil, que rapidamente passa a fosfato não lábil e pode tornar-se disponível caso haja diminuição dos teores de P na solução do solo, para manutenção do equilíbrio. A diminuição dos teores em solução verifica-se, principalmente, por absorção pelas plantas.

RAIJ (1987) & KAMPRATH (1980), classificam em quatro as reações pelas quais o fósforo é removido da fase sólida do solo por soluções extratoras. Essas reações são as seguintes: a) são solvente de ácidos-nas soluções usadas tem pH, em geral, de 2,0 a 3,0 e esta acidez assegura a dissolução de fosfato de cálcio. Fosfato de ferro e alumínio também são solubilizados em menor grau. A ordem de maior solubilidade em extratores ácidos é P-Ca; P-Al e P-Fe. b) substituição de ânions - os fosfatos adsorvidos nos colóides do solo podem ser substituídos por outros

ânions, como sulfato, bicarbonato, citrato, lactato ou acetato. Estes ânions quando presentes em soluções ácidas, reduzem a reabsorção de P. c) complexação de cátions combinados com P Ion mais usado é o fluoreto (F^-), que é muito eficiente na complexação do alumínio, liberando assim o fosfato ligado a esse metal. O fósforo presente no solo, como o fosfato de cálcio, também é extraído pela precipitação de fluoreto de cálcio. Assim como citrato e lactato complexam alumínio. d) hidrólise de cátions combinado com P- em solução de PH mais elevado, o fósforo ligado a ferro e alumínio é liberado por hidrólise dos metais. A solução de bicarbonato de sódio a PH 8.5 é muito eficaz na extração de P-Al e P-Ca.

Extratores ácidos, como regra geral, extrai mais fósforo ligado a cálcio no solo e apenas pequenas proporções do elemento ligado ao alumínio e ao ferro. Camprath e Watson (1980), citado por RAJ (1989). Contudo, em solos ácidos ricos em óxidos de ferro, de alumínio e caulínico, como é o caso da maioria dos solos brasileiros, os produtos de reação do fósforo no solo são fosfato de ferro e de alumínio. Desta maneira, os extratores ácidos não deveriam ser a melhor opção para a extração do fósforo destes solos.

O solo mineral é uma mistura porosa de partículas inorgânicas, matéria orgânica em decomposição, ar e água. Algumas propriedades físicas do solo, muito importante serão consideradas neste estudo, entre elas, destacamos a textura, principalmente, no que diz respeito a fração argila. A argila é por excelência, a parte quimicamente ativa da fração mineral dos solos, e tem extraordinária influência nas suas propriedades

x fílicas. É, em geral, a fração mineral a parte responsável pela retenção de elementos nutritivos e pelas agregações dos solos. É a fração que, por unidade de peso, mais água retém.

Para a determinação dos teores de argilas no solo, faz-se necessário uma perfeita dispersão dos colóides do solo, de modo que a análise incida como se pretende sobre partículas individualizadas. Assim, qualquer que seja o método, nele está incluído a indispensável hidratação (COSTA, 1975).

A dispersão dos colóides é facilitada em solos com alta proporção de sódio de troca, ao contrário, quanto maior o grau de saturação de cálcio, melhor as condições de floculação.

Além da natureza dos cátions de troca dominante, a estabilidade dos solos de minerais de argila depende da concentração de sais ou bases utilizadas na dispersão. Para concentração suficientemente elevada, verifica-se a floculação. A sensibilidade à ação floculante dos eletrólitos, depende da natureza do mineral, do pH e da natureza e proporção relativa dos cátions de troca. A intensidade da ação floculante dos diversos eletrólitos é muito variável.

A ação floculante dos sais é tanto mais intensa quanto mais fortemente adsorvido pelos colóides for o cátion. Assim o CaCl_2 é um floculante mais poderoso do que o NaCl .

Até certo limite da concentração, as bases exercem ação dispersante devido a elevação do pH, e, no caso do hidróxido de sódio, a reação de troca do sódio com cátions mais fortemente adsorvidos. Porém para concentração suficientemente elevada acaba por se verificar a repressão da camada dupla bastante para

x

reduzir a floculação. No caso do hidróxido de cálcio, consegue-se floculação para concentração mais baixa. A concentração de hidróxido de sódio usada na solução é suficientemente baixa para não provocar floculação por repressão da dupla camada difusa.

Quando, em vez da soda, se emprega hexametáfosfato de sódio, consegue-se dispersão graças à ação do sódio e a imobilização do cálcio em solução através da formação de um complexo hexametáfosfato de cálcio.

3. METODOLOGIA

Foram coletadas seis amostras de solo, em diferentes municípios do Rio Grande do Norte, até a profundidade de 20 cm. Cada amostra de solo foi secada ao ar, destorroada, pesada em peneira com 2 mm de malha, homogeneizada e, posteriormente, analisada química e fisicamente, (QUADRO 1). Os solos foram caracterizados como latossolo vermelho câmbico (LVc₁) e solo aluvial eutrófico (Ae₁ e Ae₂), latossolo vermelho álico (LVa) e latossolo vermelho distrófico (LVd₁ e LVd₂). Ao solo LVd₂ adicionou-se matéria orgânica obedecendo a proporção solo : esterco de curral de 4 : 1. O pH das amostras do solo foi determinado em potenciômetro com tempo de agitação de um minuto, sendo a relação solo : solução utilizada de 1 : 2,5.

