

ALGUMAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS
E DE ENGENHARIA DE UMA AFOILA
ORGÂNICA DO RECIFE

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

Engº Civil - JOÃO BATISTA QUEIROZ DE CARVALHO

"ALGUMAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E DE
ENGENHARIA DE UMA ARGILA ORGÂNICA DO RECIFE"

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS CURSOS DE
PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DO CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLO-
GIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA COMO PARTE DOS REQUI-
SITOS NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS
(M.Sc.)

COMISSÃO EXAMINADORA:

PROF. J. G. CABRERA
Presidente

PROF. JAIME DE AZEVEDO G. FILHO
Examinador Externo

PROF. HEBER CARLOS FERREIRA
Chefe do Dept. Enga. Civil

DIGITALIZAÇÃO:
SISTEMOTECA - UFCG

CAMPINA GRANDE-PARAÍBA BRASIL

MARÇO 1975

AGRADECIMENTOS

O Autor agradece ao Prof. J.G.CABRERA, do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Leeds Reino Unido, pela dedicação com que orientou; agradece ainda ao:

- Banco Nacional para o Desenvolvimento Econôomico pelo suporte financeiro,
- Instituto Tecnolôgico do Estado de Pernambuco e ao Prof. Dilson C.L. Teixeira pela coooperação recebida na retirada das amostras,
- Prof. José Silvino Sobrinho, Diretor do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, pelo apoio e incentivo.

"ALGUMAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E DE
ENGENHARIA DE UMA ARGILA ORGÂNICA DO RECIFE"

Tese de Mestrado

por

João Batista Queiroz de Carvalho

R E S U M O

O propósito desta dissertação foi estudar "algumas propriedades físico-químicas e de engenharia de uma argila orgânica" que forma parte do subsolo da cidade do Recife.

As "amostras indeformadas" foram retiradas do subsolo pelo uso de tubos de parede fina sem costura conhecidos por tubos tipo "Shelby". Os resultados dos ensaios de laboratório foram obtidos com amostras retiradas ao longo da camada de argila orgânica com intervalos de 1,0 metro.

Os ensaios, teor de umidade de campo, limites de Atterberg, análise granulométrica, área específica, pH, composição mineralógica, adensamento e triaxial não consolidado não drenado, permitiram não somente o estudo do solo em função da profundidade mas também sua caracterização.

O estudo mostra que a homogeneidade e uniformidade da "argila orgânica" é provavelmente função da variação do teor de matéria orgânica. O solo é caracterizado como uma "argila orgânica" com baixo teor de matéria orgânica finamente dividida, apresentando alta plasticidade, composta predominantemente do argilo-mineral caulinita, normalmente adensada e de baixa sensibilidade.

Análise de regressão linear foi usada para explorar possíveis correlações entre os valores dos diferentes ensaios realizados. Isto mostra que, dentro das limitações do estudo, existem correlações entre os parâmetros meditos. Propõe-se que estas correlações sejam usadas preliminarmente para avaliar as propriedades de engenharia do solo estudado.

"SOME PHYSICO-CHEMICAL AND ENGINEERING
PROPERTIES OF AN ORGANIC CLAY FROM RECIFE"

M.Sc. Thesis

by

João Batista Queiroz de Carvalho

A B S T R A C T

The purpose of this dissertation was to study some physico-chemical and engineering properties of an "organic clay" which forms part of the soil profile underlying the city of Recife.

Undisturbed specimens were recovered from the subsoil by the use of seamless, thin walled steel tubes known as "Shelby type tubes". Results during the laboratory testing programme were obtained from specimens recovered at 1 m intervals along the depth of the organic clay strata.

Field moisture content, Atterberg limits, grain size distribution, specific gravity, specific surface, pH, mineralogical analysis, consolidation and unconsolidated undrained triaxial tests allowed not only the study of the soil as a function of depth but its characterization as well.

The study shows that the homogeneity and uniformity of the "organic clay" is probably a function of the variation of organic matter content. The soil is characterized as a: "soft organic clay with traces of highly divided inactive organic matter, exhibiting high plasticity, composed predominantly of kaolinite clay mineral, normally consolidated and of low sensitivity".

Linear regression analysis was used to explore possible correlations between the values of the different tests carried out. It is shown that, within the limitations of the study, statistical relations do exist between the parameters measured. It is proposed that these correlations may be used for preliminary evaluation of the engineering properties of the soil studied.

LISTA DE SÍMBOLOS

| | | |
|--------------------------------|---|--|
| W | = | teor de umidade |
| W_L | = | limite de liquidez |
| W_p | = | limite de plasticidade |
| I_p | = | índice de plasticidade |
| I_L | = | índice de liquidez |
| γ | = | massa específica aparente úmida |
| γ_d | = | massa específica aparente seca |
| G_s | = | massa específica real |
| n | = | porosidade |
| S | = | grau de saturação |
| S_s | = | área específica |
| σ | = | tensão efetiva |
| $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ | = | tensões principais |
| c | = | coesão |
| ϕ | = | ângulo de atrito |
| C_v | = | coeficiente de adensamento |
| C_c | = | índice de compressão |
| UU | = | ensaio triaxial não consolidado não drenado (unconsolidated undrained). |

Í N D I C E

| | Página |
|--|--------|
| AGRADECIMENTO | ii |
| RESUMO | iii |
| ABSTRACT | v |
| LISTA DE SÍMBOLOS | vii |
| ÍNDICE | viii |
| | |
| CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| | |
| CAPÍTULO 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 3 |
| 2.1 Introdução | 3 |
| 2.2 Composição Mineralógica | 4 |
| 2.3 Textura | 6 |
| 2.4 Natureza da superfície das partí culas | |
| 2.5 Influência da matéria orgânica | 11 |
| 2.6 Microestrutura | 14 |
| 2.7 Influência das propriedades in trínsecas nos parâmetros de enge nharia | 15 |
| 2.8 Parâmetros de engenharia e fato res que influenciam suas determi nações | 19 |
| 2.9 Conclusões | 28 |

| | Página |
|--|--------|
| CAPÍTULO 3 OBJETIVO DA PESQUISA | 29 |
| CAPÍTULO 4 DESCRIÇÃO DO SUBSOLO DO RECIFE | 31 |
| 4.1 Introdução | 31 |
| 4.2 Origem e formação | 31 |
| 4.3 Características dos solos do Recife | 32 |
| CAPÍTULO 5 OBTENÇÃO DAS AMOSTRAS E MÉTODOS DE ENSAIOS | 37 |
| 5.1 Introdução | 37 |
| 5.2 Coleta e preparação das amostras | 37 |
| 5.3 Ensaio realizados | 38 |
| CAPÍTULO 6 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS | 56 |
| 6.1 Introdução | 56 |
| 6.2 Teor de umidade | 56 |
| 6.3 Massa específica aparente úmida e massa específica aparente seca | 57 |
| 6.4 Massa específica real | 57 |
| 6.5 Limites de Atterberg | 57 |
| 6.6 Análise granulométrica | 58 |
| 6.7 Percentagem de matéria orgânica | 58 |
| 6.8 Potencial hidrogeniônico (pH) | 59 |

| | Página | |
|------------|--|-----|
| 6.9 | Área específica | 59 |
| 6.10 | Composição mineralógica | 60 |
| 6.11 | Triaxial | 61 |
| 6.12 | Adensamento | 61 |
| CAPÍTULO 7 | DISCUSSÃO DOS RESULTADOS | 78 |
| 7.1 | Introdução | 78 |
| 7.2 | Mineralogia da camada de argila | 78 |
| 7.3 | Caracterização do solo que forma a camada de argila orgânica | 81 |
| 7.4 | Correlações obtidas com alguns parâmetros | 93 |
| CAPÍTULO 8 | CONCLUSÕES | 105 |
| CAPÍTULO 9 | SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS | 110 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 113 |
| APÊNDICE A | Quadro resumo dos resultados obtidos | 123 |
| B | Programa Fortran utilizado para obter correlações | 128 |

| | | Página |
|--------|--|--------|
| | C Procedimento para abertura dos "shelbies" | 131 |
| | D Curvas típicas das análises granulométricas | 133 |
| | E Circuitos de Mohr | 137 |
| FIGURA | 1 Perfil do subsolo entre as pontes Duarte Coelho e Derby | 36 |
| FIGURA | 2 Perfil do subsolo no local da retirada das amostras | 50 |
| FIGURA | 3 "Shelbies" usados na coleta das amostras | 52 |
| FIGURA | 4 Aparelho utilizado para medir as dimensões dos corpos de prova para os ensaios triaxiais | 52 |
| FIGURA | 5 Extrator de amostras | 52 |
| FIGURA | 6 Corpos de prova dos ensaios triaxiais | 54 |
| FIGURA | 7 Material encontrado nas amostras do solo (conchas etc.) | 55 |

| | Página | |
|------------|--|----|
| FIGURA 8 | Variação do teor de umidade e massas específicas, com a profundidade | 63 |
| FIGURA 9 | Variação da massa específica real, grau de saturação e porosidade com a profundidade | 65 |
| FIGURA 10 | Limites de Atterberg | 67 |
| FIGURA 11 | Variação da percentagem de matéria orgânica, pH e área específica com a profundidade | 69 |
| FIGURA 12 | Termogramas | 71 |
| | Difratogramas | 72 |
| FIGURA 13 | Variação da coesão, índice de compressão e coeficiente de adensamento | 75 |
| FIGURA 14 | Curvas e x log. das tensões | 77 |
| FIGURAS 15 | | |
| a | | |
| 18 | Correlações efetuadas | 98 |

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

As construções civis em terrenos onde se encontra argila mole constituem um problema sério no campo da Engenharia de Fundações. Estes solos, além de uma baixa capacidade de carga, são susceptíveis a grandes deformações. A presença de matéria orgânica pode modificar as propriedades deste material.

No Brasil, a ocorrência de argilas orgânicas, acrescido dos problemas surgidos nas fundações assente sobre estes solos, tornaram-se indispensáveis estudos específicos no sentido de aprimorar as técnicas aplicadas.

O subsolo da cidade do Recife é formado por uma espessa camada de argila com identificável presença de matéria orgânica situada entre camadas de areias e às vezes siltes ou argila de cor variada. Segundo Teixeira⁵⁴ mais da metade do denominado grande Recife é formado por este tipo de solo, constituindo os chamados depósitos de argila orgânica. Esta ocorrência tem provocado diversos acidentes nas fundações de pontes, pavimentos ou mesmo edifícios⁵⁴. Pode-se

ainda associar ao exposto, a presença do lençol freático quase sempre próximo à superfície do terreno, dificultando com isto, a execução das fundações.

O aumento considerável de construções aliado a outros fatores tais como: área, presença do nível d'água e sensível variação na espessura da camada de argila orgânica, está preocupando os técnicos que sentem cada vez mais a necessidade de melhor conhecer as propriedades deste material conhecido como argila orgânica. A propriedade que parece mais interessar é aquela relacionada com a resistência ao cisalhamento do solo.

Cabrera e Valdês¹¹ estudaram estas argilas em termos de resistência in situ e em laboratório; este estudo consistiu na determinação e análise da coesão, não drenada, penetração estática e dinâmica e Vane Test de campo e laboratório.

Assim procurando-se ampliar o conhecido sobre uma argila orgânica do Recife, investigou-se neste trabalho, algumas propriedades físico-químicas e de engenharia.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Introdução

Os parâmetros de engenharia dos solos finos são altamente dependentes das propriedades de sua fração tamanho argila. Embora a medida das propriedades de engenharia dos solos de grãos finos, tais como permeabilidade, compressibilidade e resistência, seja matéria de rotina para o engenheiro de solos, as propriedades intrínsecas do solo, as quais afetam estes parâmetros, não estão ainda totalmente esclarecidas.

Esta revisão bibliográfica apresenta uma análise das seguintes propriedades dos solos finos:

- a - mineralogia da fração tamanho argila
- b - textura
- c - natureza da superfície das partículas
- d - adsorção de íons (orgânicos e inorgânicos).

A influência destas propriedades no comportamento dos solos finos é também analisada.

2.2 - Composição Mineralógica

Nos solos finos a fração tamanho argila está composta entre outros, dos seguintes elementos: quartzo, matéria orgânica e argilo-mineral; o que parece mais influenci- ar as propriedades de engenharia de um solo fino é a fração ar- gila, portanto, se fará uma breve revisão da mineralogia dos ar- gilo-minerais.

Segundo Scott⁴² os argilo-minerais se grupam ordenadamente formando uma estrutura tridimensional cris- talina. Baseado nesta estrutura e na composição química, os grupos de maior interesse são montmorilonita, illita e caulinita. Todos apresentam uma estrutura plana cristalina formada por te- traedros de sílica e octaedros de magnésio ou alumínio.

A unidade estrutural da montmorilonita é formada por uma camada octaédrica de alumínio entre duas cama- das tetraédricas de sílica. Na superposição destas unidades, as camadas de oxigênio de cada unidade são adjacentes as cama- das de oxigênio da unidade vizinha; estas ligações são fracas pois as mesmas são originadas por forças de origem eletrostáti- ca, ou seja, forças de Van der Waals - London.

A água, cátions e outras moléculas polares, como certas moléculas orgânicas, podem penetrar entre as unidades causando a expansão. Devido a presença de íons e moléculas polares as camadas se fragmentam em partículas extremamente pequenas, cerca de 0,05 microns de diâmetro e, com uma relação diâmetro/espessura de 400:1⁴². Segundo Grim¹⁹ esta relação é de 100-300:1. A fórmula química, sem considerar as substituições na unidade, pode ser representada por $(\text{OH})_4\text{Si}_8\text{Al}_4\text{O}_{20}\cdot n\text{H}_2\text{O}$ e, a teórica composição, sem o material intercamada, é SiO_2 66,7%, Al_2O_3 28,3% e H_2O 5%. Marshall³⁰ e Hendricks²¹ enfatizam que a montmorilonita sempre difere da fórmula teórica acima devido a substituição, dentro da unidade, do alumínio e possivelmente fósforo em lugar da sílica na coordenação tetraédrica e/ou magnésio, ferro, zinco, níquel etc. em lugar do alumínio na camada octaédrica.

As ilitas, descobertas por Grim¹⁹, consistem dos mesmos elementos estruturais da montmorilonita com exceção de que alguns dos silícios são substituídos por alumínio e a deficiência de carga resultante é equilibrada por íons de potássio. A fórmula química é representada por $\text{K}_y(\text{Al}_4\text{Fe}_4\text{Mg}_4\text{Mg}_6)(\text{Si}_{8-y}\text{Al}_y)\text{O}_{20}(\text{OH})_4$, y é geralmente igual a 1,5.

A relação diâmetro/espessura é da ordem de 50:1 para um diâmetro de aproximadamente 1,5 microns³⁷. Grim⁹ mostra que esta relação é de 2-25:1.

A estrutura da Caulinita foi primeiro sugerida por Linus Pauling em 1930. Esta estrutura é composta

de uma simples camada tetraédrica de sílica e uma camada octaédrica de alumínio. A fórmula estrutural com que se representa a caulinita é $Al_4Si_2O_{10}(OH)_8$. Os principais argilo-minerais do grupo da caulinita são: caulinita, nacrita, diquita e haloisita.

As argilas têm a propriedade de absorver água em virtude da insaturação negativa que apresentam em suas superfícies oriunda principalmente das ligações partidas de íons da superfície do cristal. Os argilo-minerais do grupo da caulinita, segundo Souza Santos⁴⁷, têm a capacidade de troca de cátions inferior a dos outros grupos pelo fato de não ocorrerem substituições isomórficas no reticulado cristalino, no entanto Lambe e Whitman²⁷ afirmam que ocorre a substituição isomórfica, embora seja muito pequena.

2.3 - Textura

O termo textura refere-se à distribuição dos tamanhos e forma das partículas. Poucos estudos têm sido realizados visando desenvolver novos métodos de estudos a respeito da textura das argilas em seu estado natural. O conhecimento da distribuição das partículas, em detalhes e determinações, é normalmente feito através da análise por sedimentação. Neste tipo de ensaio o agente químico dispersante, certamente altera a composição química do material e, neste ca

so, tal produto não deve ser usado ou pelo menos usado com muito cuidado se a troca de íons é determinada. Com o uso de produtos químicos é provável a formação de sais o que dificultam a identificação de qualquer argilo-mineral. O intemperismo segundo Grim¹⁹, produz material em diferentes graus de hidratação e, se completa, pode ocultar alguns dos componentes do argilo-mineral; a montmorilonita completamente destorroada e onde toda â-gua adsorvida tem sido removida, pode ser facilmente interpretada como uma ilita¹⁹.

A forma das partículas é normalmente revelada pelo microscópio eletrônico; este equipamento tem revelado o contorno hexagonal da forma achatada da caulinita, a forma tubular alongada da haloisita, o aspecto de floco da ilita, clorita e vermiculita, como também a forma fibrosa da montmorilonita. Grim¹⁹ ressalta o efeito da matéria orgânica como também a presença de óxido de ferro na textura do solo. A influência da matéria orgânica em diversas propriedades do solo é analisada no parágrafo 2.5.

2.4 - Natureza da Superfície das Partículas

Aproximando-se em água duas partículas de argila elas exercerão, uma sobre a outra, uma força de repulsão pelo fato de estarem com cargas elétricas negativas; existe também uma componente de força de atração chamada força de Van

der Waals. Ao contrário das forças de repulsão esta força é independente das características do fluido existente entre as partículas²⁷. Se no efeito das forças de atração e repulsão resultar forças repulsivas, as partículas tenderão a se moverem dispersas tem-se então a estrutura dispersa; no caso contrário, elas tenderão a se juntarem formando uma estrutura floculada. Segundo Caquot e Kerisel¹² as argilas sedimentares têm em geral uma estrutura floculada. A intensidade de carga elétrica é aproximadamente proporcional à área específica (relação entre área e massa da partícula) sendo esta, segundo Lambe²⁷ um excelente indicador da influência das forças elétricas no comportamento da partícula. A tabela 2.4.1 fornece, segundo vários autores, valores da área específica de alguns argilo-minerais.

| Mineral \ Autor | Área específica (m ² /g) | | |
|-----------------|-------------------------------------|---------------|----------------|
| | Kézdí | Lambe/Whitman | Caquot/Kerisel |
| Caulinita | 10 | 10- 20 | 20-30 |
| Ilita | 80 | 80-100 | - |
| Montmorilonita | - | 800 | - |

Tabela 2.4.1

A superfície das partículas atrai moléculas de água e esta atração será tanto maior quanto maior for a percentagem de argila. Baseado nisto, Skempton^{49ª} definiu um parâmetro chamado Atividade Superficial:

$$A = \frac{\text{Índice de Plasticidade (I}_p\text{)}}{\% \text{ das partículas menor que 2 microns}}$$

A caulinita tem baixa atividade $A < 1$, a montmorilonita é altamente ativa, $A > 4$, enquanto que a illita tem atividade média $1 < A < 2$. Os limites de Atterberg são influenciados tanto pelo tipo como pela percentagem de argila. Existe uma relação entre os limites de plasticidade e liquidez (W_L) que permite a classificação do solo no gráfico de plasticidade de Casagrande cuja linha "A" tem a equação:

$$I_p = 0,73 (W_L - 20) \quad (2.4.1)$$

Estudos sobre argilas orgânicas permitiram Seed, Woodward e Lundgren⁴³ deduzirem novas equações para a linha "A":

$$I_p = W_{LL} \left(1 - \frac{50}{W_{CLL}}\right) \quad (2.4.2)$$

W_{LL} = Limite de liquidez do solo

W_{CCL} = Limite de liquidez somente da percentagem de argila.

A expressão 2.4.2 é válida para percentagem de argila maior do que 50%, para percentagem menores as equações são:

$$I_p = W_{LL} \left(1 + \frac{100}{W_{CCL}}\right) - 75 \quad (2.4.3)$$

$$I_p = W_{LL} \left(1 + \frac{20}{W_{CCL}}\right) - 35 \quad (2.4.4)$$

As expressões acima definem os limites superior e inferior da região onde as argilas orgânicas se situam no gráfico de plasticidade.

Para balancear a carga elétrica negativa oriunda da substituição isomórfica e possivelmente equilibrar as valências incompletas das ligações no bordo da partícula, os cátions do complexo solo são atraídos para a superfície dos minerais argílicos. As argilas contendo cátions de sódio são caracterizadas pela alta absorção de água e consequentemente inchamento⁶⁰. A substituição dos cátions de sódio por cátions de cálcio, por exemplo, reduz consideravelmente a propriedade de inchamento. A bentonita sódica, tem uma absorção de água em torno de 700%; a mesma bentonita, sendo cálcica esta absorção é somente 300%⁶⁰. A espessura da água adsorvida e o tipo de cátion têm considerável efeito sobre a permeabilidade dos solos e, segundo Wilun⁶⁰, quanto mais espessa é a camada de água adsorvida menor será a permeabilidade do solo.

Solos com alta atividade superficial são capazes de adsorverem e reterem íons dos minerais dissolvidos na água e ao mesmo tempo em que libertam na solução uma quantidade equivalente de íons contidos em suas duplas camadas. Para os argilo-minerais os limites destas trocas, segundo a variação encontrada na literatura, são os mostrados na tabela 2.4.2.

| Mineral \ Autor | Capacidade de troca catiônica me/100g | | | |
|--------------------|---------------------------------------|---------------|-------|--------|
| | Wilun/Starzewski | Lambe/Whitman | Scott | Grim |
| Caulinita | 3-15 | 3 | 7 | 3-15 |
| Illita | 20-40 | 15 | 30 | 10-40 |
| Montmoriloni ta | 60-100 | 100 | 125 | 80-150 |

Tabela 2.4.2

A teoria de Goldschmidt²⁰ mostra que a plasticidade dos solos é devida a carga elétrica que as partículas carregam em sua superfície; as moléculas d'água sendo bipolares são orientadas para aquelas superfícies. Uma confirmação disto é o fato das argilas não apresentarem plasticidade quando misturadas com um líquido não polarizante, por exemplo, querosene.

2.5 - Influência da Matéria Orgânica

A matéria orgânica está presente em muitos solos, particularmente quando o meio ambiente não conduz a uma rápida decomposição. Matéria orgânica é o resultado da decomposição de restos vegetais e animais pela ação de micro-organismos. O apodrecimento orgânico produz ácido húmico que reduz os íons férricos para ferrosos e contribui ainda para a decompo

sição dos minerais das rochas e o desenvolvimento de argilo-minerais do grupo da caulinita⁴⁸. Segundo Silfveberg⁴⁵, basicamente temos a matéria orgânica nos solos compostos de: produtos não decompostos e em fase de decomposição mais produtos de compostos. Os primeiros referem-se a restos de origem animal e vegetal inclusive os micro-organismos; encontra-se ainda proteínas, celulose resinas e outros carboidratos. A parte decomposta é formada pelos constituintes não húmicos e produto final da decomposição chamado humus. Segundo Scott⁴² a absorção de matéria orgânica pelas partículas de argila modifica as propriedades do solo, tais como:

- aumento do poder de absorção de água
- grande capacidade de troca de cátions
- impossibilita a estabilização
- redução da resistência ao cisalhamento.

Kézdi²³ concorda com a afirmativa acima dizendo que as propriedades dos solos são fortemente influenciadas pela presença de qualquer organismo orgânico; acrescenta ainda que estes solos têm alta compressibilidade e baixa resistência. Segundo o sistema de classificação adotado pelo Hungarian Standards²³ o solo é considerado orgânico se a perda por calcinação for maior que 10%. Segundo o método de Biczók²³ (perda de massa da amostra pelo aquecimento com oxigênio, em um longo tubo de vidro) o solo é considerado orgânico se a percentagem determinada pelo método acima for maior que 5%. Souza Santos e

Santini⁴⁷ concluíram que a contribuição da matéria orgânica na capacidade de trocar cátions variou de 0% a 62,5%, isto para as argilas analisadas em sua pesquisa³⁹. Sowers e Sowers⁴⁸ afirmam que a presença de matéria orgânica em um solo aumenta a sua compressibilidade. Os mesmos autores acrescentam ainda que a concentração de cátions orgânicos também afeta a estrutura do mineral argílico. A presença de matéria orgânica, segundo Noorany e Poormand³⁵, contribui para o amolgamento da amostra; a explicação é que os gases desprendidos pela decomposição da matéria orgânica aumentam a tensão neutra (esta tensão pode ser maior do que para uma amostra indeformada). Segundo Wilun e Starzewski⁶⁰ as partículas orgânicas têm uma estrutura amorfa e uma capacidade de absorverem água da ordem de 500% de sua massa seca. Quanto aos limites de Atterberg, Hosang e Locker²² em discussão ao trabalho de Skempton⁵¹ informam que W_p e W_L crescem com a percentagem de matéria orgânica, no entanto, I_p tende a decrescer; acrescentam ainda que a presença de matéria orgânica parece contribuir pouco para a plasticidade mas muito para a capacidade de reter água. Kézdi²³ concorda com a afirmativa acima acrescentando que o fato da plasticidade mudar decorre da absorção por parte do argilo-mineral, de moléculas orgânicas. Segundo Grim¹⁹ é válida a afirmativa acima e que particularmente a montmorilonita é mais capaz de adsorver moléculas orgânicas. O mesmo autor cita que as moléculas orgânicas não penetram entre as unidades da caulinita, como fazem na haloisita e montmorilonita, e sim são retidas nas bordas e superfícies exterior das partículas.