Para determinação dos cátions trocáveis Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺, utilizou-se como extrator a solução de KCl 1N, com tempo de agitação de 15 minutos e a relação solo solução de 1 : 10. A acidez trocável (H⁺ + Al³⁺), foi determinada com auxílio do acetato de cálcio tamponado a pH 7,0, sendo a relação solo :

x

solução de 1 : 10 (EMBRAPA, 1970).

Determinaram-se, ainda, os teores de P, pelos extratores Mehlich-1 (H_2SO_4 0,025N + HCl ~~0,025N~~^{0,05N}), Bray-1 (NH_4F 0,03N + HCl 0,03N), Bray modificado (NH_4F 0,03N + H_2SO_4 0,03N) e Olsen ($NaHCO_3$ 0,5M). No caso do extrator Olsen, o pH da solução foi ajustado a 8,5 utilizando-se para isso solução de NaOH 1M. Para todos os extratores a relação solo : solução utilizada foi de 1 : 10, com o tempo de agitação de 15 minutos.

Na análise textural foram utilizados como dispersantes químicos o hidróxido de sódio e o hexametáfosfato de sódio, o método empregado foi o da pipeta (EMBRAPA, 1979).

A capacidade de campo e o ponto de murcha permanente foram determinados com auxílio da panela de pressão, a 1/3 e 15 atm, respectivamente, por 48 horas.

1/ A descrição dos métodos de análises físicas e químicas utilizada neste estudo encontra-se em anexos.

QUADRO: 1 RESULTADOS DE ANÁLISES QUÍMICAS E FÍSICAS DAS AMOSTRAS DE SOLOS ESTUDADAS.

PARÂMETROS ANALISADOS	SOLOS					
	LVc	Ae	Ae	LVa	LVd	LVe
pH em H ₂ O (1:2,5)	7.0	7.2	7.9	3.8	5.1	7.0
pH em CaCl ₂ 0.01M (1:2,5)	6.4	6.6	7.8	3.4	4.2	6.0
pH em KCl 1N (1:2,5)	5.7	6.2	7.2	3.4	4.2	6.0
Al ³⁺ (meq/100g)	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0
H ⁺ (meq/100g)	0.8	0.9	0.0	2.0	0.8	0.0
Ca ²⁺ (meq/100g)	2.9	4.5	14.0	0.2	0.5	1.0
Mg ²⁺ (meq/100g)	0.6	2.1	7.1	0.3	0.4	0.0
K ⁺ (meq/100g)	0.16	0.52	0.09	0.05	0.05	1.0
Na ⁺ (meq/100g)	0.02	0.52	18.84	0.01	0.02	0.0
(S) soma de bases (meq/100g)	3.68	7.64	40.03	0.56	0.97	2.0
(T) CTC efetiva (meq/100g)	4.48	8.54	40.03	3.26	1.77	3.0
(V) saturação de bases(%)	82.0	89.0	100.0	17.0	55.0	85.0
saturação de Al ³⁺ (%)	0.0	0.0	0.0	55.0	17.0	0.0
matéria orgânica 1/(%)	0.33	1.34	0.81	0.39	0.74	1.0
areia grossa 2/(%)	39.0	18.0	3.0	45.0	46.0	51.0
areia fina 2/(%)	41.0	46.0	12.0	28.0	44.0	41.0
silte 2/(%)	10.0	27.0	81.0	14.0	3.0	4.0
argila 2/(%)	10.0	9.0	4.0	13.0	7.0	4.0
areia grossa 3/(%)	39.0	18.0	3.0	42.0	49.0	53.0
areia fina 3/(%)	41.0	45.0	12.0	23.0	42.0	39.0
silte 3/(%)	4.0	28.0	55.0	6.0	2.0	4.0
argila 3/(%)	16.0	9.0	30.0	29.0	7.0	4.0
argila-H ₂ O(%)	2.0	4.0	3.0	0.1	2.0	2.0
cap. de campo 4/(%) 1/3 atm	12.0	19.5	37.0	16.5	5.5	5.0
umid. de murchamento 5/(%) 15 atm	3.5	6.0	20.0	7.0	2.0	2.0

- 1/ Método Waki Black (EMBRAPA, 1979)
- 2/ Método da pipeta NaOH 1N
- 3/ Método da pipeta hexametáfosfato de sódio
- 4/ Método da panela de pressão
- 5/ Método da panela de pressão

x 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1-PH

De acordo com os dados observados no QUADRO-1, verificou-se ocorrência de variação nos valores de pH obtidos com as diferentes soluções utilizadas neste estudo. Como regra geral, os valores de pH determinados em água foram sempre maiores se comparados àqueles observados ao se utilizar soluções de sais neutros, CaCl_2 0,01M e KCl 1N (QUADRO-1).

A água não altera o processo natural de troca catiônica entre o solo e a solução, devendo haver apenas equilíbrio químico entre os elementos presentes na solução com aqueles que ficam retidos na superfície dos colóides do solo. No caso do pH medido em solução de um sal neutro, íons hidrogênios adsorvidos na fase sólida do solo são deslocados para solução em razão da sua substituição pelos cátions provenientes do sal (Ca^{2+} ou K^+). A magnitude desta dinâmica depende, principalmente, da concentração da solução o que justifica o fato do pH medido em CaCl_2 0,01 M e KCl 1N ser quase sempre inferior ao pH medido em H_2O , conseqüentemente, como a concentração do KCl 1N é superior ao CaCl_2 0,01 M, o pH nesta situação tende a ser sempre um pouco menor. Esse raciocínio é válido para solos que apresentam um saldo positivo de cargas (C.T.C > C.T.A).

Pelas características do pH em solução de CaCl_2 0,01 M, pode-se enumerar as seguintes vantagens em relação ao pH em H_2O , Peech (1965), citado por RAIJ (1981): a) o pH em CaCl_2 é pouco afetado pela relação entre terra e solução; b) a concentração salina 0,01M é suficiente para padronizar as

variações de sais entre as amostras, evitando-se, assim, as variações estacionais de pH; c) a suspensão do solo em solução de CaCl_2 0,01 M é flocculada, o que minimiza os erros provenientes do potencial de junção líquida, uma vez que o elemento de referência permanece num sobrenadante isento de partículas do solo; d) a concentração salina utilizada é semelhante a concentração de sais observada em solução de boa fertilidade e o Ca^{2+} é o íon mais abundante em solos normais. Por essa razão o pH em CaCl_2 0,01M representa a atividade do íon H^+ , mais próximo da que existe no ambiente radicular das plantas.

4.1.2- Correlações entre Diversas Propriedades Químicas do Solo.

O solo é uma massa heterogênea, sujeito a variações tanto do ponto de vista químico, como físico ou biológico. Essas variações alteram constantemente as relações de diversas propriedades do solo, entre elas destacam-se, a capacidade de troca catiônica (T), soma de bases (S), acidez trocável ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) e acidez ativa (pH).

A troca de cátions é uma das mais importantes reações do solo. Esse processo dinâmico depende, principalmente, da natureza da argila e dos seus teores no solo. É interessante ressaltar que a permuta de cátions aumenta, na maioria dos solos, com a elevação do pH.

À medida que o pH é maior, o hidrogênio torna-se ionizado e substituível, nesta situação são igualmente removidos os íons hidróxidos de alumínio $\text{Al}(\text{OH})_3$, permitindo, assim, substituição por cátions trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) levando a

x um conseqüente aumento dos valores de S, T e V e diminuindo os valores de $H^+ + Al^{3+}$ e pH do solo.

QUADRO 2- COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES (r) ENTRE PH (H_2O), $H^+ + Al^{3+}$, S e V (Z), EM SEIS SOLOS DIFERENTES.

PARÂMETROS	$H^+ + Al^{3+}$	S	V(Z)	T
pH (H_2O)	-0,9097**	0,5735	0,9780**	0,5387
$H^+ + Al^{3+}$	-	-0,5886	-0,9438**	-0,5472
S(Z)	0,5735	-	0,5650	0,9986**
V(Z)	-0,9438**	0,5650	-	0,5296
T	-0,5472	0,9986**	0,5296	-

** Significativo até o nível de 1% de probabilidade. Os demais coeficientes são não significativos até o nível de 1% de probabilidade.

De acordo com o observado no QUADRO-2, verifica-se correlações positivas e significativas entre pH (H_2O) e VZ, significando que o pH relaciona-se diretamente com as quantidades de cátions trocáveis presente no solo. A diminuição das bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+) no solo, implica no aumento da concentração de hidrogênio e do alumínio ($H^+ + Al^{3+}$). Nesta situação, o pH do solo tende a decrescer. Fato comprovado pela correlação negativa e significativa entre pH (H_2O) e ($H^+ + Al^{3+}$).

Existe uma correlação entre soma de bases (S) e

capacidade de troca catiônica (T). Essa relação é afetada, principalmente, pela natureza da argila.

Observa-se, ainda, no QUADRO-2, que o pH é inversamente proporcional ao $H^+ + Al^{3+}$, pois a correlação negativa e significativa indica que o pH diminui com o aumento desses elementos, tendo em vista que H^+ e Al^{3+} constituem em grande parte, a acidez do solo.

A correlação entre S e T é positiva e altamente significativa (QUADRO-2). Esse fato, justifica-se em razão da soma dos cátions retidos num determinado colóide depender da sua capacidade de retenção.

4..3-Teores de Fósforo

De acordo com os dados dos teores de fósforo recuperados (QUADRO-3), observaram-se variações nos resultados obtidos para os quatro extratores utilizados. Os diferentes resultados são decorrentes de vários fatores, entre eles, destacam-se a natureza do solo e, o comportamento químico diferenciado de cada extrator.