Segundo Santini³⁹ na análise termográfica os termogramas são modificados pela presença de matéria orgânica dificultando com isto a identificação mineralógica.

Com relação a massa específica real, Arman³ mostra que esta decresce quando aumenta a percentagem de matéria orgânica; o mesmo autor afirma que estas maiores percentagens de matéria orgânica ocorre onde o valor do pH é menor.

2.6 - Microestrutura

A microestrutura tem uma dominante influência nas propriedades de engenharia das argilas moles normalmente adensadas e na compressibilidade de argilas duras parcialmente adensadas¹³. A formação da microestrutura de argilas sedimentares depende fundamentalmente de vários fatores. Segundo Pusch³⁷, estes fatores são concentração, composição e distribuição do tamanho das partículas, temperatura, salinidade e constituintes orgânicos da água. Sergeyen e outros⁴⁴ afirmam que as propriedades das argilas dependem de sua composição, estrutura e arranjo das partículas; pesquisas realizadas por estes autores mostram que a resistência ao cisalhamento das argilas estratificadas é significativamente menor do que a resistência de argilas homogêneas e o ângulo de atrito interno aumenta com o aumento da orientação das partículas.

Devido a importância da microestrutura nas propriedades das argilas, muitos trabalhos foram realizados com o intuito de melhor se conhecer porque e como a microestrutura pode influenciar nas propriedades das argilas. No Simpósio Internacional sobre a estrutura dos solos (Gotemburgo 1973), foi apresentado uma série de pesquisas mostrando determinações e influência da microestrutura em diversos tipos de argilas.

2.7 - Influência das Propriedades Intrínsecas das Argilas nas seguintes Propriedades de Engenharia.

2.7.1 - Limite de Plasticidade (W_p)

Segundo Grim^{19-a} não é um simples valor de W_p que é característica de um particular argilo-mineral; a variação para um mesmo mineral pode ser grande, por exemplo, haloisita e montmorilonita. Esta variação não é devida somente a variação na troca de cátions e presença de componentes que não sejam argilo-mineral mas também devido a variação inerente à estrutura e composição dentro da unidade do argilo-mineral. Geralmente o valor de W_p decresce, para estes argilo-minerais na ordem seguinte: montmorilonita, haloisita, illita e caulinita. Em materiais compostos de montmorilona ,

outros fatores, como a presença de não argilo-mineral, provavelmente causa grande variação no valor de W_p^{19-a} ; convém citar que o sódio causa ligeiro decréscimo no valor de W_p para estes argilo-minerais enquanto, causa aumento para W_p nas montmorilonitas.

2.7.2 - Limite de Liquidez (W_L)

A variação dos valores de W_L para um grupo de argilo-mineral é bem maior do que a variação para os valores W_p . Os valores de W_L decrescem para estes argilo-minerais, nesta ordem: montmorilonita com sódio, cálcio, magnésio e potássio, illita, caulinita mal cristalizada, haloisita e caulinita bem cristalizada. Segundo Grim^{19 a} não existe significativa variação no valor de W_L com relação a troca de cátions mas sim com relação ao estado de cristalização e tamanho das partículas. O mesmo autor enfatiza que $\pm 5\%$ de montmorilonita associado a outros argilo-minerais pode aumentar consideravelmente o valor de W_L . Grim^{19 a} afirma ainda que os limites de Atterberg aumentam com a diminuição do tamanho das partículas e, o valor de W_L , tende a aumentar mais do que o valor de W_p .

2.7.3 - Resistência a Compressão não Confinada

Como se sabe, os solos coesivos podem ser classificados com base na força de compressão necessária pa

ra causar a rotura de uma amostra indeformada testada sob condições de não confinamento. A tabela 2.7.3, fornece esta classificação.

| Resistência a compressão simples (kg/cm ²) | Classificação |
|---|---------------|
| < 0,25 | muito mole |
| 0,25 - 0,50 | mole |
| 0,50 - 1,00 | média |
| 1,00 - 2,00 | dura |
| 2,00 - 4,00 | muito dura |
| > 4,00 | rija |

Tabela 2.7.3

Esta resistência depende da composição mineralógica, da presença de minerais não argilosos, tamanho, forma e arranjo das partículas. Para todos os argilo-minerais, mais especialmente para a montmorilonita, a adição de um argilo mineral, 5-10%, a um não argilo-mineral puro, aumentará muito mais sua resistência do que a mesma quantidade adicionada a uma mistura contendo cerca de 50% de um argilo-mineral. Segundo Grim¹⁹ a resistência aumenta com a percentagem de argilo-mineral e nesta ordem: montmorilonita, illita e caulinita.

2.7.4 - Resistência ao Cisalhamento

A resistência ao cisalhamento dos solos varia com os mesmos fatores discutidos na resistência à compressão não confinada. Segundo Winterkorn e Moorman⁶² a resistência ao cisalhamento dos solos coesivos é aproximadamente uma função logarítmica do teor de umidade, no entanto, isto não é válido para altos teores de umidade onde neste caso o argilo-mineral e a troca de cátions têm papel muito importante.

Segundo Grim^{19 a} não existe uma relação clara entre a composição mineralógica e a resistência ao cisalhamento, embora mostre que existe uma substancial variação na resistência quando ocorre variação na composição mineralógica.

2.7.5 - Compressibilidade e Adensamento

Grim^{19 a} citando Skempton⁴⁹ mostra que o índice de compressão e conseqüentemente a compressibilidade, aumenta com a percentagem da fração argila e depende da composição mineralógica da referida fração argila. A compressibilidade de amostras de caulinita é consideravelmente menor do que amostras de montmorilonita. A compressão decresce na seguinte ordem de seus constituintes mineralógicos: alumínio, cálcio e sódio, embora dependa muito pouco da capacidade de troca de cátions. Lambe e Martin²⁶ mostram que a compressibilidade de solos compostos de uma mistura de illita e montmorilonita varia

com a troca de cátions na seguinte ordem decrescente: Na, Ca, Mg, K e H.

2.8 - Parâmetros de Engenharia e Fatores que influenciam suas determinações

Complementando esta revisão bibliográfica analisa-se em seguida dois parâmetros de engenharia, tidos como os mais importantes⁶⁰, juntamente com os fatores que afetam suas determinações.

2.8.1 - Compressibilidade

Uma amostra de solo sendo colocada sob tensões haverá uma diminuição de volume; isto pode ser atribuído a três fatores⁵³:

- a - compressibilidade da parte sólida
- b - compressibilidade de água e ar dos vazios
- c - escape da água e ar dos vazios

Os fatores que mais afetam os parâmetros determinados a partir do ensaio de adensamento são:

- distúrbio na preparação da amostra
- atrito da amostra na parede do anel
- história das tensões
- relação altura/diâmetro da amostra
- grandeza das tensões aplicadas.

Os coeficientes m_v e a_v , respectivamente coeficiente de compressibilidade volumétrica e coeficiente de compressibilidade, não são constantes, decrescem com o aumento de tensões e dependem da história das tensões. Vários autores opinam quanto ao problema do atrito da amostra na parede do anel. Visando minimizar o atrito e conseqüentemente o erro introduzido nas determinações dos diversos parâmetros, a British Standards Institution¹⁰ propõe que a relação altura/diâmetro es seja compreendida entre 0,25-0,33.

Segundo Means e Parcher³¹ a altura da amostra é função do tipo de solo e sugere que, para argilas fofas, este valor seja de 1,27cm e raramente igual a 2,54cm. Tuma e Abdel-Hady⁵⁷ afirmam que tanto o diâmetro quanto a altura da amostra variam consideravelmente desde 4,57-11,27cm e 1,90-3,81 cm respectivamente; segundo os mesmos autores geralmente se deve usar a relação altura/diâmetro igual a 0,4. W_u^{63} adota diâmetro e altura respectivamente igual a 6,35 e 2,54cm. Lambe²⁵ mostra que os resultados de laboratório dependem das dimensões da amostra; em pesquisa realizada com amostras de 10,79cm e 3,18cm, 6,99cm e 2,16cm respectivamente diâmetro e altura, ele encontrou que a curva pressão x índice de vazios era independente das

dimensões, no entanto, a relação de compressão depende das dimensões. Por outro lado, altos valores para o coeficiente de adensamento foram obtidos com amostras maiores. Com base nisto ele propõe que a relação altura/diâmetro seja 0,25-0,33 e sempre usar diâmetro maior que 6,35cm.

O atrito da amostra na parede do anel não é de grande importância. Taylor⁵³ encontrou para as argilas azuis de Boston (Boston blue clay) uma força de atrito variando de 12-22% de carga aplicada, isto para amostras amolgadas; para amostras indeformadas esta variação era menor (10-15%). Mesmo diante destes valores ele mostra que o coeficiente de adensamento não é afetado consideravelmente pelo atrito. Tanto Taylor⁵³ quanto Lambe²⁵ sugerem que a carga do ensaio seja aumentada para compensar o atrito; o primeiro sugere um aumento de 10%.

A preparação da amostra é um fator por demais importante no ensaio de adensamento. Caquot e Kerisel¹², mostram que se uma amostra for perturbada durante a sua retirada ou mesmo durante sua colocação no anel modifica o valor da pressão de preconsolidação. W_u^{63} concorda com a afirmação acima e acrescenta que com amostras amolgadas não se deve calcular a pressão de pré-adensamento, Rutledge³⁸ indica que amostras perturbadas fornecem valores inexatos de pressão de pré-adensamento.

Noorany e Poormand³⁵ estudando as argilas siltosas saturadas da Baía de San Francisco (Bay Mud) e de

San Diego (mission Bay) - California, U.S.A. - encontraram que um amolgamento de até 50% causado pela preparação e manejo da amostra não altera significativamente o comportamento, da curva de compressão virgem. Taylor e Schmertmann⁴⁰ mostram que amostras perturbadas fornecem baixo valores para o coeficiente de adensamento (C_v).

Tendo em vista os fatores que afetam os parâmetros calculados a partir do ensaio de adensamento, Terzaghi e Peck⁵⁵, baseados em estudos desenvolvidos por Skempton para argilas normalmente adensadas e $I_p > 30\%$, propuseram uma relação entre o índice de compressão (C_c) e o limite de liquidez (W_L): $C_c = 0,009 (W_L - 10\%)$.

Para solos com baixa plasticidade Sowers e Sowers⁴⁸ relacionaram o índice de compressão com o índice de vazios (e) do solo: $C_c = 0,75 (e - a)$, onde a varia de 0,2 - 0,8 conforme o material seja rocha porosa ou solos altamente micáceos.

Para as argilas da cidade de São Paulo-SP, geralmente adensadas, Mello e Teixeira³² apresentam as seguintes relações: $C_c = 0,003 (W_L + 26\%)$ e $C_c = 0,01 (W_L - 6\%)$. Com a finalidade de reduzir o amolgamento da amostra La Rochelle and Lefevre²⁸ sugerem o uso de amostradores (shelbies) onde a relação de áreas $|(D_e^2 - D_i^2)/D_i^2|$ seja menor que 10% e se possível diâmetro maior que 5,08cm; na expressão acima D_e e D_i significam respectivamente diâmetro externo e interno do "shelby".

2.8.2 - Resistência ao Cisalhamento

Constitui um ponto fundamental na mecânica dos solos a determinação da resistência ao cisalhamento dos solos. Existe uma série de teorias que podem ser utilizadas para a avaliação deste parâmetro. Segundo Badillo e Rodriguez⁵ tradicionalmente se tem estudado a condição de esforço limite que causa a ruptura dos solos. Os dois métodos mais empregados para a medida da resistência ao cisalhamento dos solos são:

- ensaio cisalhamento direto
- ensaio triaxial

Utilizou-se, neste Trabalho, o ensaio triaxial; far-se-á então, algumas considerações sobre o mesmo.

- Ensaio Triaxial

Para aplicações práticas, pode-se expressar a resistência ao cisalhamento dos solos de duas formas:

- em função da tensão efetiva
- em função da tensão total

No primeiro caso a envoltória é obtida em ensaios drenados com medida de pressão neutra; desde que a

tensão efetiva possa ser calculada para qualquer período da construção calcula-se então os parâmetros coesão e ângulo de atrito. Para solos saturados o segundo método expressa a resistência ao cisalhamento em termos de tensão total; este ensaio faz a avaliação da resistência do solo antes da construção. Pode-se tomar como a resistência logo após a construção, para isto, admite-se que a drenagem durante este período seja desprezível⁹.

Para solos com baixa permeabilidade como por exemplo argilas, a resistência ao cisalhamento pode ser representada pela resistência não drenada. Estes ensaios foram executados para esta pesquisa, desta forma, far-se-ã alguns comentários sobre critérios e fatores que influem nos resultados.

2.8.2.1 - Critérios de ruptura. Há muito se estuda, em Mecânica dos Solos, os esforços que causam a ruptura dos solos através da teoria de Mohr - Coulomb⁵; esta teoria considera que o máximo esforço suportado pelo material pode ser calculado a partir da tensão cisalhante máxima, função da tensão normal atuante no plano em que ocorre a ruptura. A teoria de Saint - Venant admite que a ruptura está determinada pela máxima deformação unitária elástica, em tração ou compressão, que suporta o material sujeito a esforços. Segundo Badillo-Rodriguez⁵, esta teoria não foi comprovada pelos experimentos de Bridgman ou seja, se um material está sujeito a deformações principais

iguais segundo três direções cartesianas ortogonais, aplicando alta pressão hidrostática, não se produz ruptura nem fluxo plástico. A teoria de Rankine afirma que a ruptura ou o fluxo plástico é independente dos esforços principais e sim determinada pelo esforço principal maior. Considerando o esforço intermediário, recentemente apareceram outras teorias (von Mises , Tresca) que analisam o problema de ruptura através de tensões octaédricas.

2.8.2.2 - Fatores que influem nos resultados. Influência da membrana - Segundo Caquot e Kerisel¹² a membrana tem alguma influência sobre os resultados chegando inclusive a aumentar a rigidez da amostra. Skepton e Bishop⁴⁹ estimam que esta rigidez se traduz em um aumento da tensão principal maior da ordem de 1/20kg/cm².

Warlam⁵⁹ estudando as argilas moles de Chicago observou que a membrana aumentava de 10% - 20% a resistência do material. Chen¹⁴ afirma que a membrana tem importante efeito sobre a declividade e forma da curva tensão-deformação mas influi muito pouco no valor da tensão máxima.

Bishop e Henkel⁹ propõem a seguinte correção para o cálculo das tensões:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = (\sigma_1 - \sigma_3)_m - \frac{\pi \cdot D \cdot M \cdot \epsilon}{a}$$

onde:

- $(\sigma_1 - \sigma_3)_m$ - Tensão de compressão medida
- a - Área corrigida da amostra para a deformação axial ϵ
- D - Diâmetro inicial da amostra
- M - Módulo de compressão da membrana/unidade de comprimento.

Atrito do Pistão - O atrito do pistão na célula triaxial não tem grande importância; segundo Bishop e Henkel⁹ este atrito está compreendido entre 1% - 3% da carga aplicada.

Os mesmos autores citando Warlam⁵⁹ indicam que em uma célula bem projetada este atrito não deve exceder 1,2% da carga axial aplicada.

Tensão Intermediária - Quando a tensão intermediária, adotando-se a teoria de Mohr, a resistência ao cisalhamento é independente daquela tensão⁵.

Velocidade do Ensaio - A velocidade de cisalhamento afeta a resistência obtida de duas maneiras⁹:

- em quanto pode ser drenada antes da ruptura
- na intensidade da resistência plástica.

Pressão de adensamento - Segundo Lo, Seychuk e Adams²⁹ a pressão de adensamento não tem apreciável efeito sobre os resultados do ensaio; acrescenta no entanto, o aumento do módulo de elasticidade quando cresce aquela pressão.

Amolgamento da amostra - Finalmente analisa-se o amolgamento da amostra que parece ser o mais importante dos fatores que afetam a resistência ao cisalhamento dos solos.

La Rochelle e Lefebvre²⁸ mostram que o amolgamento reduz 50% - 60% da resistência não drenada quando as amostras são obtidas por "shelby" quando comparadas com as obtidas por bloco. Conlon e Isaacs¹⁵ estudando a resistência não drenada das argilas de Welland (Ontário - Canadá) encontraram que a resistência decresce rapidamente com o aumento do grau de amolgamento e conseqüente aumento da percentagem de deformação para a ruptura. Os mesmos autores mostram ainda que a resistência obtida com amostras de tubo são menores que aquelas obtidas com amostras de blocos.

Milovic³⁴ estudando as argilas de St. Simon e Nicolet em Quêbec, Canadá, encontrou que os parâmetros resistência ao cisalhamento, índice de compressão e módulo e elasticidade, obtidos com amostras extraídas por "shelbies" são menores que aquelas obtidas com amostras de blocos; sugere que um estudo das características anisotrópica do meio é necessário para uma correta interpretação dos resultados tanto de laboratório quanto de campo.

Diante destes problemas, Verdeyen, Roisin e Nuyens⁵⁸ citando Skempton⁴⁹ mostram uma relação entre a coesão não drenada (C_u), a pressão de pré-adensamento (p) e o índice de plasticidade (I_p %):

$$C_u/p = 0,11 + 0,0037 I_p$$

Segundo Caquot e Kerisel¹², C_u/p está compreendido entre 0,10 - 0,40, sendo os valores mais altos para as argilas com alto índice de plasticidade.

Adams e Radhakrishna¹ mostram que se pode estimar o valor de C_v fazendo-se a pressão efetiva igual a pressão de pré-adensamento ou seja $\sigma_e = p$.

2.9 - Conclusões

Como vimos, existem muitas informações a cerca do procedimento para se obter parâmetros através de ensaios com amostras de solo. No entanto, quando se trata de se verificar a influência das propriedades intrínsecas do solo nos parâmetros de engenharia ou mesmo físico-químico, a bibliografia torna-se, todavia, limitada; desta forma pretendeu-se com esta revisão bibliográfica mostrar diversas propriedades intrínsecas do solo e em particular das argilas. Procurou-se também mostrar a influência da matéria orgânica e das propriedades intrínsecas nos parâmetros físico-químicos e de engenharia.

CAPÍTULO 3

OBJETIVO DA PESQUISA

Como mostrado no Capítulo 2, existem a bundantes informações para a metodologia e procedimento de en saios para se obter parâmetros quantitativos que permitem a ca racterização de um depósito de solo, contudo, a influência dos parâmetros intrínsecos do solo nas suas propriedades de engenharia é ainda de natureza qualitativa por conseguinte, extrapolações de um estudo particular não são de confiança; além disso a natureza não homogênea do depósito implica que os resultados são somente válidos no sentido estatístico. Deste modo o principal objetivo desta limitada pesquisa foi o estudo de um depósito de argila do subsolo da cidade do Recife e, ao que parece, de grande importância para fins de engenharia civil.

O estudo foi conduzido retirando-se "a mostras indeformadas" com a utilização de tubos de parede fina sem costura conhecidos como tubos tipo "shelby". Os ensaios foram realizados com amostras retiradas com intervalos de 1,0m ao longo da camada de argila. Os ensaios realizados fo ram os seguintes:

- caracterização da plasticidade
- análise granulométrica
- massa específica aparente úmida e teor de

- umidade,
- área específica,
- composição mineralógica,
- adensamento e
- ensaios triaxiais.

Isto permitiu o estudo das variações das propriedades do solo com a profundidade e ao mesmo tempo avaliar a homogeneidade do depósito de argila.

Os resultados foram além disso usados para tentar obter-se correlações estatísticas entre certas propriedades físicas ou físico-químicas da argila e suas propriedades de engenharia. Estas correlações são, obviamente, somente válidas para este solo em particular e para as condições de estudo.

CAPÍTULO 4

DESCRIÇÃO DO SUBSOLO DA CIDADE DO RECIFE

4.1 - Introdução

O que se conhece sobre o subsolo do Recife foi obtido lentamente ao longo de muitos anos.

Os geólogos Branner, Derby, Hart, Luciano de Moraes, Moraes Rego, Eusébio de Oliveira, Dombre e outros¹⁶, através de seus estudos contribuíram valiosamente para o melhor conhecimento desta região. Ao que tudo indica estas pesquisas baseavam-se na geografia e topografia local além de observações das camadas superficiais. Posteriormente é o Instituto Tecnológico do Estado de Pernambuco - ITEP - que através de inúmeras sondagens proporcionou um conhecimento mais detalhado sobre este subsolo.

4.2 - Origem e Formação

No período antipleistocênico, no local onde está situada a planície do Recife, existia uma simples enseada cercada por colinas. O lado leste era fechado pelos arre

cifes e as águas do mar após ultrapassá-los chocavam-se contra estas formações. Nesta enseada desaguavam os rios Capibaribe e Beberibe que ao longo do tempo foram entulhando-a com o material que traziam em suspensão em suas águas.

Os materiais trazidos nas marés de enchentes não são arrastados nas marés de vazantes em virtude da diminuição da velocidade de suas vagas e correntes. A formação de dunas e o conseqüente transporte de suas areias pelo vento contribuíram para o entulhamento da enseada. Desta maneira os agentes acima descritos, acrescidos da atividade do homem, salinidade da água do mar e mangues, formaram a planície aluvial do Recife.

"A Planície do Recife é de origem flúvio-marinha pelo entulhamento de uma enseada antipleistocênica"¹⁶.

4.3 - Características dos Solos do Recife

Segundo Costa¹⁶ o subsolo do Recife é constituído, principalmente de: areia, argilas, siltosas e orgânicas. Mostra-se na Figura 1 um perfil representativo deste subsolo.

As areias são geralmente brancas ou amareladas e o mineral predominante é o quartzo embora ocorra, em pequena escala, a presença de feldspato. Baseado na classi

ficação da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT - estas areias são classificadas como areias médias de grãos angulares.