O fósforo é um elemento que forma diversos compostos no solo com ferro, alumínio e cálcio, podendo estas formas de P estarem solúveis ou não dependendo das condições do pH do meio em que se encontram. Os extratores ácidos extraem, preferencialmente, fósforo ligado ao cálcio, o contrário ocorre com os extratores básicos que extraem mais fósforo ligado ao ferro e ao alumínio.

x QUADRO3- TEORES DE P RECUPERADOS EM SEIS SOLOS UTILIZANDO-SE DIFERENTES EXTRATORES.

SOLOS IDENTIFICADOS	EXTRATORES			
	MEHLICH-1	BRAY-1	BRAY MODIFICADO	OLSEN
LVC	1,76	0,67	0,17	0,00
Ac ₁	82,82	58,08	83,80	30,68
Ac ₂	27,17	28,12	31,19	23,03
LVA	3,63	0,67	0,44	0,00
LVD ₁	4,57	1,73	1,19	0,00
LVD ₂	44,65	52,73	50,26	29,36
X	27,43	23,67	27,87	13,84

Em termos de média geral, observou-se que os teores de fósforo recuperados obedeceram a seguinte ordem crescente dos extratores: olsen, bray-1, mehlich e bray modificado.

O extrator bray modificado, para os solos aluviais eutróficos Ae₁ e Ae₂, apresentou maior tendência de recuperação de P que o extrator bray-1, o que deve-se possivelmente, ao fato de que o extrator bray modificado atua mais intensamente sobre as formas de P-Ca, fato esse relacionado a sua maior acidez. Esse mesmo raciocínio pode ser considerado nos teores de P recuperados para os solos LVC, LVD₁ e LVD₂, onde observou-se uma maior recuperação deste nutriente pelo extrator bray-1 se comparando com os teores recuperados pelo extrator bray modificado (QUADRO-

3). Esse fato deve-se possivelmente a menor acidez do bray-1, o que levaria a uma maior instabilidade as formas de P ligada ao ferro e ao alumínio (LINDSAY, 1970), que pela natureza desses solos são as formas predominantes de P. Os extratores ácidos recuperam parte ou toda fração lábil de P e, da mesma forma da fração não lábil de P, neste caso, a instabilidade conferida pelos extratores à forma predominante de P é que vai determinar a maior ou menor recuperação deste elemento. Em razão deste fato, é que os extratores comportam-se quimicamente diferentes no solo.

Um método que está sendo difundido com bastante expectativa é o que utiliza na extração uma resina trocadora de ânions. Neste método tudo indica que somente o fósforo lábil é extraído, já que não é incluído nenhum extrator químico de ação específica sobre algumas formas determinadas de fósforo (RAIJ, 1979).

4.4 Características Físicas dos Solos Estudados

Nos solos LVc, Ae₂ e LVa, verificou-se que os teores de argila quantificados, quando utilizou-se o hexametáfosfato de sódio, foram maiores do que aqueles observados para o hidróxido de sódio (NaOH 1N).

x QUADRO: 4 - TEORES DE ARGILA OBTIDOS PELO HÍDROXIDO DE SÓDIO E HEXAMETAFOSFATO DE SÓDIO, TEORES DE MATERIA ORGÂNICA, CAPACIDADE DE CAMPO E UMIDADE DE MURCHAMENTO, NAS AMOSTRAS DE SOLOS ESTUDADOS.

SOLOS IDENTIFICAÇÃO	ARGILA (HEXA)	ARGILA (NaOH)	MATERIA ORGÂNICA	CAPAC. CAMPO	UMI- DAD.
			-%		
LVc	16.0	10.0	0.33	12.0	
Ae ₁	9.0	9.0	1.34	19.5	
Ae ₂	30.0	4.0	0.81	37.0	
LVa	29.0	13.0	0.39	16.5	
LVd ₁	7.0	7.0	0.74	5.5	
LVd ₂	4.0	4.0	1.41	5.0	

Para os solos Ae₁, LVd₁ e LVd₂, os teores de argila determinados pelos dispersantes químicos utilizados neste estudo, foram iguais (QUADRO: 4). Esse fato sugere que nos solos LVc, Ae₂ e LVa, a maior eficiência do hexametafosfato de sódio na dispersão das argilas, deveu-se à natureza química dos solos. Tem sido verificado que a utilização do hexametafosfato de sódio em solos com teores relativamente altos de cátions flocculantes, como é o caso do Ca²⁺, tem levado a resultados maiores em comparação com outros dispersantes químicos, tendo em vista que o fósforo liberado do hexametafosfato de sódio combina-se com o íon Ca²⁺.

proporcionando desta forma, uma maior eficiência na dispersão causada pelo íon sódio (COSTA, 1975).

Esses resultados demonstram que o conhecimento prévio da natureza do solo é fator de fundamental importância à utilização de um dispersante eficiente, fato que se não for observado, pode levar a interpretações equivocadas quanto algumas características do solo. A exemplo disto, é que nos seis solos estudados, houve mudança na classe textural em três solos: LVc, Ae₂ e LVa (QUADRO-1). Fato como este leva a situações desfavoráveis, principalmente quando se trata de práticas de irrigação, onde as quantidades de água a serem aplicadas no solo dependem basicamente entre outros fatores, da textura do solo.

Para os resultados de capacidade de campo e teor de argila, obtido pelo hexametáfosfato de sódio, observou-se correlações positivas e significativas até o nível de 5% de probabilidade ($r = 0,7509$), indicando, como tendência, que a capacidade de campo aumenta com os teores de argila.

Se analisarmos os solos isoladamente, verifica-se que no solo Ae₁ a capacidade de campo foi maior se comparada ao observado nos solos LVc e LVa, ou possivelmente, a maior atividade da argila no solo Ae₁ associada neste caso, a um maior teor de matéria orgânica.

Para o grau de floculação e dispersão, avaliados pelos dispersantes químicos, hidróxidos de sódio e hexametáfosfato de sódio, observou-se resultados diferentes nos solos LVc e Ae₂ (QUADRO-5). Este fato deve-se a dinâmica diferenciada dos dispersantes químicos utilizados.

x

QUADRO: 5 VALORES PERCENTUAIS DE ARGILAS DISPERSAS PELO HIDRÓXIDO DE SÓDIO E HEXAMETAFOSFATO DE SÓDIO, GRAU DE FLOCULAÇÃO E RELAÇÃO SILTE ARGILA.

SOLOS IDENTIFICAÇÃO	GRAU DISPERSÃO		GRAU FLOCULAÇÃO		REL. S/A	
	NaOH	HEXA	NaOH	HEXA	NaOH	HEXA
	%					
LVc	20.0	13.0	80.0	87.0	1.0	0.0
Ae1	45.0	45.0	55.0	55.0	3.0	3.0
Ae2	75.0	10.0	25.0	90.0	20.0	1.0
LVa	1.0	1.0	98.0	99.0	1.1	0.0
LVd1	29.0	29.0	71.0	71.0	0.4	0.0
LVd2	80.0	80.0	20.0	20.0	1.0	1.0
X	29.67	41.67	70.73	58.17	1.1	4.0

De maneira geral, observou-se que o grau de dispersão mantém uma relação direta com o pH do solo, pois a dispersão dos minerais de argila é favorecida com o aumento do pH do solo, conforme COSTA, (1975).

RESUMO E CONCLUSÃO

Caracterizou-se química e fisicamente seis solos diferentes, empregando metodologias que comumente são empregadas em laboratório para análise de rotina. Testou-se algumas correlações existentes entre diversas propriedades químicas do solo, bem como os extratores usados para análise e determinação dos teores de fósforo, e ainda comparou-se o comportamento químico do hexametáfosfato de sódio com o hidróxido de sódio na quantificação das diferentes frações granulométricas do solo.

Observou-se que o pH dos solos tendem a aumentar com as bases e, conseqüentemente, diminuir com a elevação dos teores de H^+ + Al^{3+} .

Os extratores Bray Modificado e Mehlich-1, em termos de média geral, extraíram maiores teores de P se comparados, com os teores observados para o Bray-1 e para o Olsen.

O dispersante químico hexametáfosfato de sódio foi mais eficiente nos solos LVc, Ae_z e LVa.

Como tendência, os maiores valores de capacidade de campo e umidade de murchamento foram constatados nos solos aluviais.

x REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BULL, Leonardo Theodoro .Interpretação de análise química do solo e Plantas para fins de adubação. editado por Leonardo Theodoro Bull e Ciro Antônio Rosolem. Botucatu: Fundação de estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestas, 1989. 360 P.
- COSTA, J. V. Botelho da. Caracterização e Constituição do Solo.Lisboa:Fundação Calouste Gulbenkian, 1975. 527 P.
- MALAVOLTA, E. Manual de Química Agrícola; nutrição de Plantas e Fertilidade do Solo. Ed. Agronômica Ceres etda. São Paulo, 1976. 528 P.
- MELO, Francisco A. de (et al). Fertilidade do Solo. 2ª ed São Paulo: Nobel. 1984. 456 P.
- RAIJ, Bernardo Van. Avaliação da Fertilidade do Solo . Piracicaba: Instituto de Potassa & Fosfato, Instituto Internacional de Potassa,1981. 142 P.
- RAIJ, B.V. & GUAGGIO.J.A. Análise Química do Solo para Fins de Fertilidade: Campinas, Fundação Cargill, 1987. 170 P.
- PRIMAVESI, Ana. Manejo Ecológico do Solo. a agricultura em regiões tropicais. 7ª ed. São Paulo. 1984. 541 P.

x

7. ANEXOS

x 7.1 Determinação de pH pelo método potenciométrico.

pH (em H_2O $CaCl_2$ 0,02 M e KCl 1N).

- colocar 10g de terra fina em copo plástico 100ml e adicionar 25ml de solução (água destilada ou deionizada; $CaCl_2$ KCl 1N);
- agitar com o bastão de vidro e deixar repousar pelo menos uma hora;
- ligar o potenciômetro pelo menos 3 minutos antes de efetuar as leituras;
- aferir o potenciômetro com as soluções tapão pH= 7,0 e pH= 4,0;
- agitar cada amostra com o bastão de vidro antes de mergulhar o eletrodo na suspensão e fazer a leitura do pH.

7.2 Cálcio Trocável

7.2.1 Extração

- colocar 10g de terra fina em erlermeyer de 125ml e adicionar 100ml de solução KCl 1N;
- agitar durante 15 minutos em agitador mecânico horizontal;
- deixar decantar durante a noite.