Ocorre também a presença de areias grossas e finas como também aquelas de grãos sub-angulares mas, em pequena percentagem. Ensaio realizado pelo ITEP, para estas areias, apresentaram os seguintes resultados mostrados na Tabela 4.3.1 abaixo:

| Propriedades | Índices de Vazios | Ângulo de Atrito Interno | Tensões Admissíveis (prova de carga direta) |
|----------------|-------------------|--------------------------|---|
| Valor Numérico | 0,54-0,56 | 23-42° | 0,8-2,6 kg/cm ² |

Tabela 4.3.1

As argilas siltosas são geralmente cinzas-azuladas ou pardas. São medianamente plásticas e apresentam as seguintes características mostradas na Tabela 4.3.2 abaixo:

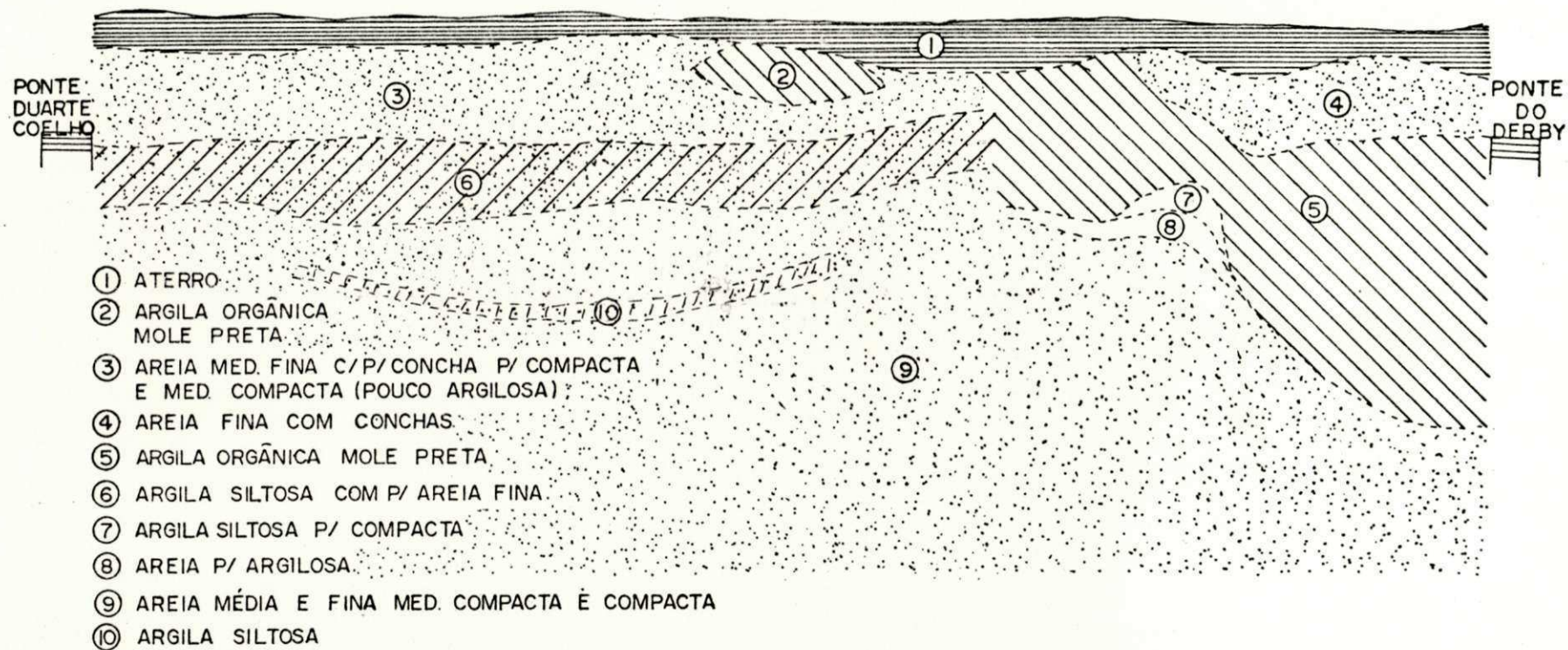
| Propriedades | Limite de Liquidez. | Teor de Umidade | Índice de Vazios. | Resistência a Compressão Simples |
|----------------|---------------------|-----------------|-------------------|----------------------------------|
| Valor Numérico | 30-50% | 30-40% | 0,8-1,0 | aprox. 1,0 kg/cm ² |

Tabela 4.3.2

Geralmente estão saturadas e raramente o grau de saturação é menor que 90%. As águas do subsolo do Recife contêm substâncias dissolvidas em percentagem tal que recebem a denominação de águas agressivas¹⁶. Encontrouse CO_2 , sulfatos em SO_3 (100/200/ml/1) e magnésio Mg 0 (100/200ml/1). As argilas orgânicas, por serem objetivo deste trabalho, serão descritas mais detalhadamente nos capítulos seguintes, no entanto, aqui cita-se algumas características gerais. As argilas orgânicas são geralmente muito plásticas com elevado teor de umidade e em alguns casos maior que 100%. Sua consistência varia entre mole e muito mole; apresenta um ângulo de atrito quase sempre nulo e resistência à compressão simples em torno de $0,50\text{kg/cm}^2$. Finalmente com relação a textura é variável, em alguns pontos é muito siltosa e em outros bem argilosa¹⁶.

Fig. 1 - Seção transversal do subolo entre as pontes Duarte Coelho e Derby. (Derby-Recife-Pe)

SEÇÃO TRANSVERSAL DO SUBSOLO
ENTRE A PONTE DUARTE COELHO E
PONTE DO DERBY (BAIRRO BOA VISTA).
RECIFE



DESENHO Nº 14⁽¹⁶⁾

ESCALAS.
H. 1:2000
V. 1:100

FIG. I

CAPÍTULO 5

OBTENÇÃO DAS AMOSTRAS E MÉTODOS DE ENSAIOS

5.1 - Introdução

A obtenção das amostras fez parte de um programa de estudo das propriedades de uma argila orgânica do Recife. A escolha do local e a localização dos furos de sondagens foram arbitrárias, procurou-se, todavia, elaborar um programa que facilitasse a coleta do material. O local para retirada das amostras foi o pátio interno da Escola Técnica Federal de Pernambuco no bairro do Derby - Recife - com coordenadas aproximadas de $34^{\circ}53'50''$ de latitude de $8^{\circ}3'30''$ de longitude; o perfil do sub-solo deste local é apresentado na Figura 2.

5.2 - Coleta e Preparação das Amostras Para os Diferentes Ensaio de Laboratório.

Utilizou-se para retirada das "amostras indeformadas" tubos de paredes finas sem costura, conhecidos por tubos tipo "shelby". Ao longo da camada de argila foram retiradas amostras com intervalos de 1,0m. Para os ensaios de a densamento e triaxial praticamente não houve preparação de amos

tras visto que os "shelbies" já possuíam os diâmetros adequados para estes ensaios; para os demais ensaios foi elaborada uma programação para cada "shelby" aberto de modo a se obter amostras as mais representativas possíveis. No Apêndice C se mostra as dimensões dos "shelbies" utilizados e as posições das amostras para os diferentes tipos de ensaios.

5.3 - Ensaio Realizados

Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, com exceção dos ensaios para determinação do teor de matéria orgânica e pH que foram realizados no laboratório de química do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS - em Campina Grande e raios-x que foram realizados no laboratório da Superintendência para o Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE - em Recife.

5.3.1 - Teor de Umidade

O teor de umidade natural foi determinado utilizando-se no mínimo dez amostras representativas de cada metro da camada de argila. Estes ensaios foram realizados de acordo com a BS 1377:1967¹⁰.

5.3.2 - Massa Específica Aparente Úmida

As determinações da massa específica aparente úmida, ao longo da camada de argila, foram realizadas pela medida das amostras preparadas para os ensaios triaxiais. As dimensões das amostras foram obtidas pela medida direta da altura e diâmetro usando o aparelho mostrado na Figura 4. Os valores obtidos para este parâmetro são mostrados no Apêndice A. Todas as medições foram feitas com aproximações de 0,01mm e 0,01g respectivamente comprimento e massa da amostra.

5.3.3 - Massa Específica Real

A massa específica dos grãos ou massa específica real foi obtida pelo processo do picnômetro descrito na BS 1377:1967¹⁰. A única modificação ao método acima foi que para a retirada do ar dissolvido na água e contido nos vazios foi utilizado o processo do banho maria. Para cada metro da camada de argila foram feitas no mínimo duas determinações e o valor final da densidade real (G_s) foi calculado como a média destas duas determinações quando estas não diferiam de mais que 0,03; caso diferissem, realizava-se novos ensaios.

5.3.4 - Análise Granulométrica por Sedimentação e Peneiramento.

Estes ensaios foram realizados de duas maneiras: a primeira com o solo em seu estado natural; a segunda, com o material sendo submetido a um tratamento com ácido clorídrico e eliminação da matéria orgânica. Em ambos os casos o método empregado foi o proposto pelo DNER - DPT M41 - 63³³, sendo que o pré-tratamento com ácido clorídrico obedeceu ao método recomendado pela BS 1377:1967¹⁰ e, para eliminar a matéria orgânica utilizou-se o método do peróxido de hidrogênio descrito por Santini, Santos e Alves³⁹. O pré-tratamento do solo com ácido clorídrico foi feito com o intuito de remover cálcio, ferro etc. e, com isto facilitar a eliminação da matéria orgânica.

5.3.5 - Limites de Atterberg

Estes ensaios foram realizados de acordo com a BS1377:1967¹⁰. Utilizou-se amostras em dois estados:

a - estado natural

b - após secagem em estufa, 110°C

5.3.6 - Determinações do Teor da Matéria Orgânica

A percentagem de matéria orgânica foi determinada por dois métodos:

- bicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$)
- peróxido de hidrogênio (H_2O_2)

O método utilizando bicromato de potássio está descrito na BS 1377:1967¹⁰. A amostra é seca em estufa à 105°C-110°C até constância de peso; toma-se aproximadamente 5g de material que passa na peneira nº 36 (420 microns), coloca-se num vidro de relógio e seca-se novamente em estufa à mesma temperatura acima. A amostra é considerada seca quando a diferença em sucessivas pesagens, em intervalos de quatro horas não exceda 0,1% da massa original da amostra. A amostra é retirada da estufa e colocada em um dissecador. A pesagem da amostra, para o ensaio, é feita com precisão de 0,001g e esta massa (W_3) anotada. Coloca-se a amostra em um bequer e adiciona-se 10ml de uma solução N de bicromato de potássio e 20ml de ácido sulfúrico concentrado e agita-se esta mistura por um minuto e coloca-se sobre uma chapa de amianto, a uma temperatura constante, durante 30 minutos, para permitir a oxidação. Após este período 200ml de água destilada é adicionado a mistura seguido de 10ml de ácido ortofosfórico e 1ml do indicador; a mistura é agitada e se o indicador é absorvido mais 1ml é adicionado. O sulfato ferroso é

adicionado de uma segunda bureta em incrementos de 0,5ml até a cor da solução mudar de azul para verde; 0,5ml de bicromato de potássio é adicionado voltando a solução a cor azul. O sulfato ferroso é novamente adicionado gota a gota até a cor voltar a verde pela adição de uma só gota. O volume (Y) do sulfato ferroso usado na titulação é anotado com precisão de 0,05ml. Calcula-se o teor de matéria orgânica (% M.O.) pela expressão: %M.O. = $(0,67 V/W_3)100$, sendo $V = 10,5(1 - Y/X)$ em ml; X é o volume de sulfato ferroso usado na padronização do sulfato ferroso (solução padrão). A solução padrão é obtida da seguinte maneira: 10ml da solução N do bicromato de potássio é colocado em um frasco cônico de 500ml; 20ml de ácido sulfúrico é adicionado seguido de 200ml de água destilada, 10ml de ácido ortofosfórico e 1ml do indicador. Faz-se a titulação com sulfato ferroso. O indicador citado neste método é obtido dissolvendo-se 0,25g de difenilaminasulfonato de sódio em 100ml de água destilada. Neste estudo para cada metro da camada de argila foram feitas no mínimo duas determinações e os valores apresentados no Apêndice A é média destas determinações; esta média é aceita como representativa quando os valores não diferiram de mais de 0,5%. Este método proposto pela BS 1377:1967¹⁰ recomenda que a quantidade (massa da amostra) tomada para os ensaios devem ser 0,2 - 5,0g sendo tomado o limite superior (5,0g) para solos com baixo teor de matéria e 0,2 para turfa; neste caso usou-se amostras com aproximadamente 0,5g.

O método utilizando peróxido de hidrogênio é o descrito por Santini, Santos e Alves³⁹. Consiste em

transferir 20g do solo para um bequer de 600ml, adicionar cerca de 100ml do peróxido de hidrogênio (20 Vol.) e agitar com um bastão de vidro. Aquecer sobre uma chapa quente (cerca de 60°C) durante 1 ou 2 horas, mantendo-se o bequer coberto com um vidro de relógio e agitando-se de vez em quando. Após duas horas adicionar mais uma pequena quantidade de peróxido de hidrogênio; se esta causar a formação de bolhas de gás, adicionar mais 100ml de peróxido de hidrogênio. Filtrar a solução através de um funil de Buckner com papel de filtro de filtração lenta, tarado. Lavar 3 - 4 vezes com água quente e secar o conjunto filtro mais solo em estufa a 105°C até constância de massa. A perda de massa do solo corresponde ao teor de matéria orgânica (% M.O.) contido no mesmo. O teor de carbono (%C) é calculado pela expressão: $\%C = \%M.O. \times 1,72$; cada resultado é a média de duas de terminações quando estas não diferiram de mais de 1,0%.

5.3.7 - Determinação do pH

A determinação do pH foi feita utilizando-se o método recomendado pela BS 1377:1969¹⁰. Adiciona-se à 30g do material passando na peneira de 3mm, 75ml de água destilada; esta solução é agitada com um bastão de vidro e colocada em repouso por algumas horas, de preferência durante a noite. Antes dos ensaios agita-se novamente a mistura. O equipamento usado nestes ensaios foi o pH Meter HM - 7A - TOA Eletronics Ltda.

Japan. O resultado apresentado, para cada metro da camada de argila, é a média de três determinações. Neste caso esta média foi obtida com valores que não diferiam de mais que 0,1.

5.3.8 - Determinações das Áreas Específicas.

As determinações da área específica foram feitas com as amostras do solo em duas condições: estado natural e após eliminação da matéria orgânica presente, pelo processo do peróxido de hidrogênio. O equipamento usado para as pesagens, com precisão de 0,0001g, foi a balança elétrica Stanton Unimatic CL41. O método empregado foi o proposto por Diamond e Kinter¹⁸; considera este método que, em condições de equilíbrio, a retenção de glicerol na superfície do material é monomolecular em espessura. As amostras usadas para estes ensaios foram obtidas da seguinte maneira: a amostra seca ao ar é destorroada e em seguida feito o peneiramento; o material utilizado é o que passa na peneira de 0,074mm. Para cada determinação tomou-se aproximadamente 0,1g. Este material é pesado e posto em uma cápsula de alumínio; adiciona-se 5ml de uma solução de glicerol (2% em água destilada) e homogeniza-se com um bastão de vidro. O conjunto é colocado em uma estufa contendo uma atmosfera saturada de glicerol e a temperatura de 110° até apresentar massa constante. Estas pesagens, são feitas da seguinte maneira: retira-se a cápsula da estufa deixando-a ao ar no máximo 30 segundos ;

a pesagem deve ser feita nos 30 segundos seguintes. Para a condição de massa constante, a retenção de glicerol é calculada como uma percentagem da massa original da amostra seca. A constância de massa do material em estufa foi alcançada, em alguns casos, com uma permanência de até 70h.

O cálculo da área específica é feito a partir do volume de 1,0g de glicerol, massa específica real $1,26\text{g/cm}^3$, igual a $0,794\text{cm}^3$. A espessura da monocamada adsorvida, determinada por difração de raios - x, é de $4,5\text{Å}$; a área da película de glicerol é então calculada por: $\text{volume/espessura} = 0,794\text{cm}^3 / 4,5 \times 10^{-8}\text{cm} = 17,65\text{m}^2$ por grama de glicerol retido. Portanto a retenção de 1,0g de glicerol será equivalente a uma área de $17,65\text{m}^2/\text{g}$. Para ambos os estados do solo, com ou sem matéria orgânica, foram feitas no mínimo duas determinações para cada amostra.

5.3.9 - Análise Termo-diferencial e raios - x.

O equipamento utilizado para a identificação mineralógica foi o Deltatherm III fabricado pela Thermal Analysis Instrumentation. A análise térmica diferencial consiste em se aquecer a velocidade constante, uma amostra da argila juntamente com uma substância termicamente inerte e, registrar as diferenças de temperatura entre o padrão inerte e o material em análise. Realizou-se os ensaios nas seguintes condições:

- velocidade de aquecimento $10^\circ\text{C}/\text{min}$

- sensibilidade 10°C/polegada
- velocidade do registrador 3 polegada/hora
- temperatura máxima 1000°C
- padrão: óxido de alumínio calcinado até 1500°C e passando na peneira de 0,074mm.

Para os ensaios utilizou-se o material passando na peneira de 0,074mm e para cada ensaio tomou-se aproximadamente 2,0g do solo.

As determinações por raios - x foram feitas utilizando-se equipamento Phillips e os difratogramas obtidos foram comparados com padrões.

5.3.10 - Adensamento

Realizou-se os ensaios de adensamento com amostras do início, meio e final da camada de argila. O método utilizado foi o descrito por Lambe²⁵. Dada a situação em que se encontra a camada de argila (entre duas camadas de areia) utilizou-se nos ensaios duas pedras porosas. Com a finalidade de reduzir-se o amolgamento das amostras o diâmetro dos anéis de adensamento ficaram condicionados ao diâmetro do "shelby"; no entanto, manteve-se a folga, entre a amostra e o anel, de

0,5mm recomendada pela BS 1377:1969¹⁰. Pelo fato do diâmetro do anel do adensamento ter sido adaptado ao diâmetro do shelby e utilizando-se o extrator de amostras mostrado na Figura 5, as amostras foram extraídas diretamente do "shelby" para os anéis. As aplicações dos carregamentos, foram feitas em progressão geométrica de razão 2; aplicou-se com relação a tensão efetiva existente no solo, três carregamentos menores e três maiores. As amostras tinham as seguintes dimensões: diâmetro de 5,83cm e altura de 2,03cm.

Para o cálculo do coeficiente de adensamento, usou-se na curva leitura no extensômetro versus tempo, o processo de Casagrande para se determinar o tempo correspondente a 50% do recalque (t_{50}); o coeficiente de adensamento é então calculado pela expressão: $C_v = (T_{50} \cdot H_d^2) / t_{50}$, onde $T_{50} = f(U) = 0,197$ e H_d a altura do corpo de prova no instante correspondente a t_{50} ou seja, $(H_0 + H_{100})/4$, sendo H_0 a altura inicial do corpo de prova.

5.3.11 - Compressão Triaxial

O tipo de ensaio empregado foi o não consolidado não drenado (Unconsolidated Undrained), conforme está apresentado por Bishop e Henkel⁹. As amostras correspondiam a cada metro da camada de argila; estas amostras foram extraídas

dos "shelbies" já com o diâmetro adequado para este ensaio e desta maneira apenas tinha-se que cortá-las com uma altura de aproximadamente 7,9cm e manter-se assim a relação altura/diâmetro igual a 2. A velocidade empregada nos ensaios foi de 1,1mm/min. Os valores das tensões de confinamento foram de 0,7, 1,4 e 2,1kg/cm².

Fig. 2 - Perfil do subsolo no local da retirada das e
mostras, (Escola Técnica Federal de Pernambuco
co, bairro do Derby-Recife-Pe).

PERFÍL DO SUBSOLO
LOCAL: ESCOLA TÉCNICA - DERBY - RECIFE - Pe.

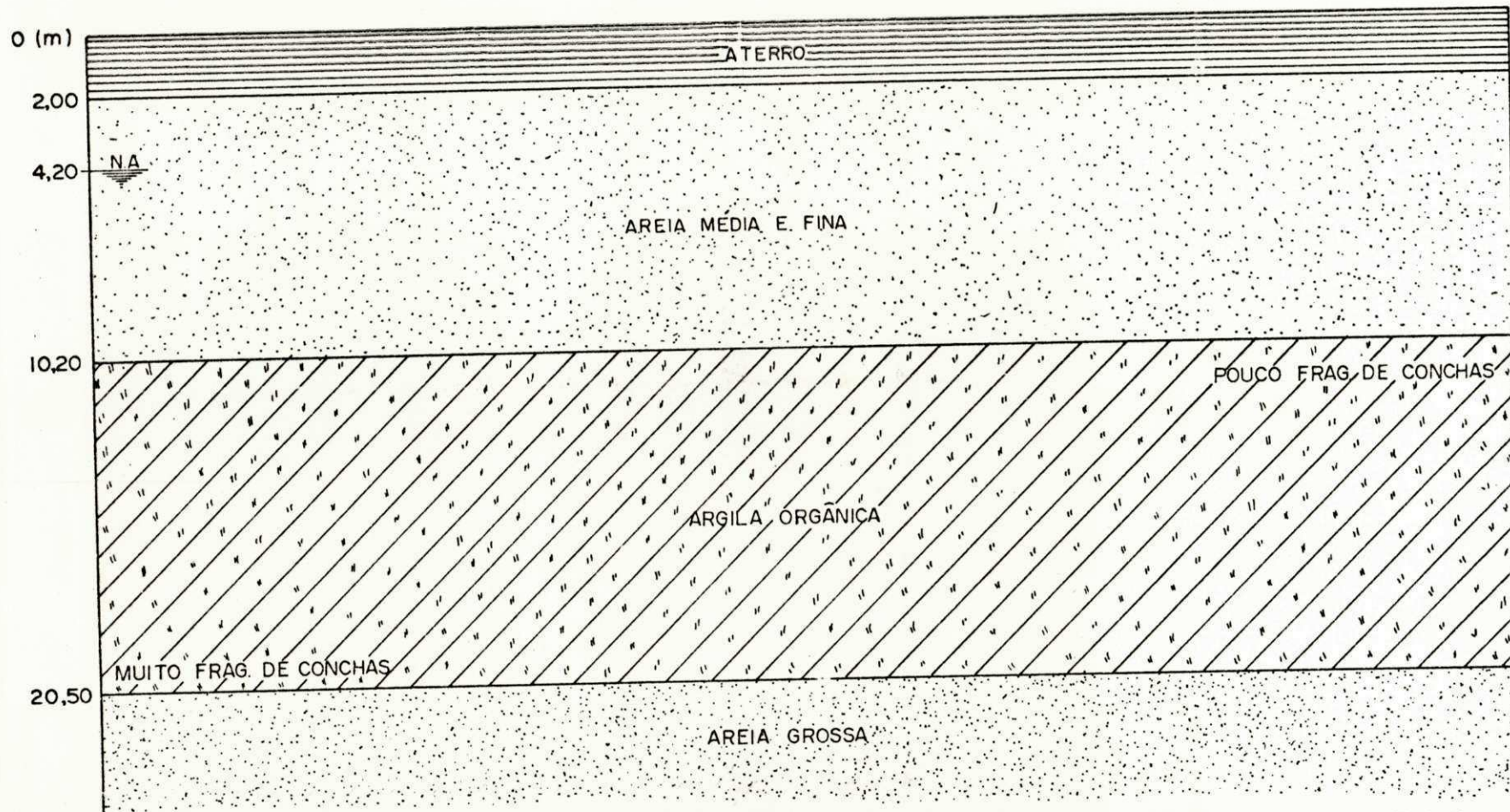


FIG. 2

Fig. 3 - Tubos shelbies utilizados para retirada da a amostras; os dois tubos, à direita do maior, são de latão. O tubo maior não foi utilizado.

Fig. 4 - Aparelho utilizado para medir as dimensões das amostras.

Fig. 5 - Extrator, com adaptação, para retirada de amostras dos shelbies.