7.2.2 Determinação

- no dia seguinte, pipetar, sem filtrar, 25ml do extrato e passar para erlermyer de 125ml;
- adicionar 3ml de solução de hidróxido de potássio (KOH) a 10%, e uma pitada (mais ou menos 50mg) do indicador murexida;
- titular com EDTA 0,025 N; Viragem do róseo para o roxo; verificar o número de mililitros gastos na bureta e anotar;
- o teor de Ca^{2+} existente na amostra é dado pela igualdade:

x meq. Ca^{2+} / 100ml de terra fina = ml de EDTA 0.025 N.

7.3 Cálcio + Magnésio Trocável

7.3.1 Extração

Método 7.2.1

7.3.2 Determinação

- pipetar sem filtrar 25ml do extrato e passar para erlenmeyer de 125ml;

- adicionar 4ml de coquetel de cianeto de potássio trietanolamina e solução tapão, uma pitada (mais ou menos 30mg) de ácido ascórbico e 3 gota do indicador eriocromo black;

- titular com sal dissódico EDTA 0.025 N; a viragem se dar do róseo para o azul puro; verificar o número de mililitro gastos na bureta e anotar;

- o teor de ($\text{Ca}^{2+} + \text{Hg}^{2+}$) existente na amostra é dado pela igualdade:

ml de EDTA 0.025 N = meq de ($\text{Ca}^{2+} + \text{Hg}^{2+}$) / 100ml de terra fina.

7.4 Alumínio Trocável (Al^{3+})

7.4.1 Extração:

- É feito em conjunto com cálcio + magnésio, 7.3.1.

7.4.2 Determinação:

- pipetar, sem filtrar, 25ml do extrato e passar para erlenmeyer de 125ml;

- adicionar 3 gotas do indicador azul de brometamol 0.1% e titular com solução NaOH 0.025 N; a viragem se dar do amarelo

x para o verde; verificar o número de mililitros gastos na bureta e anotar;

- o teor de alumínio existente na amostra é dado pela igualdade:

$\text{ml de NaOH } 0,025 \text{ N} = \text{meq de Al}^{3+} / 100\text{ml de terra fina.}$

7.5 Potássio Trocável

7.5.1 Extração

- colocar 10g de terra fina em erlermeyer de 125ml e adicionar 100ml de solução extratora (HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N);

- agitar durante 15 minutos em agitador circular horizontal;

- deixar decantar durante uma noite, tendo antes cuidado de desfazer os montículos que se formam no fundo do erlermeyer.

7.5.2 Curva Padrão

- ajustar o aparelho usando os pontos 0,0; 0,1; 0,2; 0,3 e 0,4; sendo o ponto 0,4 ajustado para a leitura 10;

- proceder as leituras para o restante dos pontos.

7.5.3 Determinação

- pipetar, sem filtrar, mais ou menos, 10ml do extrato e passar para o recipiente plástico de aproximadamente 30ml;

- fazer as leituras no fotômetro de chama.

7.6 Sódio Trocável

7.6.1 Extração, Curva Padrão e Determinação

Método igual ao 7.5.

x 7.7 Acidez Troável (H^+ + Al^{3+})

Método do Acetato de Cálcio Normal a pH 7.0

- pesar 10g de terra fina, colocar em erlenmeyer de 200ml e adicionar 150ml de solução de acetato de cálcio = 7.0;
- fechar com rolha e agitar com movimentos circulatorios, repetir essa operação várias vezes ao dia;
- pipetar 100ml da solução sobrenadante obtida com acetato de cálcio e passar para erlenmeyer de 200ml;
- adicionar 5 gotas de solução de fenolfetaleína a 3% e titular com a solução de 0.0606 N de NaOH até o desenvolvimento da cor róseo persistente;
- calcular a porcentagem de (H^+ + Al^{3+}) pela seguinte expressão:

$(ml \text{ de NaOH da amostra} - ml \text{ de NaOH da prova em branco}) \times f = meq (H^+ + Al^{3+})/100g \text{ de terra fina. } f = \text{fator de correção.}$

7.8 Fósforo

7.8.1 Preparo de Soluções

A. Solução L - 660

A.1 Subcarbonato de bismuto

Pesar 1.000g de $(BiO_2)_2CO_3 \cdot 1/2 H_2O$ e colocar em balão de 1000cm³ contendo cerca de 200ml de água destilada deionizada. Adicionar cuidadosamente 139cm³ de H_2SO_4 d = 1.84.

A.2 Molibdato de amônio

- Pesar 20g de $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ e dissolver em

x

aproximadamente 300cm³ de água destilada/deionizada.

- Obtém-se a solução L - 660 vertendo-se cuidadosamente A₂ em A₁. Esperar o sistema esfriar e completar o volume do balão.

B. Reagente de trabalho (RTP)

- Tomar 250cm³ da solução L - 660 e diluir em 500cm³ de água destilada/deionizada.

- Colocar a solução em pipetador automático regulado para expelir 6cm³.