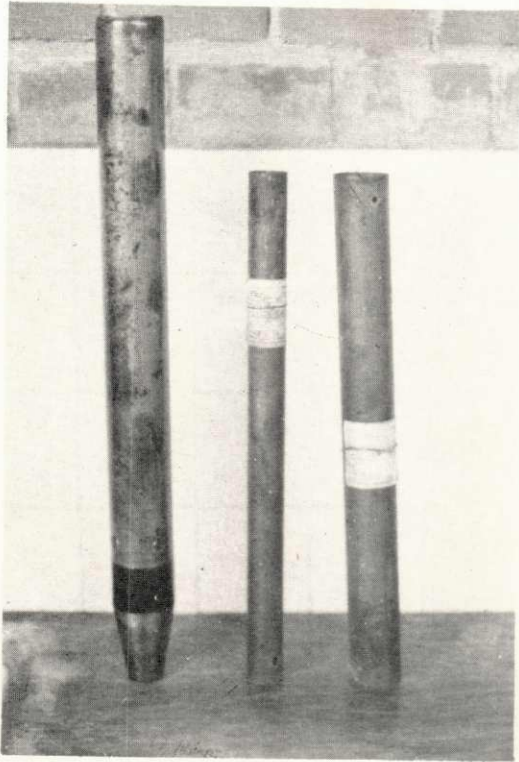


Fig. 3

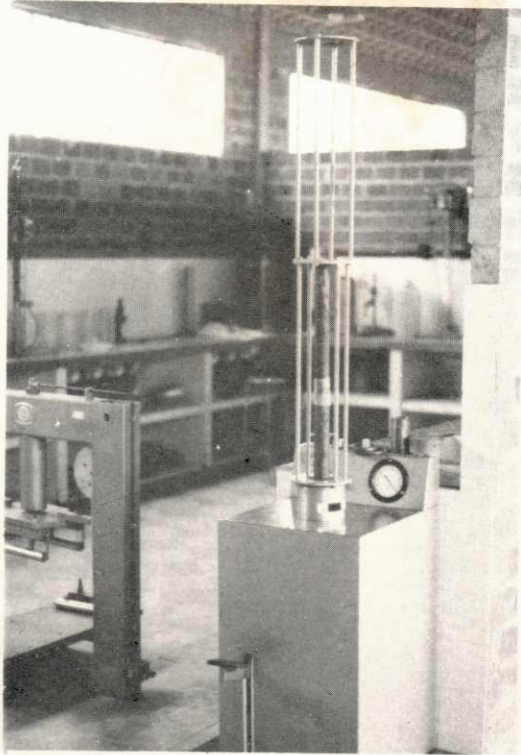


Fig. 5

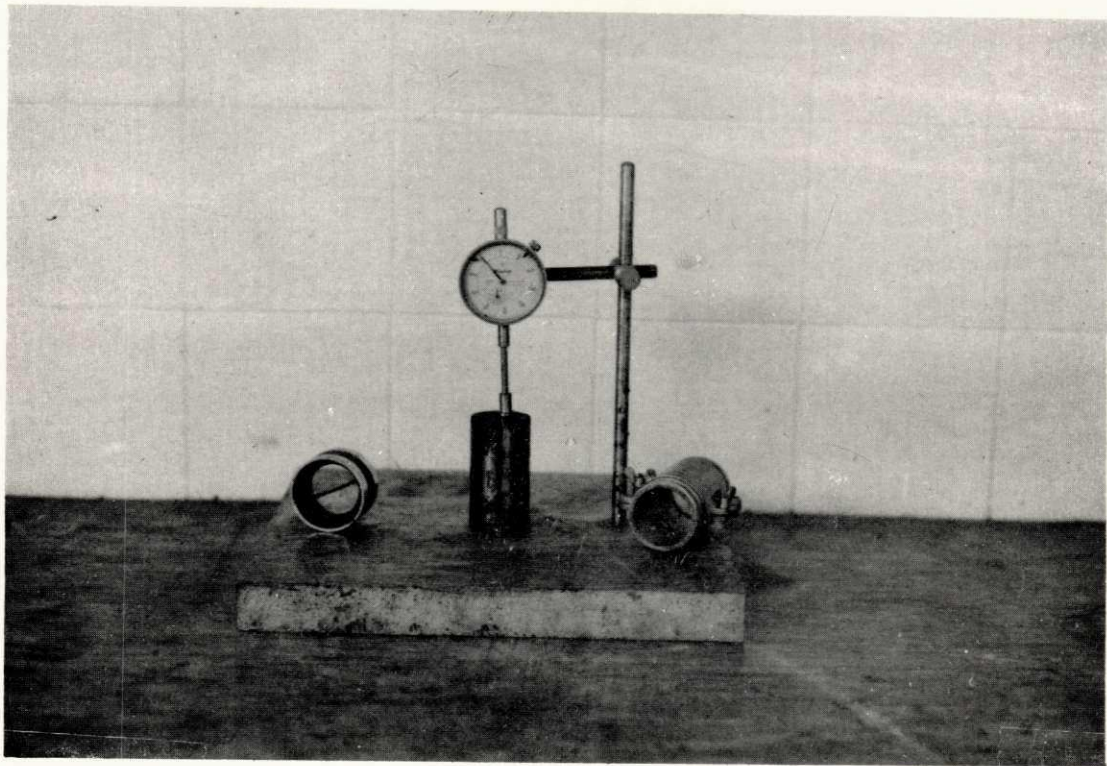


Fig. 4

Fig. 6 - Aspectos dos corpos de prova, C.P., para os en
saio triaxiais; na figura 6-a e 6-b mostra-se
os C.P. na célula triaxial antes e após o ensaio

Fig. 7 - Material (conchas etc.) encontrado nas amostras
do solo.

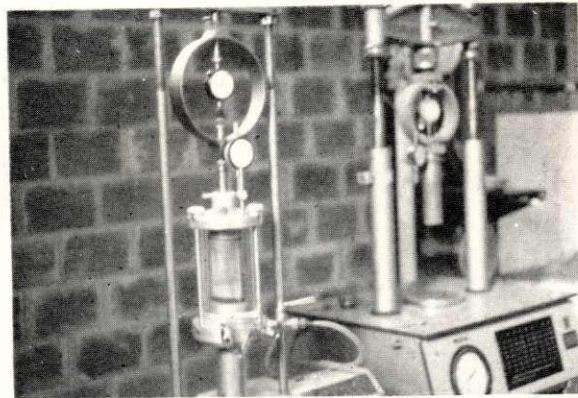


Fig. 6 - a



Fig. 6 - b

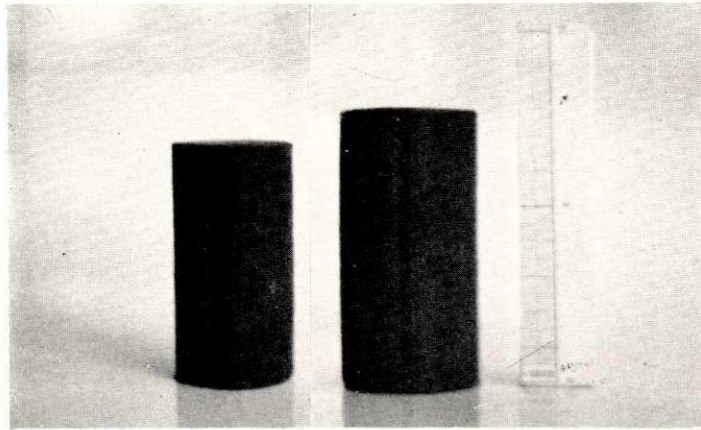


Fig. 6 - c

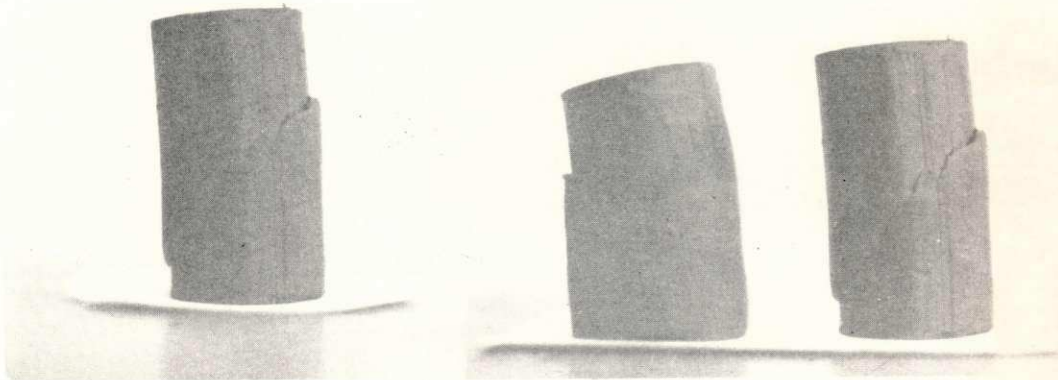


Fig. 6 - d

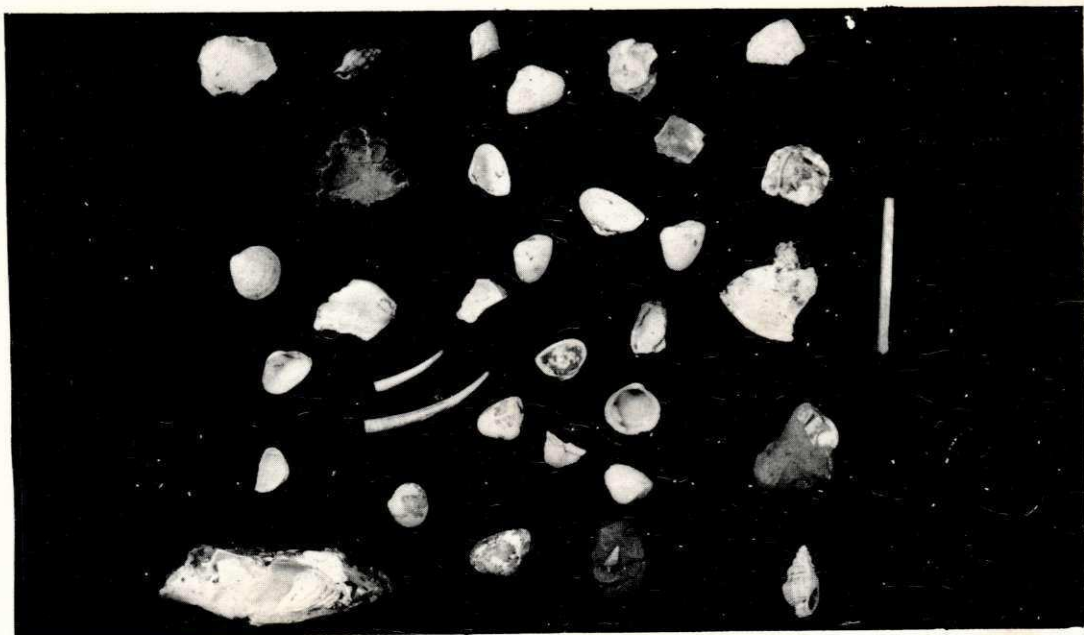


Fig. 7

CAPÍTULO 6

APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

6.1 - Introdução

Como indicado no Capítulo 5, os valores numéricos para as diferentes propriedades estudadas na argila orgânica foram determinadas para diferentes profundidades. Por outro lado, para se observar o grau de homogeneidade da camada de argila, os resultados são apresentados em função da profundidade. A apresentação começa na profundidade de 11,0m, início da camada de argila, indo até 20,0m. No final deste trabalho no Apêndice A, mostra-se um quadro resumo dos resultados obtidos.

6.2 - Teor de Umidade

O teor de umidade, ao longo da camada de argila variou desde 52,74% até 102,49%. O máximo valor verificou-se aproximadamente no meio da camada e a partir daí decresce tendendo a valores constantes. Na Figura 8-a mostra-se a variação do teor de umidade ao longo da camada.

6.3 - Massa Específica Aparente Úmida e Massa Específica Aparente Seca

Os valores obtidos para a massa específica aparente úmida mostraram a seguinte variação: $1,428\text{g/cm}^3$ à $1,654\text{g/cm}^3$; a massa específica aparente seca, calculada a partir do teor de umidade e massa específica aparente úmida, variou de $0,702\text{g/cm}^3$ à $1,072\text{g/cm}^3$. A Figura 8-b apresenta a variação destes parâmetros em função da profundidade.

6.4 - Massa Específica Real

A variação da massa específica real foi relativamente pequena, $2,521\text{g/cm}^3$ a $2,646\text{g/cm}^3$. A partir da massa específica real e os parâmetros definidos no parágrafo 6.3 calculou-se o grau de saturação e porosidade. O grau de saturação, calculado a partir do teor de umidade, massa específica real e massa específica aparente seca apresentou todos os valores em torno de 100%; para a porosidade a variação foi de 0,60-0,72. Estes valores acima descritos são apresentados na Figura 9.

6.5 - Limites de Atterberg

Na Figura 10-a mostra-se os limites liquidez (W_L) e de plasticidade (W_p) determinados no estado natural;

na Figura 10-b estão apresentados, também, os limites de liquidez e de plasticidade mas obtidos com o solo após secagem em estufa (105°-110°C). No estado natural W_L variou de 60,0% a 124% enquanto, W_p variou de 22,2% a 41,4%. Nas determinações após secagem, W_L variou no intervalo de 54% a 64% e, W_p de 22,1% a 37,1%.

6.6 - Análise Granulométrica

Esta análise foi determinada para o solo com e sem a presença de matéria orgânica. No estado natural (solo com matéria orgânica) a percentagem média da fração argila foi maior do que para o solo sem matéria orgânica. No quadro resumo dos resultados obtidos, no Apêndice A, apresenta-se todos os resultados obtidos.

Curvas típicas das análises granulométricas são apresentadas no Apêndice D.

6.7 - Percentagem de Matéria Orgânica

Como citado no Capítulo 5, a percentagem de matéria orgânica foi determinada por dois métodos; de acordo com cada método os valores obtidos foram os seguintes:

6.7.1 - Método do bicromato de potássio

Por este método os valores obtidos variaram de 3,25% a 6,66%; a variação ao longo da camada de argila é mostrada na Figura 11-a.

6.7.2 - Método do Peróxido de Hidrogênio

Utilizando-se este método, os valores obtidos variaram desde 5,18% até 10,38%; na Figura 11-a mostra-se os valores obtidos.

6.8 - Potencial Hidrogeniônico

O potencial hidrogeniônico (pH) foi determinado para cada metro da camada de argila com um mínimo de três amostras para cada metro. A variação do pH foi de 7,2 a 8,3; esta variação com a profundidade é mostrada na Figura 11-b.

6.9 - Área Específica

A área específica (S_s), determinada com amostras retiradas ao longo da camada de argila e no estado na-

tural, apresentou a seguinte variação: $63\text{m}^2/\text{g}$ à $85\text{m}^2/\text{g}$. Com amostras, após eliminação da matéria orgânica pelo uso do peróxido de hidrogênio, os valores de S_g obtidos variaram de $28\text{m}^2/\text{g}$ até $37\text{m}^2/\text{g}$. Na Figura 11-c mostra-se todos os valores obtidos.

6.10 - Composição Mineralógica

Esta análise foi feita por dois métodos: análise termo-diferencial e raios - x. Os termogramas obtidos revelaram:

- a - pico endotérmico de perda d'água à aproximadamente 110°C .
- b - banda exotérmica de 220°C à 480°C correspondente a oxidação da matéria orgânica.
- c - pico endotérmico à 570°C correspondente a perda de hidroxilas.
- d - à 980°C pico exotérmico correspondente a nucleação da mulita ? Ou formação de hidróxido de alumínio ? Apresenta-se nas Figuras 12-a e 12-b os termogramas obtidos e na Figu-

ra 12-c e 12-d os difratogramas.

Os difratogramas revelaram entre outras a presença de caulinita e quartzo.

6.11 - Ensaio Triaxial não Consolidado, não Drenado (UU).

Determinou-se a partir deste ensaio os seguintes parâmetros: coesão e ângulo de atrito interno. O intervalo de variação da coesão foi de $0,23\text{kg/cm}^2$ à $0,50\text{kg/cm}^2$. Na Figura 13-a mostra-se a variação destes parâmetros com a profundidade. No Apêndice E mostra-se alguns círculos de Mohr traçados para estes ensaios.

6.12 - Ensaio de Adensamento

Determinou-se a partir deste ensaio os seguintes parâmetros: coeficiente de adensamento (C_v) e índice de compressão (C_c). A variação para estes parâmetros foi a seguinte: C_v variou desde $3,4 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$ até 4×10^{-4} e C_c variou de 0,4 a 0,8; obteve-se estes valores com amostras retiradas das profundidades 11m, 15m e 20m respectivamente início, meio, e final da camada de argila orgânicas. Curvas típicas deste ensaio são mostradas na Figura 14.

Fig. 8-*a* - Variação do teor de umidade com a profundidade

Fig. 8-*b* - Variação das massas específicas aparente úmida e aparente seca, com a profundidade.

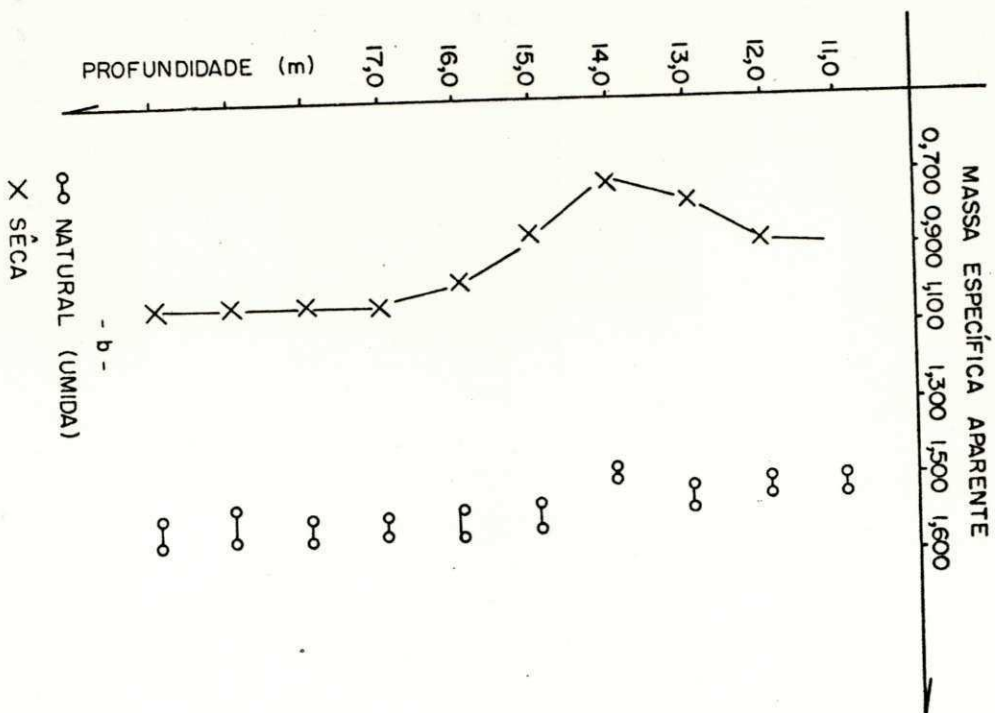
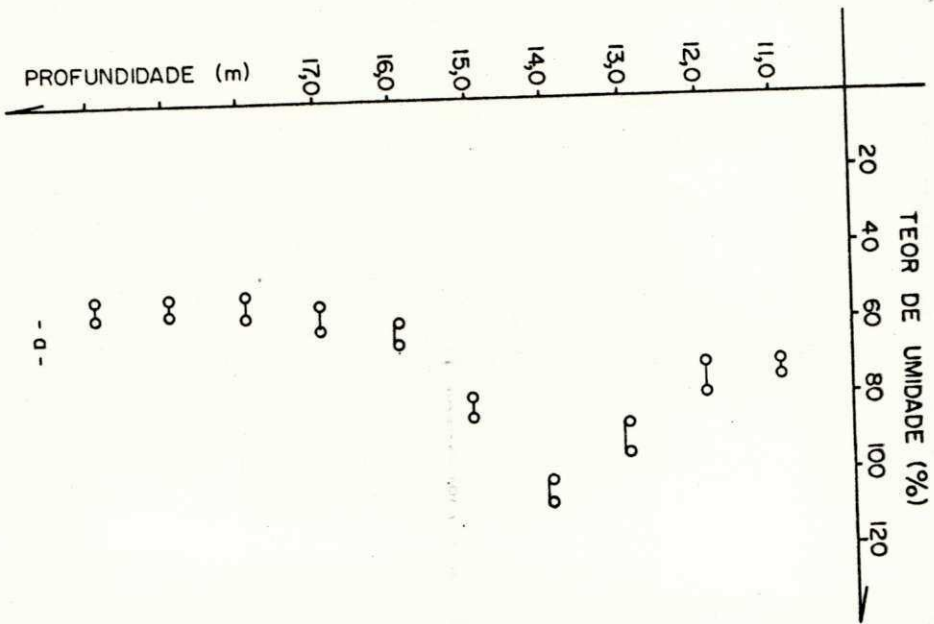


FIG. 8

Fig. 9-a - Variação da massa específica real com a profundidade

Fig. 9-b - Valores do grau de saturação com a profundidade

Fig. 9-c - Valores da porosidade com a profundidade

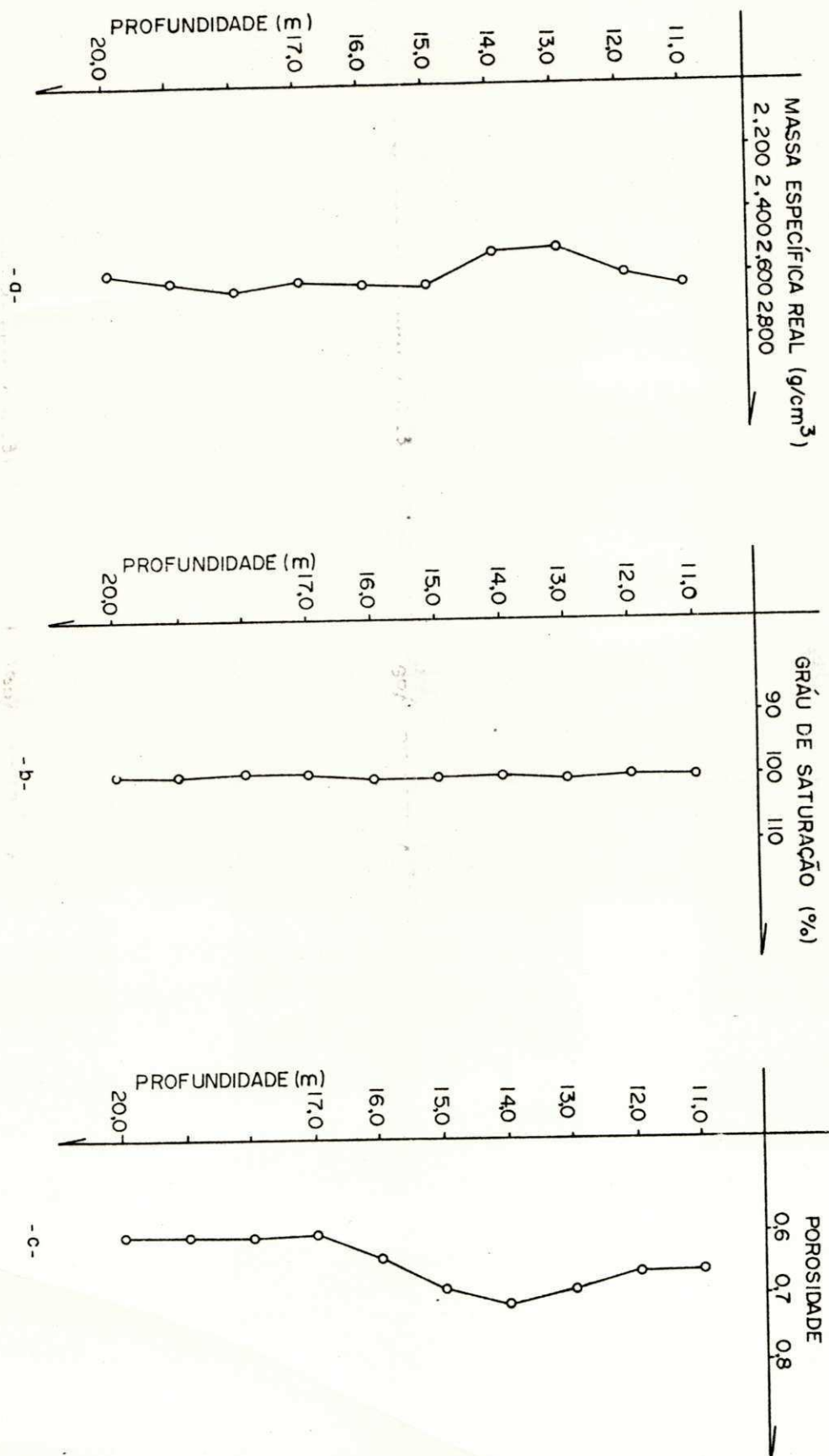


FIG. 9

Fig. 10-a - Variação dos limites de Atterberg com a profundidade, determinados com amostras no estado natural.

Fig. 10-b - Variação dos limites de Atterberg, determinados com amostras após secagem (105°-110°C) com profundidade

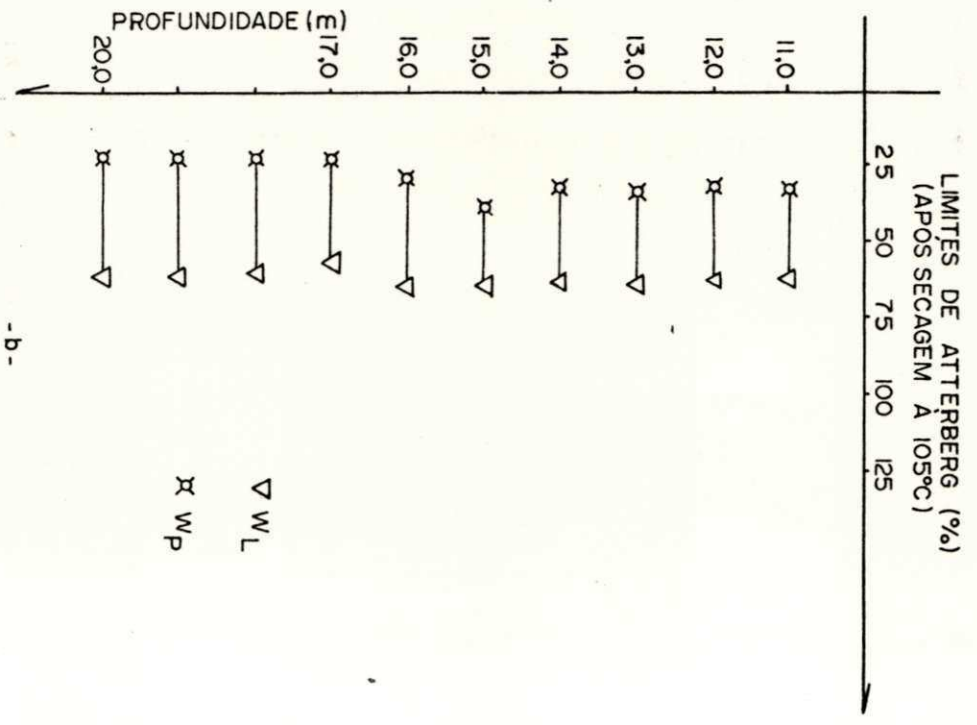
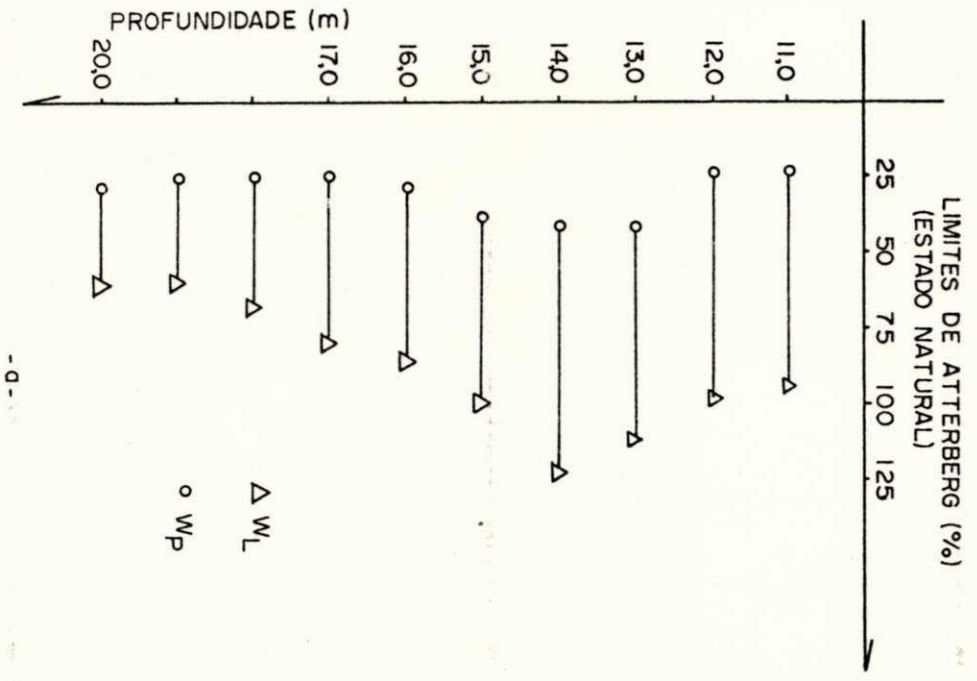


FIG. 10

Fig. 11-a - Percentagem de matéria orgânica, ao longo da camada de argila, determinadas por dois métodos (bicromato de potássio e peróxido de hidrogênio).

Fig. 11-b - Variação do pH com a profundidade

Fig. 11-c - Valores da área específica determinados com o solo com e sem matéria orgânica.

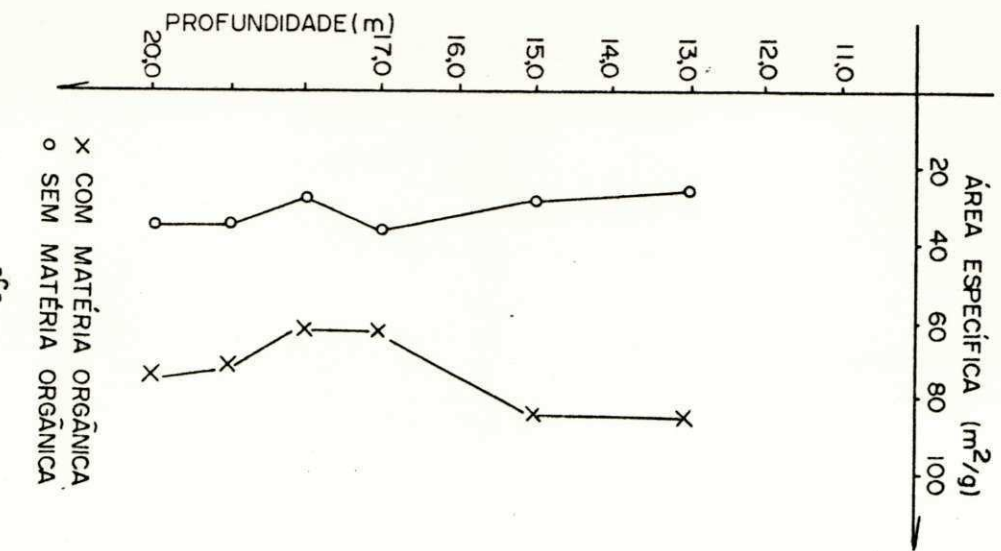
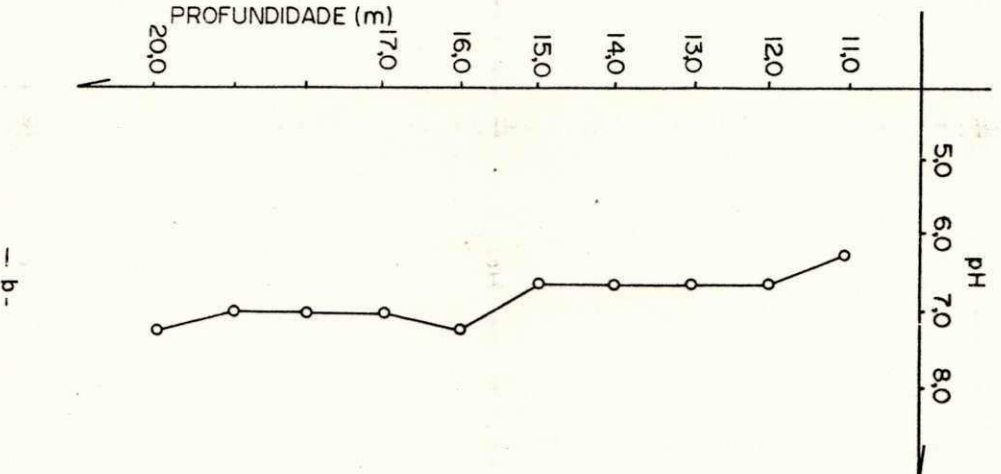
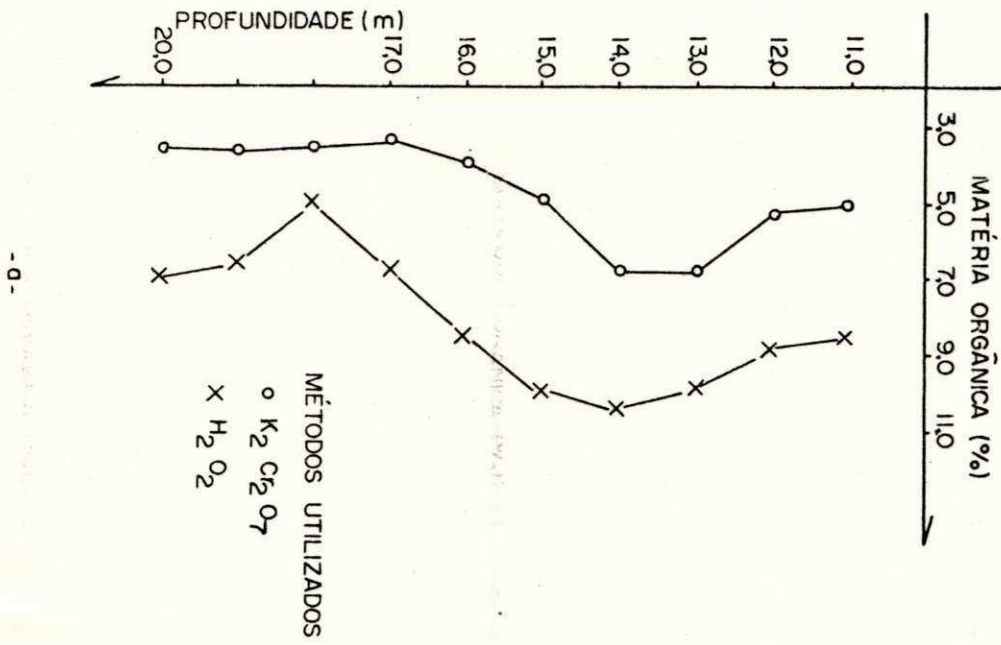


FIG. II

Fig. 12-a - Termograma obtido com a amostra nº 11, profundidade 19,0m.

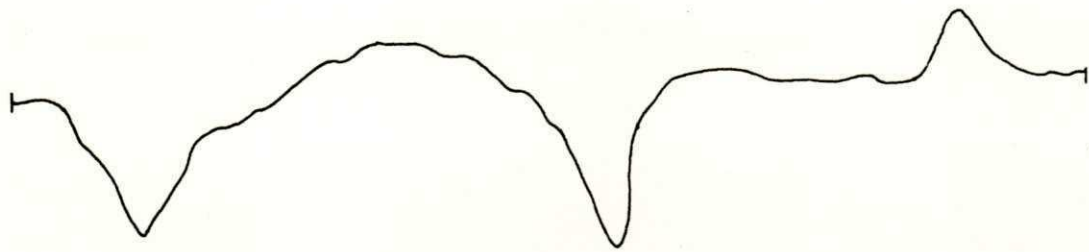
Fig. 12-b - Termograma obtido com a amostra nº 08, profundidade 16,0m.

Fig. 12-c - Difratoograma referente à amostra obtida a profundidade 18,0m.

Fig. 12-d - Difratoograma referente à amostra obtida a profundidade 16,0m.

TERMOGRAMAS

0° 100° 200° 300° 400° 500° 600° 700° 800° 900° 1000°C



- a -

0° 100° 200° 300° 400° 500° 600° 700° 800° 900° 1000°C



- b -

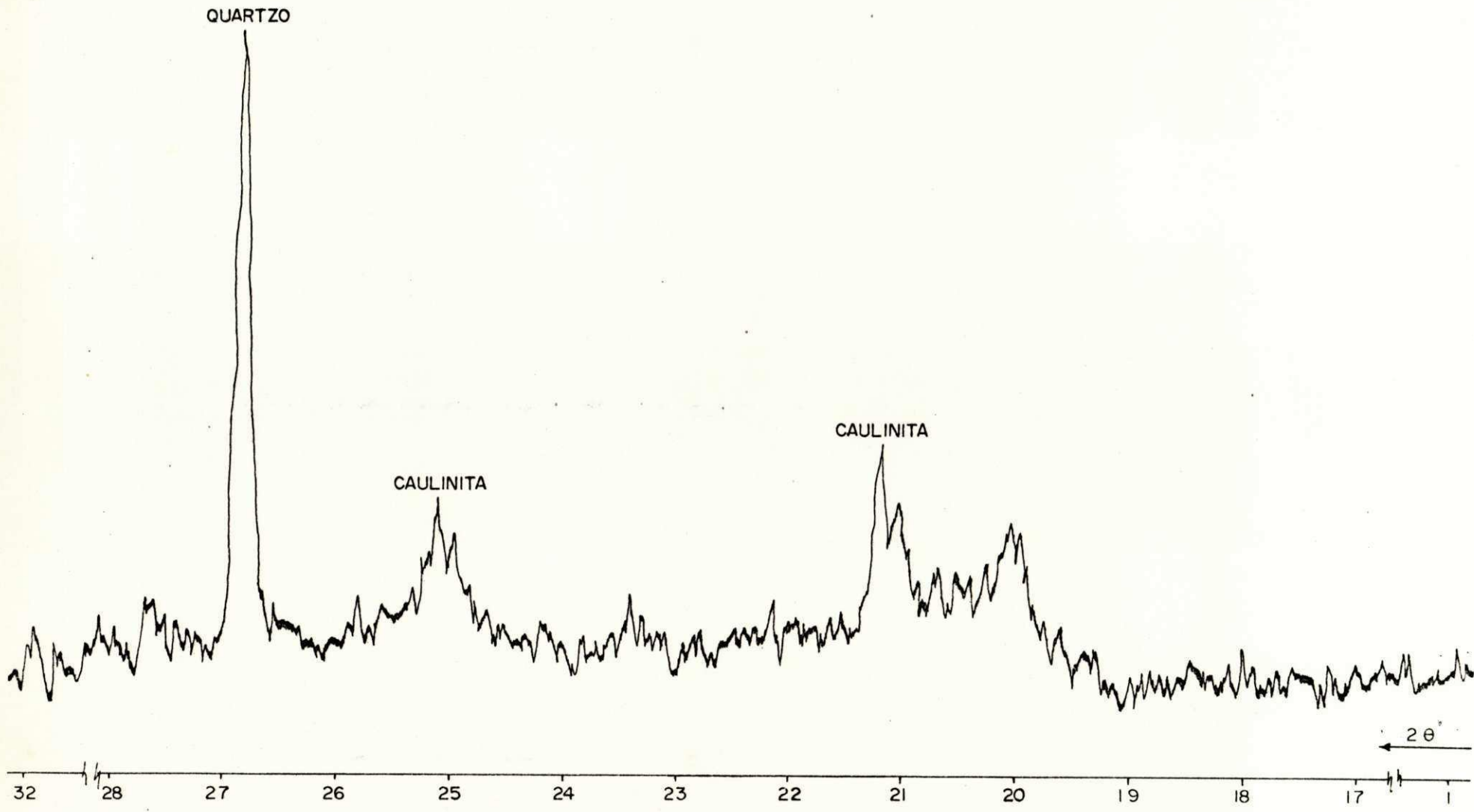
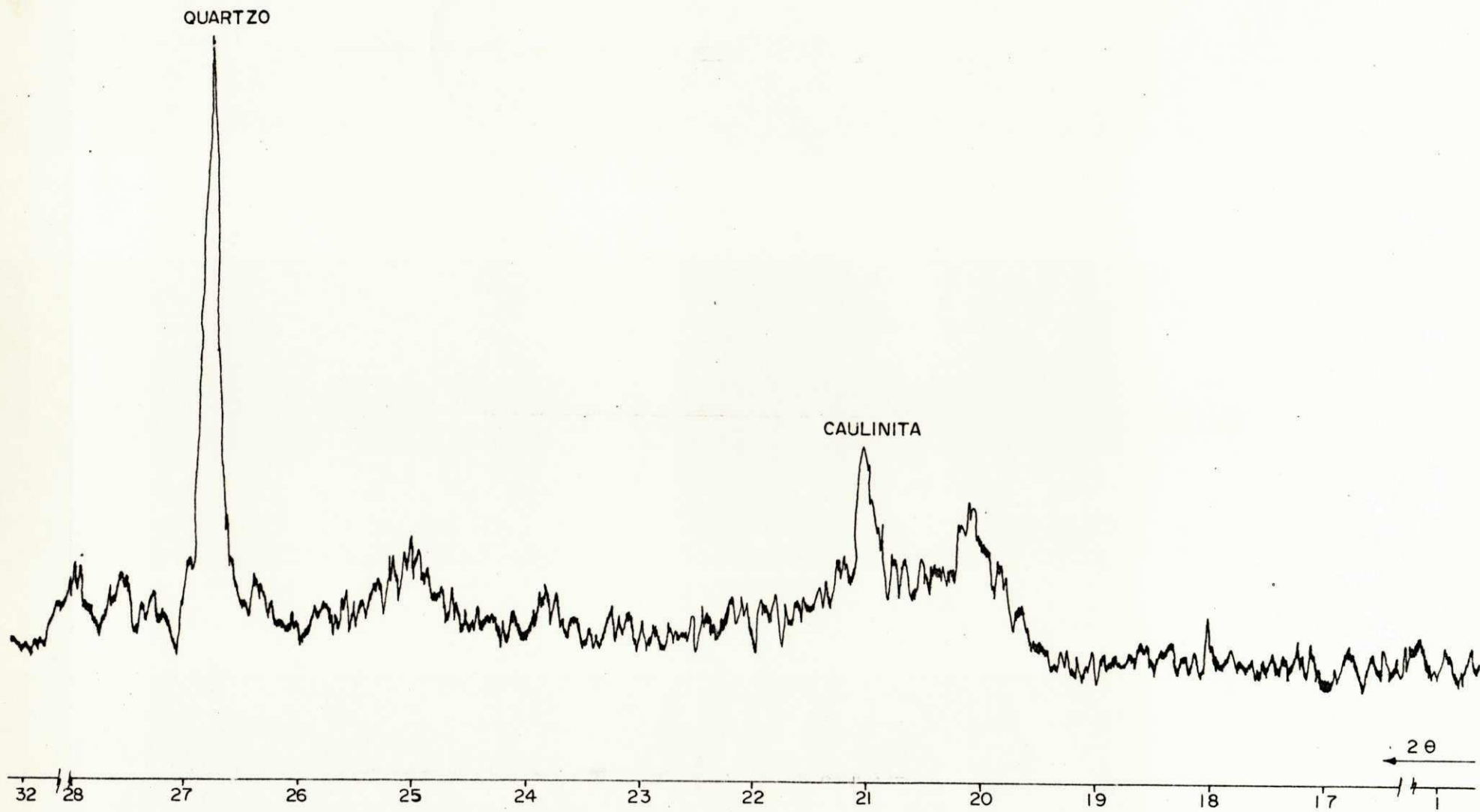


FIG. 12-C



73

FIG. 12-D

Fig. 13-a - Variação da coesão não drenada e ângulo de a trito interno, com a profundidade.

Fig. 13-b - Valores do coeficiente de adensamento e Índi ce de compressão, determinados com amostras do topo, meio e fim da camada de argila.

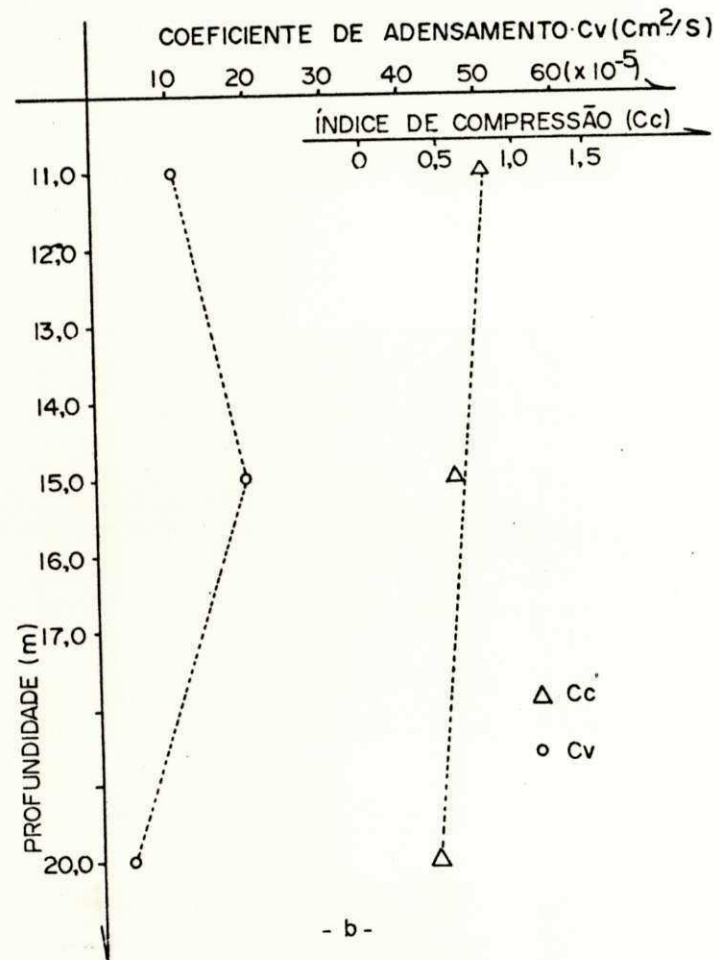
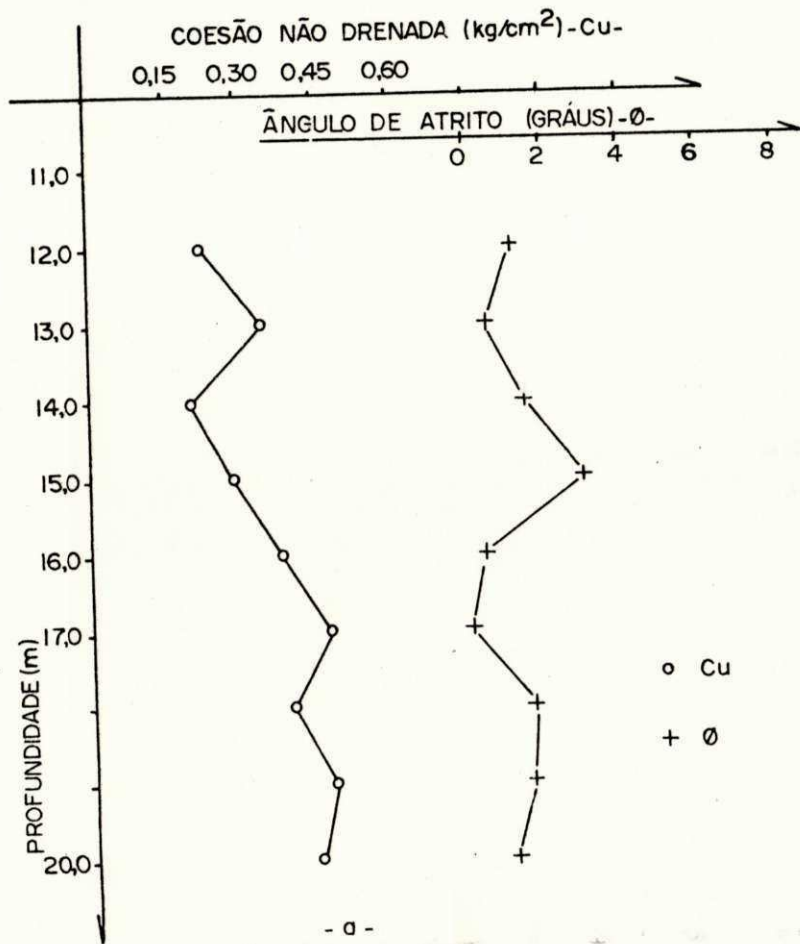


FIG. 13

Fig. 14 - Curvas $e \times \log \sigma$ para amostras retiradas do meio da camada de argila, a aproximadamente 15,0m de profundidade.