C. Solução redutora (RE)

- Tomar 0,2g de ácido ascórbico e dissolver em 100cm³ de água destilada/deionizada.

7.8.2 Extração

Soluções extratoras: (HCl 0,05N + H₂SO₄ 0,025N / NH₄F 0,03N + HCl 0,03N / NH₄F 0,03N + H₂SO₄ 0,03N ou NaHCO₃ 0,5M). M

7.8.3 Curva Padrão de fósforo

- Em tubos de ensaio de 25cm³ adicionar soluções conforme indicado no quadro a seguir:

x

P (mg.dm ⁻³)	DILUIÇÃO (H ₂ O)	SOLUÇÕES			
		P-10	EXT	RTP	RE
		cm ³			
0.0	10.0	0.0	2.0	6.0	2.0
0.2	9.6	0.4	2.0	6.0	2.0
0.4	9.2	0.8	2.0	6.0	2.0
0.6	8.8	1.2	2.0	6.0	2.0
0.8	8.4	1.6	2.0	6.0	2.0
1.0	8.0	2.0	2.0	6.0	2.0

* Solução extratora empregada.

7.8.4 Leitura

- Concluída a operação indicada em 7.6.2, homogeneizar todos os tubos manualmente e esperar pelo menos 20 minutos para o desenvolvimento da cor azul.

- Efetuar as leituras em 660nm em transmitância (TZ)* ou absorvância (A).

x3

x

* Neste caso, a transmissão deve ser feita empregando-se a lei de Lambert-Beer: $A = 2 - \log T\%$.

7.8.5 Dosagem de Fósforo

A curva deve ser obtida e, em cada série de leitura deve ser introduzida uma prova em branco para obtenção do primeiro ponto da curva e ajuste do espectrofotômetro em $T\% = 100$ ou $A = 0,0000$.

Do extrato a ser analisado, tomar uma alíquota de 2ml de RT, RE e diluição com 10cm^3 de água destilada/deionizada. Caso a leitura ultrapasse 10% além do ponto de mais alta concentração (azul muito intenso, baixo valor de $T\%$), proceder a diluição conforme indicado a seguir:

- a) coletar uma alíquota "a" do extrato, inferior a $2,0\text{cm}^3$;
- b) completar os $2,0\text{cm}^3$ com " x " cm^3 da solução extratora. Ou seja, $x = 2 - a$;
- c) a razão de diluição será: $d = a/b$.

7.8.6 Cálculos

- a) Não havendo diluição: $P = a + b \cdot A$
- b) Quando há diluição (usar o fator multiplicativo)
 $P = (a + b \cdot A) \cdot F_d$, onde $F_d = 1/d$ (o valor de "d" é obtido na seção 7.8.5c).
- c) Teor de fósforo na amostra: $P \cdot (\text{mg} \cdot \text{d}^{-3}) = P \cdot 10$

Obs: O fator 10 corresponde à diluição a que se submete a amostra durante a obtenção do extrato (10cm^3 em 100cm^3).

x * a e b são coeficientes linear e angular da reta. A é igual a leitura em absorvância.

7.9 Carbono Orgânico (Walkey e Black, JACKSON - 1958)

7.9.1 Preparo da amostra

- passar cerca de 5g de TFSa em peneira de 0.2mm;
- obtém-se desse modo, amostra de análise.

7.9.2 Oxidação da matéria orgânica

- tomar 0.5g da amostra obtida e passar para erlenmeyer de 125ml;

- adicionar 10ml da solução de dicromato de potássio. Normal - $K_2Cr_2O_7$ e misturar bem;

- adicionar 25ml de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4 - $d = 1.84$) e agitar bem a suspensão.

- deixar em repouso durante 20 a 30 minutos.

- preparar um erlenmeyer com a prova em branco.

7.9.3 Titulação com Sulfato Ferroso Amoniacal - $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 0.5N$.

- após o repouso, adicionar, aproximadamente 50ml de água destilada, 25ml de H_3PO_4 P.A., uma "pitada" (0.2g) de NaF e 3 a 4 gotas de DIFENILAMINA;

- titular com sulfato ferroso amoniacal (pode-se também usar o $FeSO_4$, como substituto);

- titular a prova em branco anotando o volume gasto (V_b). O final da titulação é atingido quando a coloração escura se altera para verde.

x

7.9.4 Nos erlenmeyers com amostra de análise, proceder como em 7.9.3, anotando o volume gasto (V_g).

7.9.5 O cálculo do teor de carbono orgânico - CO(%):

$$CO = (1 - V_g/V_b) \cdot 7.79$$

$$\text{Matéria orgânica} = 1.724 \cdot CO.$$

7.10 Análise granulométrica (dispersão total)

Método da pipeta

- colocar 20g de terra fina em copo plástico de 250ml;
- adicionar 100ml de água destilada e 10ml de solução normal de hidróxido de sódio ou 10ml de hexametáfosfato de sódio, tamponado com carbonato de sódio;
- agitar com um bastão de vidro e deixar em repouso durante uma noite, cobrindo o copo com vidro de relógio;
- transferir o conteúdo para copo metálico do agitador elétrico (STIRRER) com auxílio de um jato de água deixando o volume em torno de 300ml;
- colocar o copo no agitador e proceder a agitação durante 15 minutos para solos argilosos e de textura média e 5 minutos para solos arenosos;
- passar o conteúdo através de peneira de 20cm de diâmetro e malha de 0,053 (No 270), colocada sobre um funil apoiada em um suporte, tendo logo abaixo uma proveta de 1000ml ou um cilindro de sedimentação;
- lavar o material retido na peneira com água proveniente de um depósito colocado a mais ou menos 3m de altura, de modo se obter uma pressão uniforme na magueira e uma lavagem eficiente e

x̄

x rápida das areias;