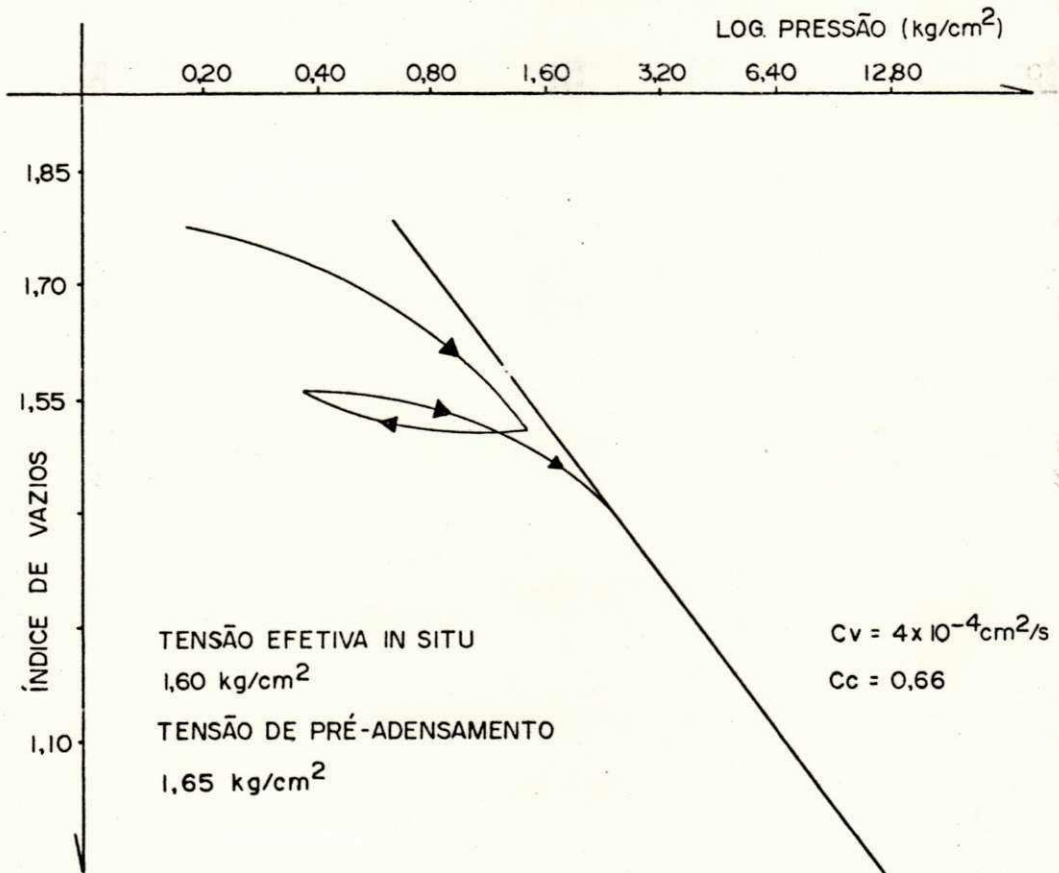
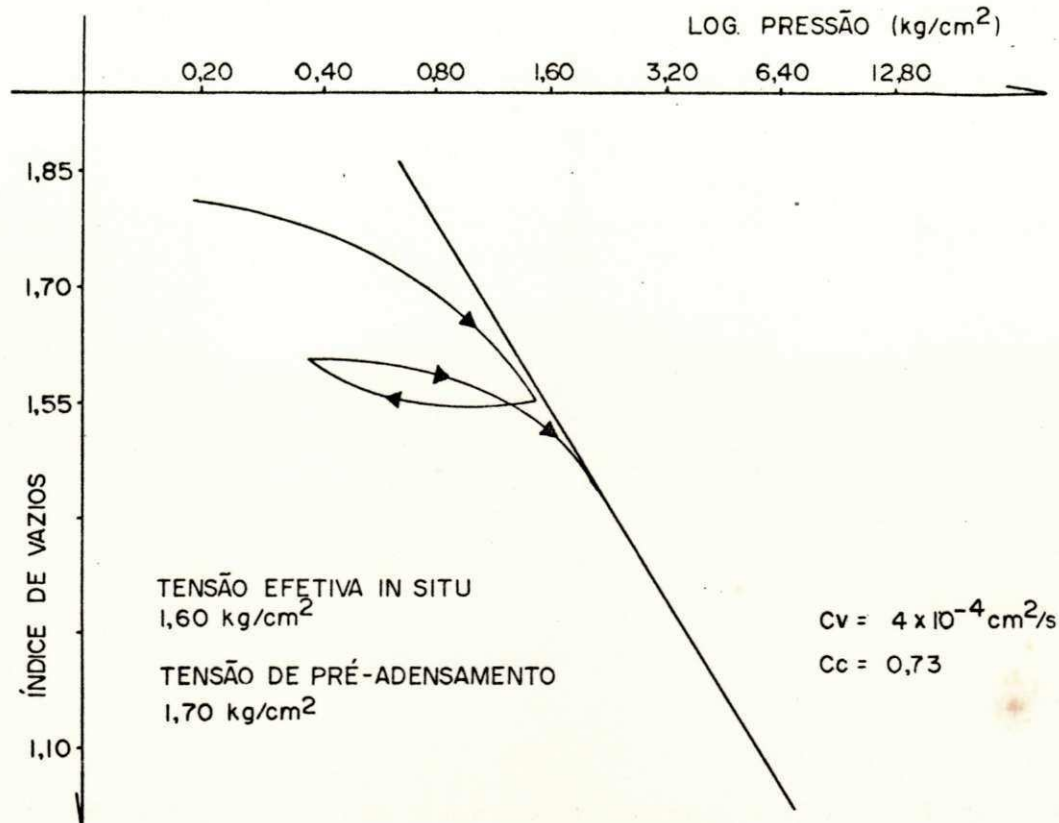


FIG. 14

CAPÍTULO 7

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

7.1 - Introdução

Neste capítulo a discussão será feita com o objetivo de evidenciar a composição mineralógica da "argila orgânica" estudada, caracterizando-a em termos de seus parâmetros intrínsecos e analisando as possíveis correlações que poderão existir entre os parâmetros medidos durante a pesquisa.

7.2 - Mineralogia da Camada de Argila

Os limitados dados obtidos com a análise de difração por raios-x permitiram identificar qualitativamente que o argilo-mineral predominante na fração argila é a caulinita; quartzo também foi identificado. Vide Figuras 12-c e 12-d.

Os termogramas obtidos com a análise térmica diferencial, vide Figuras 12-a e 12-b, confirmaram que

o argilo-mineral predominante é a caulinita e, apresentaram pico exotérmico típico em torno de 220°C a 480°C correspondendo à oxidação da matéria orgânica presente nesta argila; esta presença foi confirmada pelos ensaios físico-químicos realizados. Costa¹⁶ e outros, os quais estudaram a formação da planície do Recife, chegaram à conclusão de que este sedimento foi originado pelos materiais em suspensão transportados pelos rios e depositados em ação conjunta com as águas do mar, no entanto, eles não discutem a origem e formação do argilo-mineral presente no depósito. Sabe-se que este ponto não tem sido tratado na literatura disponível, além disso, parece ser possível fazer-se alguns comentários sobre a provável origem do argilo-mineral predominante encontrado na "argila orgânica".

A alcalinidade do ambiente marinho devido à falta de lixiviação e presença de considerável quantidade de íons de cálcio, não favorece a formação da caulinita mas, provavelmente, a formação do argilo-mineral do grupo illita, ou montmorilonita¹⁹. Existe evidência, do estudo de vários sedimentos, que a presença de íons cálcio tende a impedir a formação da caulinita^{33-a}. Soluções coloidais de sílica são relativamente estáveis; a floculação ocorre com a presença de considerável quantidade de cátions enquanto soluções de alumina são menos estáveis e podem ser floculadas com menor quantidade de cátions. Então, de acordo com Millot^{33-a} uma baixa concentração de cátions produzirá relativamente grande quantidade de alumina com um conseqüente argilo-mineral de baixa relação sílica/

alumina, por exemplo, caulinita. Em um meio com alta concentração de cátions a sílica disponível será relativamente alta devido à floculação da alumina com um conseqüente argilo-mineral de alta relação sílica/alumina, por exemplo, grupo montmorilonita.

Existe, além disso, o efeito do pH. Para baixos valores de pH, por exemplo, pH menor que 5, a sílica é insolúvel, enquanto pH acima de 9 a sílica é solúvel, então para baixos valores de pH, existirá pouca sílica na solução e, a caulinita está provavelmente na forma estável. Para altos valores de pH, por outro lado, existirá sílica na solução e os argilo-minerais com alta proporção de sílica estão provavelmente na forma estável.

Da discussão acima é então aparente que, o argilo-mineral caulinita presente na camada de argila orgânica não terá sido formado in situ devido às condições de inibição oriunda da água do mar; é proposto aqui que a caulinita já estava presente no transporte dos sedimentos; sua presença na acumulação sedimentar é provavelmente reflexo da fonte do material. Além disso, é altamente provável que o depósito foi formado por uma rápida acumulação, visto que a caulinita não teria persistido em sua forma estável em um ambiente fundamentalmente desfavorável.

7.3 - Caracterização do Solo que Forma a Camada de Argila Orgânica

Durante a apresentação desta dissertação, a camada de argila estudada tem sido referida como "argila orgânica" simplesmente porque este é o nome pelo qual a camada é conhecida e não porque ela tenha sido realmente identificada como uma argila orgânica. Desta maneira, a discussão nos parágrafos seguintes procura mostrar, com base nos resultados obtidos, se este solo pode realmente ser classificado como uma argila orgânica.

A classificação de um solo como orgânico ou inorgânico é algumas vezes feita usando-se o critério de certos valores limites da percentagem de matéria orgânica. Este critério é usado, por exemplo, na classificação Húngara²³ e na classificação proposta por Wilun e Starzewski⁶⁰. Por outro lado, Kézdi²³, por exemplo, define uma argila orgânica como um solo de alta compressibilidade e baixa resistência ao cisalhamento enquanto Terzaghi e Peck⁵⁵ descreve argilas orgânicas como aquelas nas quais a presença de matéria orgânica finamente dividida afeta fortemente suas propriedades de engenharia especialmente compressibilidade e resistência ao cisalhamento.

Enquanto o Autor concorda com a descrição qualitativa de argila orgânica tendo alta compressibilidade e baixa resistência ao cisalhamento, discorda com Kézdi²³ no uso desta descrição qualitativa para identificar argilas orgânicas,

uma vez que muitas argilas inorgânicas compostas de argilo-mineral ativo, como por exemplo, montmorilonita, podem ser descritas como exibindo as mesmas propriedades ou seja: alta compressibilidade e baixa resistência ao cisalhamento quando saturadas.

A definição de Terzaghi e Peck⁵⁵ é, obviamente, a mais aceitável visto que as propriedades de engenharia são atribuídas à presença de matéria orgânica na forma finalmente dividida, no entanto, um critério quantitativo para separar argilas orgânicas das inorgânicas em função das variações de suas propriedades de engenharia, é no momento indisponível na literatura.

Pode-se argumentar que o simples critério de um valor limite do teor de matéria orgânica pode ser usado para caracterizar uma argila orgânica do que uma argila inorgânica, mas surge aqui novamente o problema; como o Autor ver, não termina na determinação da quantidade total do teor de matéria orgânica, mas na relação do conjunto de propriedades da matéria orgânica presente. Analisando-se este ponto pode-se dizer que a matéria orgânica pode estar presente em um solo numa fase discreta, ou seja, matéria orgânica inativa, ou ela pode estar presente formando um complexo com o argilo-mineral presente e/ou intimamente revestindo as partículas de argilas, ou seja, matéria orgânica ativa. Está claro que dois solos com a mesma quantidade de matéria orgânica mas, em diferentes estados de atividade, provavelmente exibirão diferentes propriedades.

A composição química e as propriedades

físico-químicas da matéria orgânica presente no solo em estudo não foram estudadas durante esta pesquisa. Embora este estudo seja conveniente para um melhor entendimento das propriedades do solo estudado, os ensaios presentemente realizados permitiram uma indireta apreciação do tipo de matéria orgânica presente no solo e, serviram também para classificá-lo.

A determinação quantitativa do teor de matéria orgânica, foi feita usando-se os dois métodos descritos anteriormente. Destes métodos o que pareceu mais digno de confiança foi o método utilizando bicromato de potássio¹⁰ visto que o mecanismo de procedimento do ensaio provavelmente é de melhor controle em comparação com o método que usa peróxido de hidrogênio³⁹ no qual devido às repetidas manipulações existiram sempre erros acidentais que aumentaram a quantidade total do teor de matéria orgânica. Os resultados mostram de fato que o primeiro método fornece constantemente menores valores da quantidade de matéria orgânica do que o último método. Por esta simples observação foi decidido que o método que utiliza bicromato de potássio¹⁰ será usado para possíveis correlações.

Se a caracterização do solo é feita baseada somente nos resultados quantitativos dos métodos descritos e utilizando-se a classificação Húngara²³, então o solo estudado será considerado inorgânico (10% de matéria orgânica é o valor que nesta classificação separa solos orgânicos dos solos inorgânicos). Usando-se a classificação proposta por Wilun e Starzewski⁶⁰ a argila estudada será classificada como uma argila

intacta com indício de matéria orgânica. Esta discrepância mostra claramente que o ponto crítico discutido anteriormente parece válido para o solo estudado nesta pesquisa, ou seja: a determinação quantitativa do teor de matéria orgânica do solo não será o único critério para classificar solos orgânicos.

Os valores dos limites de liquidez (W_L) e limites de plasticidade (I_p) foram obtidos com amostras ensaiadas ainda em seu estado natural de umidade (umidade de campo) e com amostras secas em estufa a 110°C. Sabe-se que muitos solos são susceptíveis de mudarem os valores dos limites de Atterberg com a secagem e especialmente solos que são suspeitos de conterem matéria orgânica^{5 e B}. O teor de umidade no limite de plasticidade é, segundo Grim¹⁹: "a medida do teor de água na qual a superfície da partícula pode adsorver somente o excesso o qual pode estar fixado em uma condição rigidamente alta e na qual não separa as partículas demais para reduzir as forças de atração entre elas. Em adição a água orientada imediatamente adsorvida nas superfícies, existirá algum poro de água na condição de líquido ou semi-líquido cercado de poros de tal maneira que ele teve pouco efeito de lubrificação". Cálculos indicam que a água é provavelmente da ordem de 5 a 10 camadas moleculares e, a água nos poros provavelmente varia de cerca de 20% a 40% do valor do limite plástico começando próximo ao limite inferior no caso de solos contendo montmorilonita e próximo do limite superior no caso de solos contendo caulinita. O teor de umidade correspondente ao limite de liquidez, por outro lado, é a medida da água que pode ser retida nas partículas

sem separação, mais a água incluída dentro dos poros parte dos quais estão em estado líquido. Isto significa que a relativa a bundância da água fixada decresce e a água nos poros aumenta pa ra o limite líquido quando comparado com o limite plástico.

Usando-se estes critérios, pode-se dizer então que se a matéria orgânica é ativa, ou seja, formando complexos com o argilo-mineral do solo e/ou cobrindo as partículas de argilas, a relação entre o limite plástico e o aumento na quantidade de matéria orgânica poderá mostrar uma grande taxa de aumento do W_p do que a taxa de aumento de W_L com o aumento da quantidade de matéria orgânica. Por outro lado se a matéria orgânica está presente no estado inativo, será razoável esperar se que a taxa de aumento do limite líquido será maior do que a taxa de aumento do limite plástico visto que a camada de água adsorvida no estado plástico será menos afetada do que o teor de umidade permanecido nos poros dentro do solo e dentro da matéria orgânica inativa. Isto, para o caso estudado é mostrado claramente na Figura 15-a. Os resultados dos limites de Atterberg são mostrados no quadro resumo dos resultados obtidos no Apêndice A. Observação das variações dos limites plásticos do solo obtidos com amostras no estado de umidade natural e após secagem em estufa a 110°C mostra que a variação é muito pequena, enquanto que as variações dos limites de liquidez são no mínimo 3 ou 4 vezes maior. Isto novamente parece uma indicação de que a matéria orgânica está presente na forma inativa.

Vale a pena mencionar aqui que a tendên-

cia mostrada na Figura 15-a, não é confirmada em outros estudos. Por exemplo, Hosang e Locker²² descrevem que para alguns solos orgânicos da área de Kingston (Canadá), ambos os limites de liquidez e de plasticidade aumentam com o aumento do teor de matéria orgânica, enquanto o índice de plasticidade tende a decrescer com o aumento do teor de matéria orgânica, eles concluem que a matéria orgânica parece contribuir pouco para a plasticidade do material, o que é contrário ao que se encontrou aqui. A mais provável explicação para esta oposição parece ser a natureza da matéria orgânica, e, parece claro para o Autor, que os solos estudados por Hosang e Locker²² possuem matéria orgânica na forma ativa, isto mostra a tendência encontrada quando se coloca em um gráfico os limites de Atterberg com a percentagem de matéria orgânica.

Análises granulométricas feitas com o solo após a eliminação da matéria orgânica mostram que a percentagem correspondente à fração tamanho argila decresce com relação à percentagem determinada com o solo com matéria orgânica; este decréscimo foi muito próximo da percentagem de matéria orgânica determinada pelo uso do bicromato de potássio. Isto em parte confirma indiretamente a natureza discreta da matéria orgânica ou seja: o teor de matéria orgânica inativa mostra que o material orgânico pode ser considerado como finamente dividido. Observações visuais da cor das amostras retiradas da camada de argila indicam que a matéria orgânica aparece uniformemente distribuída (os fósseis marinhos mostrados na Figura 7 não são, obviamente, considerados como parte da matéria orgânica, uma vez

que suas presenças foram notadas nos últimos metros da camada de argila).

As determinações da área específica do solo com e sem matéria orgânica, vide valores no Apêndice A, mostram que sem matéria orgânica os valores numéricos encontrados correspondem a valores típicos da caulinita e que, a diferença entre a área específica determinada com o solo com matéria orgânica e a área específica determinada com o solo sem matéria orgânica, mostra valores que são relativamente baixos para a matéria orgânica. Então pode-se dizer que a baixa área específica da matéria orgânica deste solo foi considerada como indicação de característica inativa da matéria orgânica.

Com a presente discussão pode-se então dizer que o solo estudado é uma argila com baixo teor de matéria orgânica na forma inativa.

Como foi antes citado, todos os ensaios foram realizados com amostras retiradas ao longo da camada de argila com intervalos de 1,0m; a análise destes resultados em função da profundidade fornece uma idéia da uniformidade da argila. Vide Figuras 8 a 14 e Apêndice A.

O teor de umidade em função da profundidade mostra uma tendência de aumento até a profundidade de 15,0m, a partir da qual tende a decrescer. A massa específica aparente úmida e a massa específica aparente seca mostra em geral

uma tendência a crescer, esta tendência, segundo Lambe e Martin²⁶ é comum para solos natural uniforme. As variações no teor de umidade parecem ser relacionadas com as variações do teor de matéria orgânica ou seja, o aumento no teor de umidade da profundidade de 11,0m até 15,0m é atribuída ao aumento da percentagem de matéria orgânica nestas mesmas profundidades.

Os resultados da massa específica real e porosidade podem ser considerados como valores representativos da uniformidade do solo desde que suas variações são de pequenos intervalos e aparentemente devidos às variações do teor de matéria orgânica.

Os limites de Atterberg determinados com o solo sem secagem mostram uma grande variação comparando-se com os limites obtidos com o solo previamente seco em estufa a 110°C. Observando-se cuidadosamente as Figuras 10-a e 10-b e os valores numéricos do Apêndice A, observa-se claramente que a grande variação dos limites de liquidez e plasticidade com o solo ensaiado sem secagem não é refletida nos valores do solo seco previamente. Isto parece ser uma clara indicação da aparente não uniformidade do solo com relação aos limites de Atterberg devido a presença de menor ou maior quantidade de matéria orgânica: note-se que a diferença entre os valores extremos do teor de matéria orgânica, obtidos com o uso do bicromato de potássio, é 3,41%.

O índice de liquidez, referente a uma camada de argila inorgânica, mostra normalmente a tendência a decres-

cer com a profundidade, isto é claro, segue a tendência decrescente do teor de umidade para o mesmo tipo de solo. Para o caso do solo estudado, o índice de liquidez, calculado a partir dos valores dos limites de Atterberg obtidos com amostras sem secagem, não mostra a tendência normal e varia irregularmente. Os valores numéricos obtidos foram em todos os casos menores que 1,0. Vide Figura 15-b.

Os resultados dos ensaios triaxiais não consolidado não drenado, os quais são numericamente apresentados no Apêndice A mostram que a coesão não drenada (c) tende a aumentar com a profundidade. Embora para o tipo de ensaio realizado o valor do ângulo de atrito seja zero, os pequenos valores aparentemente encontrados quando se traça a envoltória dos círculos de Mohr são somente apresentados para demonstrar a precisão dos resultados.

Os valores numéricos de c podem, neste caso, ser menores do que os valores da resistência real do solo in situ devido ao provável amolgamento sofrido pelas amostras. Cabrera e Valdês¹¹ apresentam resultados obtidos pelo "Vane Test" in situ; estes resultados foram maiores do que os obtidos neste estudo. Se os resultados deste estudo são considerados como valores da resistência amolgada e os valores do "Vane Test" in situ considerados como valores naturais a sensibilidade da argila estudada é baixa; o valor médio da sensibilidade neste caso seria igual a 1,33. Este valor concorda muito bem com os valores da sensibilidade apresentados por Cabrera e Valdês¹¹.

Embora os valores do coeficiente de adensamento e índice de compressibilidade tenham sido determinados com somente seis amostras, eles dão uma idéia da variação esperada. Observa-se que os valores obtidos à profundidade de 20,0m são inexatos visto que eles são diferentes dos demais. É possível que, sendo amostras do fim da camada de argila, o amolgamento as tenha afetado dando os valores mostrados na tabela do Apêndice A.

Lambe e Whitman²⁷ apresentam valores médios para o coeficiente de adensamento em função do limite de liquidez para solos típicos; estes valores variam de 2×10^{-4} cm²/s, para compressão não amolgada, a 1×10^{-4} cm²/s, para um limite superior de amolgamento; estes valores referem-se a solos com W_L igual a 100%. Pode-se verificar que os valores apresentados neste estudo são da mesma ordem daqueles apresentados por Lambe e Whitman²⁷. Os diagramas Índice de vazios x logaritmo das pressões, vide Figura 14, mostram por outro lado que a camada de argila estudada é normalmente adensada; isto confirma a descrição geológica apresentada no Capítulo 4.

Os resultados da coesão não drenada e do coeficiente de adensamento não permitem concluir claramente o efeito da matéria orgânica nestes parâmetros, entretanto, pode-se dizer que provavelmente para o mesmo tipo de solo sem matéria orgânica e, considerando que o argilo-mineral presente é a caulinita, o limite de liquidez será menor e além disso por dedução dos valores disponíveis na literatura, a coesão não drena

da e o coeficiente de adensamento serão maiores do que para um solo contendo matéria orgânica.

Alguns autores, Lambe e Whitman²⁷, Wilun e Starzewski⁶⁰ Terzaghi e Peck⁵⁵ têm proposto uma classificação similar para as argilas em função da coesão não drenada; usando-se esta classificação pode-se dizer que o solo estudado é uma argila mole. A consistência dos solos coesivos pode também ser classificada em função do índice de consistência; com base nos valores do índice de consistência obtidos, vide Apêndice A, e na classificação apresentada por Wilun e Starzewski⁶⁰, este solo estudado também é classificado como uma argila mole.

Pode-se reforçar a opinião de que a matéria orgânica presente nesta argila está na forma inativa comparando-a com as "ball clays" que possuem algumas características similares, ou seja: são sedimentares, de origem fluvial, cor escura, massa específica real variando de $2,40\text{g/cm}^3$ a $2,80\text{g/cm}^3$, argilo-mineral predominante é a caulinita^{19-b}. A finíssima granulometria das "ball clays" (80% a 90% das partículas são menores do que $0,002\text{mm}$) é um dos fatores responsáveis pela sua elevada plasticidade, no entanto, a presença de matéria orgânica finamente dividida, provavelmente na forma coloidal, contribui para o aumento desta plasticidade^{19-b}. Segundo Grim^{19-a}, a elevada plasticidade das "ball clays" inglesas, com relação a outras argilas plásticas, entre outros fatores, é devido principalmente à camada de matéria orgânica adsorvida na superfície das partículas de argilo-minerais dando a estas

partículas um caráter hidrofílico. Como analisado anteriormente a matéria orgânica presente na argila estudada não afetou o limite de plasticidade na mesma taxa de aumento do limite de liquidez. Vide Figura 15-a.

Com base na discussão apresentada neste subcapítulo, o Autor acredita que o solo estudado pode ser caracterizado da seguinte maneira: "uma argila orgânica com baixa percentagem de matéria orgânica inativa finamente dividida, constituída predominantemente do argilo-mineral caulinita, quartzo também está presente em sua fração fina; é normalmente adensada e com um coeficiente de adensamento dentro da faixa normal de argilas com um limite de liquidez igual a 100%. É, além disso, uma argila de baixa sensibilidade.

A camada de argila, com base nos furos de sondagem estudados, pode ser tida como homogênea e uniforme, embora, tenha mostrado que a variação dos parâmetros estudados é devida principalmente à variação no teor de matéria orgânica, assim, não é justificável generalizar a qualificação de uniforme e homogênea para toda a camada no plano horizontal; isto pode ser possível se o teor de matéria orgânica não variar em maiores limites do que aqueles encontrados neste trabalho.

7.4 - Correlações Obtidas com Alguns Parâmetros Determinados Neste Estudo

Como apresentado nos parágrafos anteriores pode-se verificar que a matéria orgânica presente na argila influenciou, em maior ou menor grau, as propriedades estudadas durante este trabalho; desta maneira procurou-se quantificar através de relações estatísticas a influência da matéria orgânica em alguns destes parâmetros; as correlações foram estudadas usando-se a forma simples de relação linear $y = ax + b$.