- completar o volume do cilindro até o aferimento com auxílio de uma piceta;

- agitar a suspensão durante dos minutos com o bastão, tendo este, na sua extremidade inferior, uma tampa de borracha contendo vários furos de diâmetro um pouco menor do que o cilindro da proveta;

- marcar o tempo após concluir a agitação;

- preparar a prova em branco colocando dispersante utilizado em proveta de 1000ml contendo água destilada, completar o volume, agitar durante 2 minutos e marcar o tempo;

- medir a temperatura da prova em branco e da amostra e verificar, com auxílio de uma tabela, o tempo de sedimentação da fração argila para 5cm de profundidade;

- calcular o tempo, introduzir uma pipeta de 50ml, colocado em pipetador automático de borracha até a profundidade de 5cm e coletar a suspensão;

- transferir para capsula de porcelana ou backer numerado e de peso conhecido, juntamente com a porção proveniente da lavagem da pipeta;

- repetir essa operação para prova em branco;

- colocar a capsula na estufa e deixar durante uma noite ou até evaporar completamente a suspensão;

- retirada da estufa, colocar em dessecador, deixar esfriar e pesar com aproximação de 0,0001g, concluindo assim a determinação da argila e do resíduo da prova em branco;

- completar a lavagem da areia retida na peneira de 0,053mm

x

com o jato forte de água de torneira;

- transferir a fração de areia para lata de alumínio numerada e de peso conhecido, eliminar o excesso de água e, em seguida, colocar na estufa;

- após secagem (3 a 5 horas são suficientes) deixar esfriar e pesar, com aproximação de 0,05g, obtendo, assim, o peso da areia grossa mais areia fina;

- transferir essa fração para peneira de 20cm de diâmetro e malha 0,2mm (No 70), colocada sobre recipiente metálico de mesmo diâmetro, e proceder a separação da areia grossa;

- transferir a areia fina para mesma lata que foi usada, anteriormente, e pesar;

- calcular os valores de frações de acordo com as seguintes expressões:

$$\% \text{ de argila} = (\text{peso da argila} + \text{dispersante}) - \text{peso de dispersante} \cdot 100 \cdot f$$

$$\% \text{ de areia fina} = \text{peso da areia fina} \cdot 5 \cdot f$$

$$\% \text{ de areia grossa} = (\text{peso da areia fina} + \text{peso da areia grossa}) - \text{peso da areia fina} \cdot 100 \cdot f.$$

$$\% \text{ de silte} = 100 - (\% \text{ de argila} + \% \text{ de areia fina} + \% \text{ de areia grossa}).$$

7.11 Umidade a 15 atmosferas- Umidade de Muchamento

- colocar 20 a 30g de terra fina no interior dos anéis de borracha de 1cm de altura e 6cm de diâmetro, distribuídos sobre placa de 15 bar;

- com auxílio de uma piceta, adicione lentamente água

x̄

x destilada no centro da placa, até que observe o espalhamento da água, que por capilaridade satura as amostras e deixar durante uma noite;

- retirar a placa, eliminar o excesso de água com auxílio de uma seringa, e colocar nas placas;

- apertar bem os parafusos e abrir os reguladores de pressão, gradativamente, até que o manômetro acuse a pressão de 15 bar;

- deixar por período de 24 horas ou mais, caso se observe que ainda há drenagem proveniente das amostras;

- separar uma quantidade de latas de alumínio numeradas e de peso conhecido igual ao número de amostra;

- descarregar a pressão, retirar as placas e transferir as amostras imediatamente para as latas com auxílio de uma espátula de aço inoxidável;

- pesar o mais rapidamente possível, com aproximação de 0,05g, colocar na estufa, deixar por 24 horas, dessecar, esfriar e pesar novamente;

- calcular a umidade atmosférica de acordo com a seguinte expressão:

$$\% \text{ de umidade a } 15 \text{ atm} = 100 (\text{peso da amostra a } 15 \text{ atm} - \text{peso da amostra seca a } 105^{\circ}\text{C}) / \text{peso da amostra seca a } 105^{\circ}\text{C}.$$

7.12 Umidade a 1/3 de atmosfera- Capacidade de Campo

- método utilizado igual ao 7.11

- calcular a umidade a 1/3 da atmosfera de acordo com a seguinte expressão:

$$\% \text{ de umidade de } 1/3 \text{ atm} = 100 (\text{peso da amostra a } 1/3 \text{ atm} - \text{peso da amostra seca a } 105^{\circ}\text{C}) / \text{peso da amostra seca a } 105^{\circ}\text{C}.$$