Na Figura 15-a, mostra-se a correlação existente entre a percentagem de matéria orgânica determinada pelo uso do bicromato de potássio e os limites de Atterberg ; não é necessário discutir estas correlações visto que as mesmas foram discutidas no subcapítulo anterior, no entanto, resalta-se aqui que os coeficientes de correlações obtidos para estas correlações foram bons chegando mesmo até 0,89.

Para se representar esta argila no gráfico de plasticidade de Casagrande correlacionou-se o índice de plasticidade com o limite de liquidez, ambos obtidos com o solo no estado natural; esta correlação é mostrada na Figura 16-a; a equação obtida foi $I_p = 0,78 (W_L - 14,07)$ com um coeficiente de correlação igual a 0,94; a reta representativa fica acima da linha "A" sendo portanto esta argila mais plástica que suas similares.

A relação existente entre os valores de terminados para o teor de umidade e a percentagem de matéria orgânica, determinada pelo uso do bicromato de potássio é mostrado na Figura 16-b; esta correlação mostra que existe uma relação inversa entre a percentagem de matéria orgânica e o teor de umidade; esta ocorrência concorda com outras encontradas na literatura; por exemplo, Arman³ mostra a mesma evidência.

Sabe-se que a matéria orgânica tem baixa massa específica e que para maiores concentrações desta o pH é baixo; as correlações mostradas na Figura 17-b e 17-c mostram realmente que estas afirmativas estão coerentes, inclusive, concorda com outras encontradas na literatura; Arman³ apresenta correlações semelhantes tendo a mesma tendência das encontradas neste estudo.

Vários autores^{27 60} mostram a influência do teor de umidade na determinação da resistência de um solo; correlacionando-se coesão com teor de umidade verificou-se que a coesão varia inversamente com o teor de umidade; esta correlação mostrada na Figura 17-a está conforme outras apresentadas na literatura⁶⁰.

Como se sabe a presença da matéria orgânica foi quantitativamente determinada pelo uso do bicromato de potássio (% M.O. (Y)) e pelo uso do peróxido de hidrogênio (% M.O. (X)); a Figura 18-a mostra a correlação entre os valores obtidos por cada método; a equação que relaciona ambos os métodos é: % M.O. (Y) = 1,13% M.O. (X) + 2,96; o coeficiente de

correlação obtido foi igual a 0,82. No subcapítulo anterior discutiu-se os motivos pelos quais a percentagem de matéria orgânica determinada pelo uso do peróxido de hidrogênio tende a fornecer valores maiores do que aqueles determinados pelo uso do bicromato de potássio.

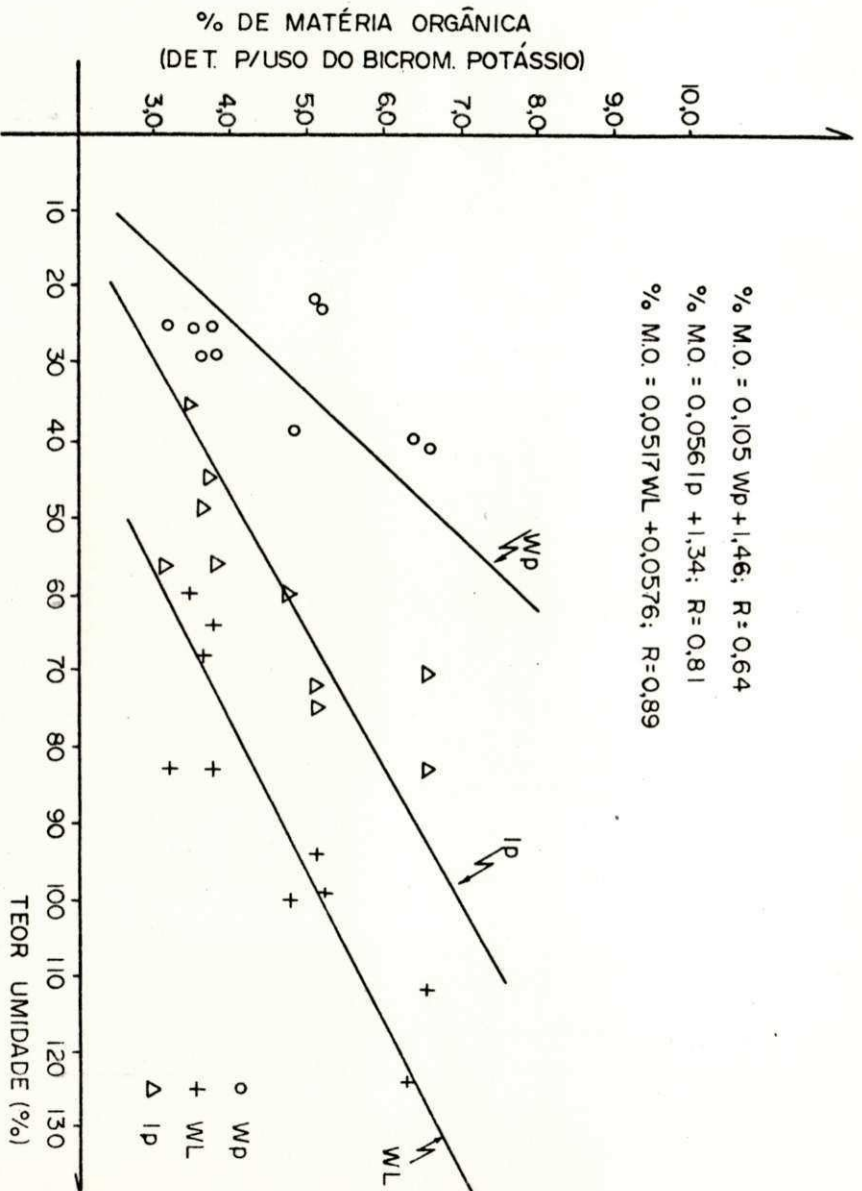
Sabe-se que relações intrínsecas, para diferentes grupos de solos, entre a percentagem de matéria orgânica e a diferença entre os limites de Atterberg obtidos com amostras no estado natural e após secagem, não tem validade estatística, pensava-se que para um simples solo com alto grau de uniformidade e homogeneidade estas correlações podiam existir. As Figuras 18-b e 18-c, mostram que correlações estatísticas existem para este caso particular. O que encontrou-se pode ter validade para simplificar estudos preliminares para a camada de argila estudada neste trabalho, uma vez que por simples medidas dos limites de Atterberg com o solo em seu estado natural de umidade e com o solo após secagem em estufa a 110°C, a quantidade de matéria orgânica pode ser estimada. Se o teor de matéria orgânica é conhecido para um lugar particular, então usando-se as relações quantitativas encontradas entre o teor de matéria orgânica e o teor de umidade e entre, por exemplo, teor de umidade e coesão, a capacidade de carga da camada de argila pode ser preliminarmente avaliada.

O Autor está consciente do fato de que as correlações apresentadas neste subcapítulo são de validade li

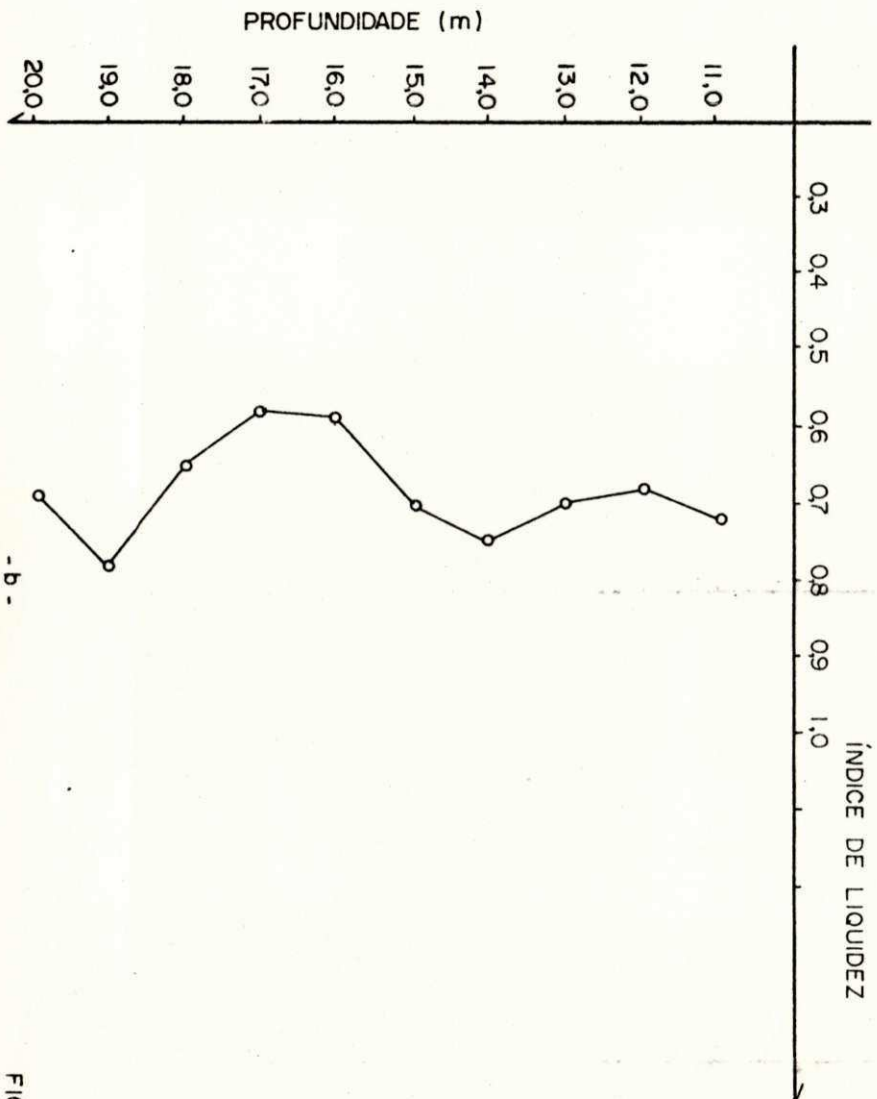
mitada, uma vez que, o número de ensaios foi reduzido e por isto testes de significância não foram realizados, sem dúvidas, é de aparente utilidade a continuação deste trabalho para se confirmar a validade do uso de ensaios simples que permitiram avaliar as propriedades de engenharia da camada de argila orgânica que forma parte do subsolo do Recife.

Fig. 15-a - Correlação entre os limites de Atterberg e a percentagem de matéria orgânica determinada pelo uso do bicromato de potássio.

Fig. 15-b - Variação do Índice de Liquidez com a profundidade.



- 0 -

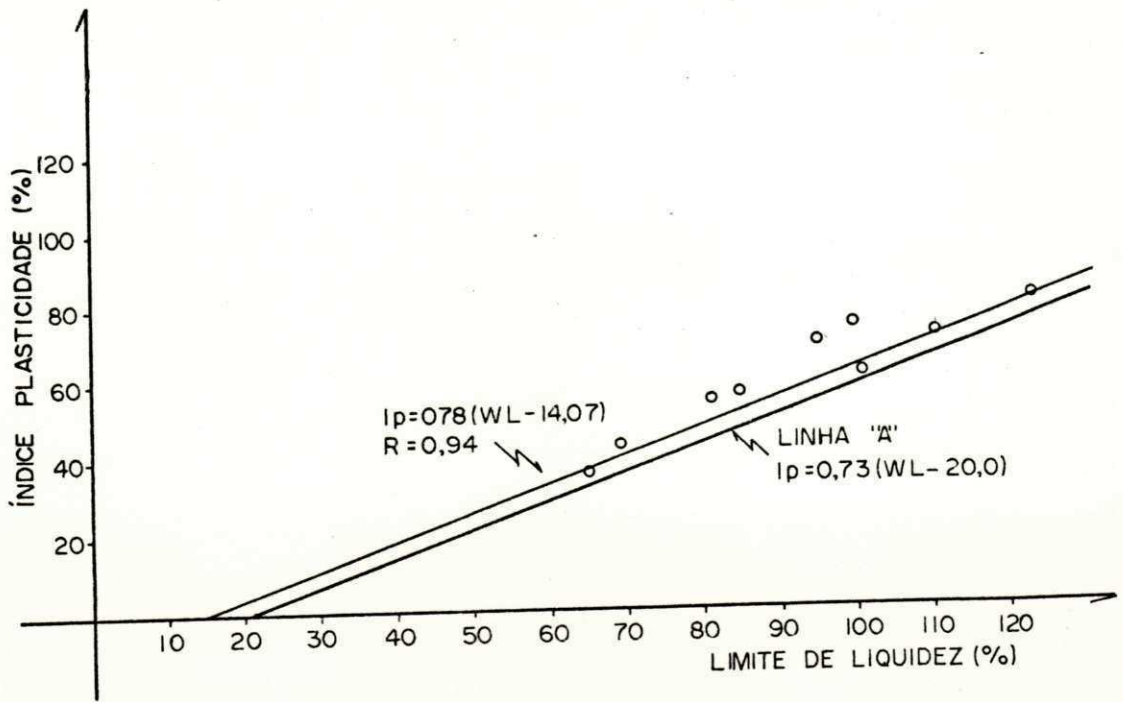


- b -

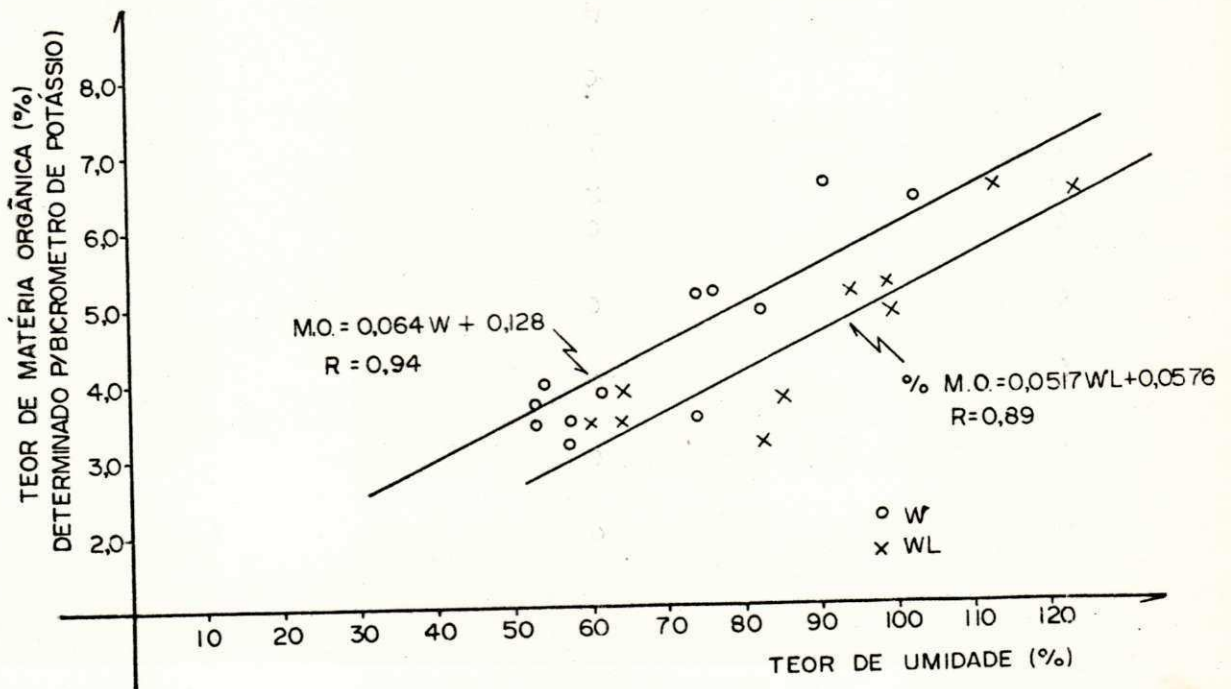
FIG. 15

Fig. 16-a - Correlação entre o índice de plasticidade e o limite de liquidez, ambos determinados com o solo no estado natural.

Fig. 16-b - Correlação entre o teor de matéria orgânica e o teor de umidade e, teor de matéria orgânica e limite de liquidez.



- a -



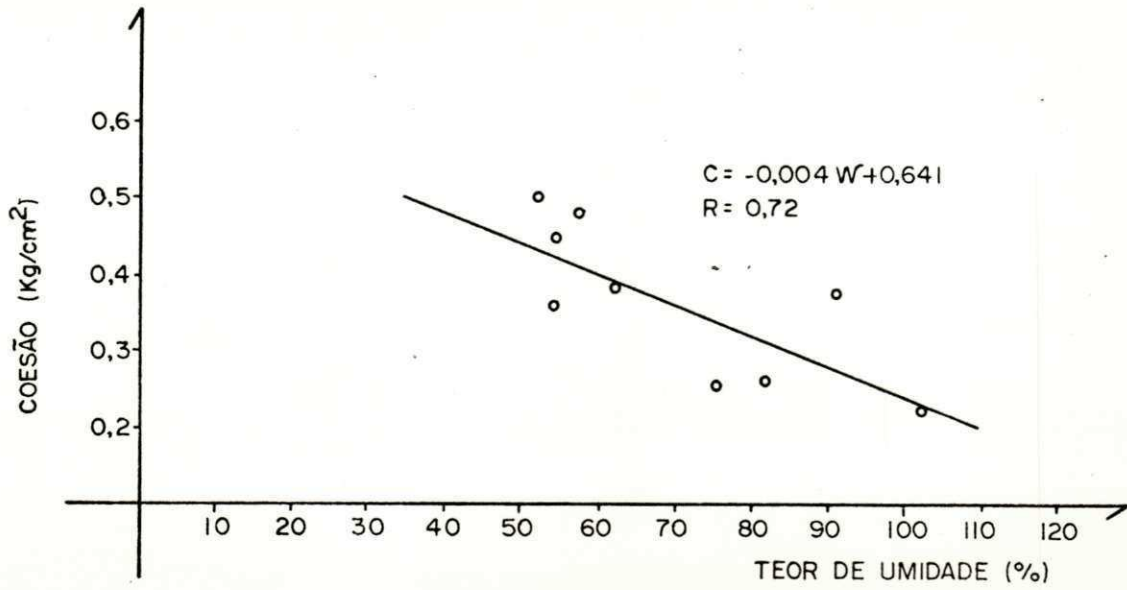
- b -

FIG. 16

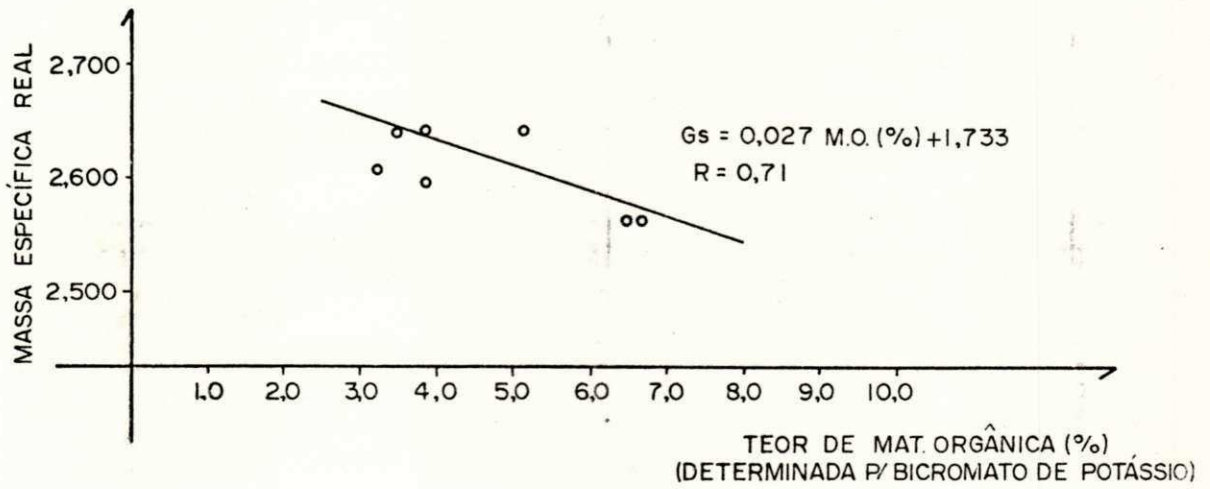
Fig. 17-a - Correlação entre a coesão não drenada e o teor de umidade.

Fig. 17-b - Correlação entre massa específica real e percentagem de matéria orgânica.

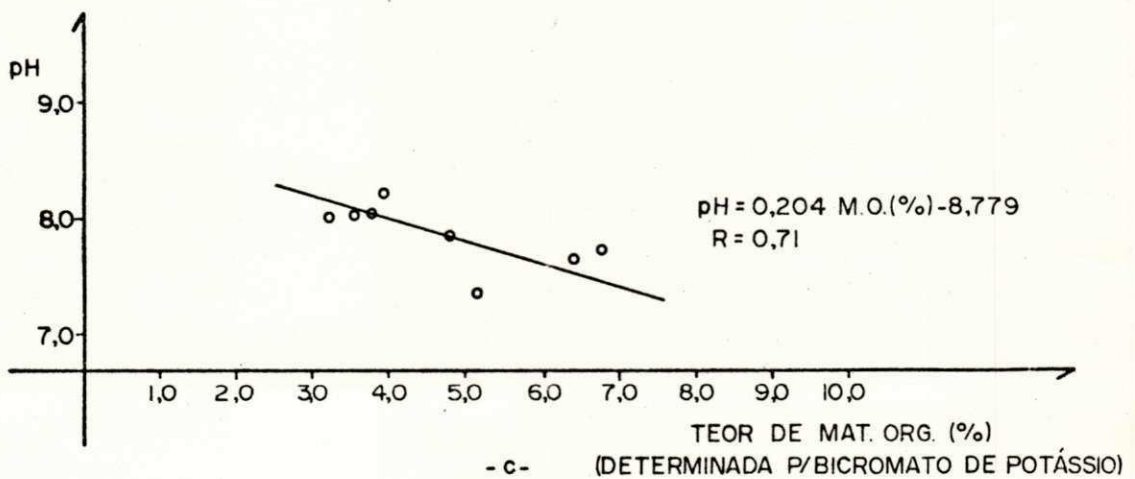
Fig. 17-c - Correlação entre pH e percentagem de matéria orgânica.



-a-



-b-



-c-

FIG. 17

Fig. 18-a - Correlação entre a percentagem de matéria orgânica determinada pelo uso do peróxido de hidrogênio e a percentagem de matéria orgânica determinada pelo uso do bicromato de potássio.

Fig. 18-b - Correlação entre a diferença do limite de liquidez determinado com amostras no estado natural e após secagem em estufa e teor de matéria orgânica determinada pelo uso do bicromato de potássio.

Fig. 18-c - Correlação entre os limites de liquidez determinado com amostras no estado natural e após secagem em estufa e o teor de matéria orgânica determinado pelo uso do peróxido de hidrogênio.

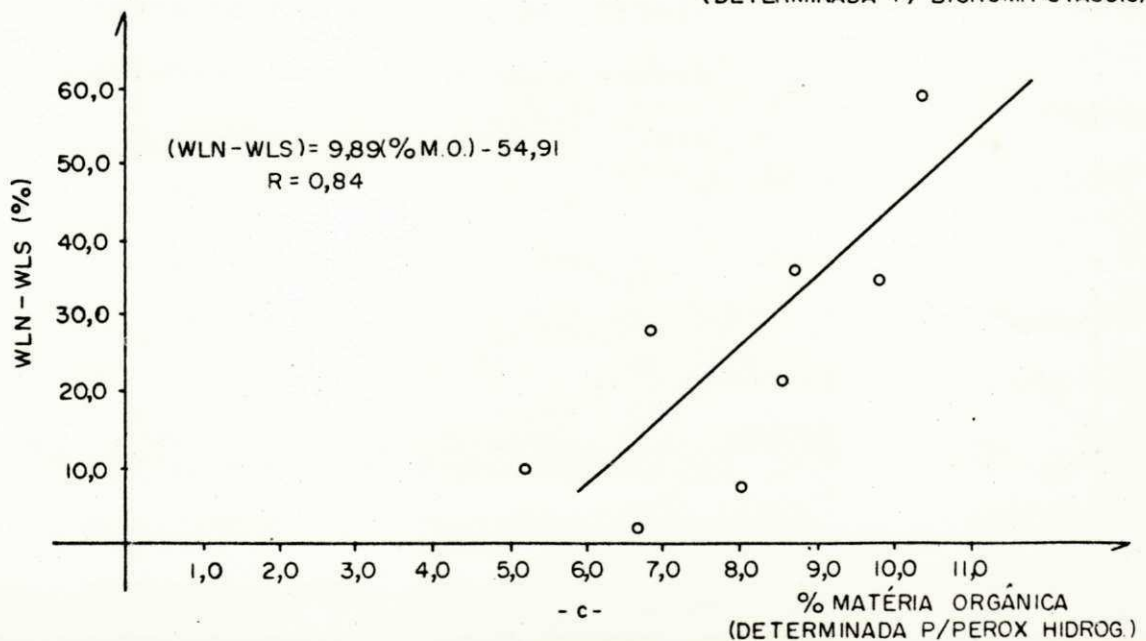
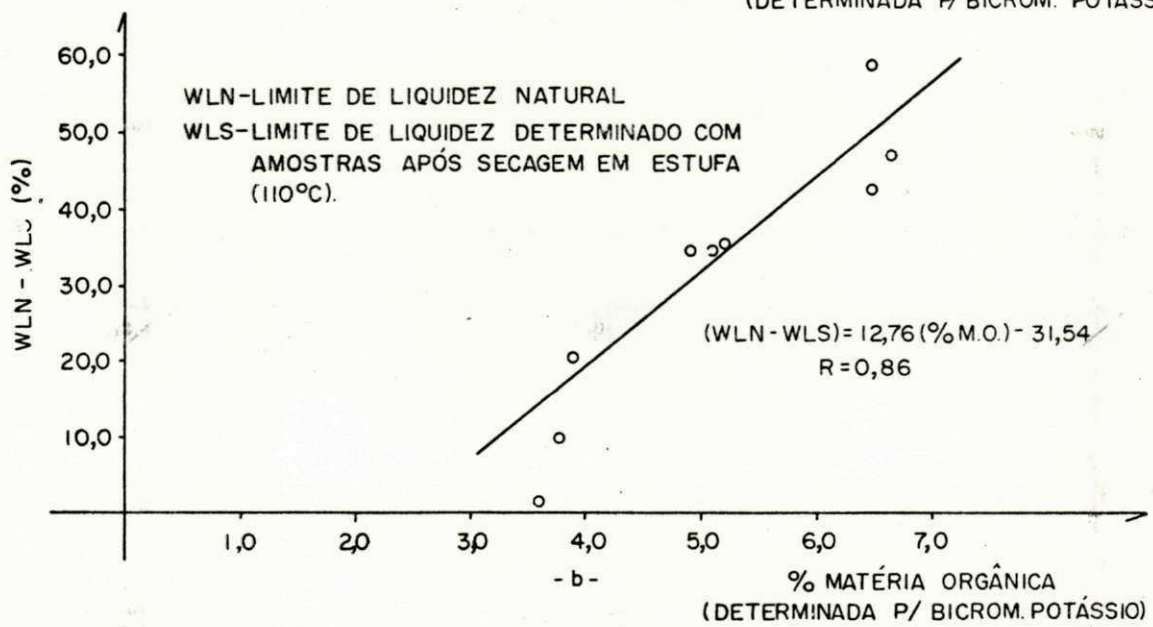
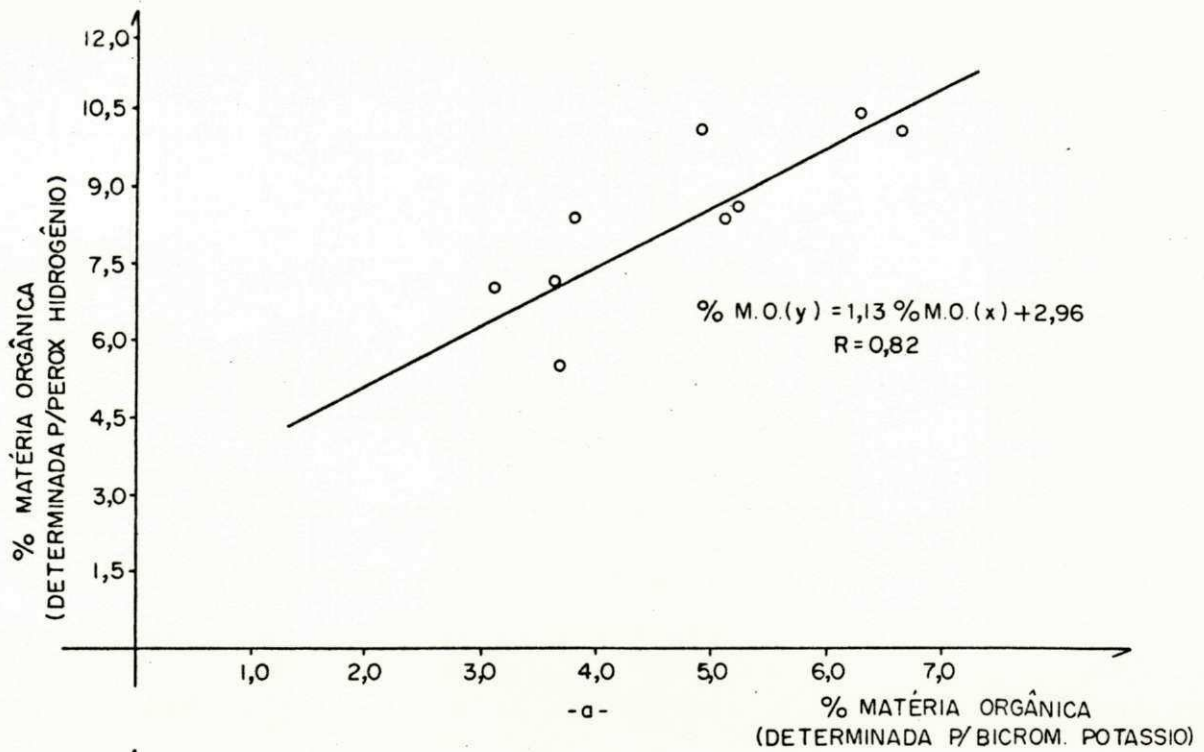


FIG. 18

CAPÍTULO 8

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste estudo, resumidamente pode-se concluir que:

8.1 - Com relação à mineralogia:

- a) o argilo-mineral predominante é a caulinita;
- b) o argilo-mineral caulinita não foi formado in situ, é provável que já estava presente nos sedimentos transportados pelos rios; sua presença na acumulação sedimentar pode ser reflexo da fonte do material e, além disso, é altamente provável que o depósito foi formado por uma rápida acumulação visto que a caulinita não teria persistido na sua forma estável num ambiente que lhe é desfavorável.

8.2 - Com relação à característica do solo:

- a) é uma argila orgânica com baixo teor de matéria orgânica;
- b) a matéria orgânica está presente na forma inativa;
- c) trata-se de uma argila plástica sendo mais plástica que suas similares, saturada e em alguns pontos com elevado teor de umidade.

8.3 - Com relação à influência da matéria orgânica:

A presença da matéria orgânica afetou os seguintes parâmetros:

- a) teor de umidade; claramente nota-se uma relação diretamente proporcional entre a percentagem de matéria orgânica e o teor de umidade;
- b) limites de Atterberg; o limite de liquidez foi mais sensível à variação do teor de matéria orgânica do que o limite de plasticidade; o índice de plasticidade, no entanto, aumenta

- quase que na mesma taxa de crescimento do limite de liquidez, com o aumento do teor de matéria orgânica;
- c) massa específica real e pH; a influência da matéria orgânica na massa específica real e pH foi insignificante;
- d) área específica; foi sensível a influência da matéria orgânica na determinação da área específica (Ss) ; os valores de Ss determinados com o solo sem matéria orgânica foram em torno de 3 vezes menores do que os valores de Ss determinados com o solo no estado natural;
- e) granulometria - a percentagem da fração tamanho argila determinada com o solo sem matéria orgânica foi menor do que a percentagem determinada com o solo no estado natural; esta diferença é aproximadamente igual ao teor médio de matéria orgânica presente no solo.

8.4 - Com relação às correlações obtidas:

As correlações são de validade limitada tendo em vista o reduzido número de ensaios realizados, no entanto, os coeficientes de correlação foram próximos de 1,0 mostrando com isto que estas correlações podem ser usadas numa estimativa preliminar de alguns parâmetros medidos. As principais correlações obtidas foram as seguintes:

- a) coesão não drenada (c) x teor de umidade (w)

$$\text{equação obtida: } c = - 0,004w + 0,641$$

$$\text{coeficiente de correlação: } R=0,72;$$

- b) percentagem de matéria orgânica (% M.O.) determinada pelo uso do bicromato de potássio (% M.O.) x teor de umidade

$$\text{equação obtida: } \% \text{ M.O.} = 0,128 + 0,064$$

$$\text{coeficiente de correlação: } R=0,94;$$

- c) percentagem de matéria orgânica x limites de liquidez (W_1)

$$\text{equação obtida: } \% \text{ M.O.} = 0,0517W_L + 0,057$$

$$\text{coeficiente de correlação: } R=0,89;$$

- d) percentagem de matéria orgânica x I_p
índice de plasticidade (I_p)
equação obtida: %M.O. = $0,057 I_p + 1,34$
coeficiente de correlação: $R=0,81$;
- e) percentagem de matéria orgânica x W_p
índice de plasticidade (W_p)
equação obtida: %M.O. = $0,105 W_p + 1,457$
coeficiente de regressão: $R=0,64$;
- f) massa específica real (G_s) x teor de
matéria orgânica
equação obtida:
 $G_s = - 0,027 (\%M.O.) + 2,733$
coeficiente de correlação: $R=0,71$.

CAPÍTULO 9

SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

O que se realizou nesta pesquisa foi o estudo de algumas propriedades físico-químicas e de engenharia de uma argila orgânica do Recife, assim, sugere-se os seguintes tópicos que poderão ser desenvolvidos em trabalhos futuros:

- 1 - estudo de outros locais do Recife, a fim de analisar-se a uniformidade da camada de argila orgânica presente na formação sedimentar da planície do Recife;
- 2 - análise da composição química da matéria orgânica para que se possa quantificar o seu grau de atividade;
- 3 - os ensaios de adensamentos realizados para esta pesquisa foram limitados e por sua vez a influência da matéria orgânica nestes ensaios

não foi analisada, por isso sugere-se que além do estudo do estado de adensamento deste solo, a influência da matéria orgânica também seja analisada;

- 4 - como se sabe a coesão, neste estudo, foi determinada através dos ensaios triaxiais não adensado não drenado (UU), no entanto, é do conhecimento geral que para solos de baixa permeabilidade a resistência a longo prazo parece ser mais importante, por isso sugere-se uma análise da resistência a longo prazo determinada pelos ensaios triaxiais adensado drenado (CD);
- 5 - sugere-se ainda estudos sistemáticos que permitam elaborar uma metodologia sobre análise de recalques originados por cargas de construções civis assente sobre este sedimento;
- 6 - o grau de isotropia de uma camada de solo natural afeta seu comportamento como material de fundação, por este fato parece de interesse a

nalizar o grau de anisotropia da argila orgânica do Recife;

- 7 - a análise e a verificação da capacidade de carga em estacas (resistência de ponta e/ou lateral) e possível ocorrência de atrito negativo.

REFERÊNCIAS

1. Adams, J. I., Radhakrishna, H.S., "Loss of strength due to sampling in a glacial lake deposit", Sampling of Soil and Rock, ASTM STP 483, American Society for Testing and Materials, pp. 109-120, (1971).
2. American Society for Testing and Materials, "Symposium on Vane Shear Testing in Norway", ASTM Spec. Tech. Pub. n° 193 (1953).
3. Arman, A., Discussion of the paper: Skempton, A. W. and Petley, D.J., "Ignition loss and other Properties of peats and clays from Avonmouth, King's Lynn and Cramberry Moss", Geotechnique 20, n° 4, 343-356, (1970), Geotechnique 24, n° 4, 418-421, (1971).
4. Arulanandan, K., Shen, C.K., and Young, R.B., "Undrained creep behaviour of a coastal organic silty clay", Geotechnique 21, n° 4, 359-375, (1971).
5. Badillo, E.J. y Rodriguez, A.R., "Fundamentos de la Mecánica de Suelos", Talleres de Offset Labrios, Mexico 1969
6. Barata, F.E., "Considerações sobre atividade coloidal das argilas e solos argilosos", Anais do V Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos, Vol. II, 223-238, (1975).
7. Bernatzik, W., Baugrund and Physik, Zurich - 1947. (Apud Wilum 60).

8. Bjerrum, L., "Theoretical and experimental investigations on the shear strength of soils", Akademisk Trykningscentral Oslo - 1954.
9. Bishop, A.W., and Henkel, D.J., "The Measurement of Soil Properties in Triaxial Test", Edward Arnold, London 1957.
10. British Standard 1377, "Methods of Testing Soils for Civil Engineering Purposes", British Standards Institution, London, (1967).
11. Cabrera, J.G., e Valdês B.S., "Propriedades de resistência das argilas orgânicas do Recife", V Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, 2^o Vol., 207-222, (1974).
12. Caquot, A., y Kerisel, J., "Traité Mécanique des Sols", Gauthier-Villars, Paris, 1966.
13. Chandler, R.J., "A Study of structural discontinuities in stiff clays using a polarising microscope", Proc. of the International Symposium on Soil Structure, Gothenburg, (1973).
14. Chen, L.S., "Stress deformation and strength characteristic of cohesionless soils", Doctor of Science Thesis, Harvard University, Dec., 1944.
15. Conlon, R.J. and Isaacs, R.M.F., "Effect of sampling and testing techniques on the shear strength of a glacial lacustrine clay from Welland, Ontario", Sampling of Soil

- and Rock, ASTM STP 483, American Society for Testing and Materials, pp. 10-29, (1971).
16. Costa, A.J., "O Subsolo do Recife" Inst. Tecnológico do Estado de Pernambuco - ITEP - Publ. nº 6, (1960).
 17. DeBerr, E.E., "The cell test", Geotechnique, nº 2, (1950).
 18. Diamond, S. and Kinter, E.B., "Surface areas of clay minerals as derived from measurement of glycerol retention", Nat. Acad. of Sciences - National Research Council, Fifth Nat. Conference on Clays and Clay Minerals, Pub. 566, (1958).
 19. Grim. R.E., "Clay Mineralogy", McGraw-Hill, New York 1953.
 - 19-a. Grim, R.E., "Applied Clay Mineralogy", McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1962.
 - 19-b. Grimshaw, R.W., "The Chemistry and Physics of Clay and other Ceramic Materials", Ernest Benn Limited, London 1971.
 20. Goldschmidt, V.M., Apud Means 31, (Physical Properties of Soils), London, Constable and Company Limited, (1964).
 21. Hendricks, S.B., "Lattice structure of clay minerals and some properties of clays", J. Geol., vol. 50, 276-290, (1942) (Apud Scott 42).
 22. Hosang, J.R. and Locker, J.G., Discussion on the paper of Skempton, A.W. and Petley, D.J., "Ignition loss and other

- properties of peats and clays from Avonmouth, King's Lynn and Cramberry Moss", *Geotechnique* 21, n° 4, 416-418, (1971).
23. Kézdi, A., "Handbook of Soil Physics", vol. 1, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam - 1974.
 24. Kinter, E.B. and Diamond, S., "Gravimetric determination of monolayer glycerol complexes of clay minerals", *National Academy of Sciences - National Research Council Fifth Nat. Conference on Clays and Clay Minerals*, Pub.566, (1958).
 25. Lambe, T.W., "Soil Testing for Engineers", Wiley, New York, 1951.
 26. Lambe, T.W. and Martin, R.T., "Composition and engineering properties of soils", *Proc. U.S. Highway Research Board*, 34, 566-582 (1955).
 27. Lambe, T.W., and Whitman, R.V., "Soil Mechanics", Wiley, New York - 1969.
 28. La Rochelle, P. and Lefbvre, G., "Sampling disturbance in champlain clays", *Sampling of Soil and Rock*, ASTM STP 483 American Society for Testing and Materials, pp. 143-163, (1971).
 29. Lo, K.Y., Seychuk, J.L. and Adams, J.I., "A study of the deformation characteristics of a stiff fissured clay", *Sampling of Soil and Rock*, ASTM STP 483, American Society for Testing and Materials, pp. 60-76, (1971).

30. Marshall, C.E., "Layer lattice and base-Exchange Clays" ,
Z. Krist, 91, 433-449, (1935) (Apud Scott 42).
31. Means, R.E., Parcher, J.V., "Physical Properties of Soils"
London, Constable and Company Limited, 1964.
32. Mello, V.F.B. e Teiseira, A.H., "Mecânica dos Solos" - Es
cola de Engenharia de São Carlos, USP, Vol. 1, Publ. n°
35 - 1960.
33. Métodos de Ensaios do Departamento Nacional de Estradas e
Rodagens - DNER - DPT M41-63.
- 33-a. Millot. G., "Relations entre la constitution et la genese
des roches sedimentaires argileuse", Geol. Appliq. et
Prosp. Min. Vol. II, Nancy France, 1942. (Appud Grim 19).
34. Milovic. D.M., "Effect of sampling on some soil characte
ristics", Sampling of Soil and Rock, ASTM STP 483, Society
for Testing and Materials, pp. 164-179 (1971).
35. Noorany, I., Poormand, I., "Effect of sampling on the con
solidation of soft clay", Soil Mechanics Research Report,
Department of Civil Engineering, School of Engineering -
San Diego State College, California (1970).
36. Piaskowski, A., "Badania nad elektroosmotycznym przepływem
wody w gruntach", I.T.B. Publ. Ser. B. Budownictwo i
Architektura, Warsaw, n° 6, (1954) (Apud Wilun 60).

37. Pusch, R., "Influence of salinity and organic matter on the formation of clay micro structure", Proc. of the International Symposium on Soil Structure, Gothenburg (1973).
38. Rutledge, P.C., "Relation of undisturbed sampling to Laboratory testing", Trans. ASCE, Vol. 109, p. 1155, (1944) (Apud Noorany 35).
39. Santini, P., Santos, P.S., Alves, V.F., "Determinação do carbono e matéria orgânica em argilas", Cerâmica 8 (30) , 46, (1962).
40. Schmertman, J.M., "The undisturbed consolidation of clay", Trans. ASCE, Vol. 120, (1955) (Apud Noorany 35).
41. Scott, C.R. "Soil Mechanics and Foundation", Mac Jaren and Sons, London, 1969.
42. Scott, R.F., "Principles of Soil Mechanics", Wesley Publishing Comp. Inc., London, 1965.
43. Seed, H.B., Woodward, R.J., Lundgren, R., "Fundamental aspects of Atterberg limits", Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, SM 6, (1964).
44. Sergeyen Y.M., Budin, D.Y., Osipov. V.I., Shibakova, V. S. "The importance of the fabric of clays in estimating their properties", Proceeding of the International Simposium on Soil Structure, Gothenburg (1973).
45. Silfveberg, L., "Influence of organic matter on differen

- tial thermal analysis of clays". A Critical Review of Existing Methods - Royal Swedish Geotechnical Institute Proceeding, nº 15, Stockholm, (1957).
46. Souza Santos, P., "Tecnologia das Argilas", Escola Politécnica da Universidade Federal da Paraíba, 1ª Vol. , 1969.
47. Souza Santos, P., e Santini, P., "Efeito da matéria orgânica em algumas propriedades de argilas plásticas para Cerâmica Branca" - Cerâmica, 14 (53), 1968.
48. Sowers, G.B. and Sowers G.F., "Introductory Soil Mechanics and Foundations", Collier Macmillan International Editions, London (1970).
49. Skempton, A.W. and Bishop, A.W., "The measurement of shear strength of soils", Geotechnique, 11, nº 2, p. 90 - 116, (1950).
- 49-a. Skempton, A.W., "The colloidal activity of clays", Proc. 3rd. Inter. Conf. Soil Mech. Found. Eng. Vol. 1, p. 57 (1953).
50. Skempton, A.W., "Discussion on the planning and design of new Hong Kong Airport", Proceedings, Institute of Civil Engineers, No. 7, pg. 306, (1957).
51. Skempton, A.W. and Petley, D.J., "Ignition loss and other properties of peats and clays from Avonmouth ,

- King's Lynn and Cramberry Moss", *Geotechnique* 20, nº 4, 343-356, 1970.
52. Taylor, D.W., "Research on the consolidation of clays" , Department of Civil and Sanitary Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Serial 82, (1942).
 53. Taylor, D.W., "Fundamentals of Soil Mechanics", John Wiley and Sons, Inc., New York - 1948.
 54. Teixeira, D.C.L., "Características geotécnicas dos depósitos de argila mole do Recife, a influência da matéria orgânica", Tese de Mestrado, COPPE - Rio, (1972).
 55. Terzaghi, K. and Peck, R.B., "Soil Mechanics in Engineering Practice", New York, John Wiley and Sons, Inc. 1948.
 56. Tschebotarioff, G.P., "Soil Mechanics Foundation and Earth Structures", McGraw-Hill, New York, 1951.
 57. Tuma, J.J. and Abel-Hady, M. "Engineering Soil Mechanics", Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1973.
 58. Verdeyen, J., Roisin V., Nuyens J., "La Mécanique des Sols", Paris, Dunod - 1958.
 59. Warlan, A.A., "Stress - strain and strength properties of soils", Doctor of Science Thesis, Harvard University , May, 1946.
 60. Wilun, Z. and Starzewski, K., "Soil Mechanics in Founda-

- tion Engineering", Vol. 1, Intertex Books, London 1972.
61. Winterkorn, H.F., "The Science of Soil Stabilization" ,
Highways Res. Board Bull. n° 108, (1955).
 62. Winterkorn, H.F. and Moorman, R.B., "A Study of changes
in physical properties of Putnam Soils induced by ionic
substitution", Proc. Highway Research Board, Vol. 21 ,
415-434 (1941) (Apud Grim 19-a).
 63. Wu, T.H., "Soil Mechanics", Allyn and Bacon Inc., Boston
1970.

APÊNDICES

Apêndice A - Quadros resumo dos resultados obtidos.

APÊNDICE A

QUADRO RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS

| SÍMBOLOS | W | I _c | γ | G _s | γ _d | n |
|------------------------------|----------------------|---------------------------|---|--|--|------------|
| Descrição Prof. média (m) | Teor de umidade % | Índice de Consistência | Massa espec. apar. natural (g/cm ³) | Massa espec. real (g/cm ³) | Massa espec. apar. seca (g/cm ³) | Porosidade |
| 11,0 | 74,08 | 0,28 | 1,537 | 2,642 | 0,883 | 0,66 |
| 12,0 | 75,09 | 0,32 | 1,530 | 2,618 | 0,874 | 0,66 |
| 13,0 | 91,42 | 0,29 | 1,448 | 2,521 | 0,756 | 0,69 |
| 14,0 | 103,49 | 0,25 | 1,428 | 2,537 | 0,702 | 0,72 |
| 15,0 | 82,69 | 0,29 | 1,570 | 2,643 | 0,860 | 0,68 |
| 16,0 | 61,37 | 0,42 | 1,595 | 2,646 | 0,988 | 0,63 |
| 17,0 | 57,60 | 0,43 | 1,654 | 2,619 | 1,069 | 0,60 |
| 18,0 | 53,27 | 0,35 | 1,637 | 2,644 | 1,068 | 0,60 |
| 19,0 | 52,74 | 0,22 | 1,594 | 2,626 | 1,043 | 0,60 |
| 20,0 | 53,53 | 0,30 | 1,646 | 2,592 | 1,072 | 0,60 |

APÊNDICE A

QUADRO RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Cont.

| SÍMBOLO | W _L | W _L ' | W _p | W _p ' | PI | PI' | L _I | % M.O. | |
|-----------------|-------------------|------------------|---------------------|------------------|---------------------|------|--------------------|---|-------------------------------|
| Descrição | Limite Liquidez % | | Lim. Plasticidade % | | Ind. Plasticidade % | | Índice de Liquidez | Perc. Mat. Org. % | |
| | Natural | Seco | Natural | Seco | Natural | Seco | | Método utilizado | |
| Prof. média (m) | | | | | | | | K ₂ Cr ₂ O ₇ | H ₂ O ₂ |
| 11,0 | 94,0 | 62,0 | 22,2 | 34,6 | 71,8 | 27,4 | 0,72 | 5,16 | 8,60 |
| 12,0 | 99,0 | 63,0 | 23,7 | 29,9 | 75,3 | 33,1 | 0,68 | 5,26 | 8,88 |
| 13,0 | 122,0 | 65,0 | 41,4 | 30,3 | 70,6 | 34,7 | 0,71 | 6,66 | 9,80 |
| 14,0 | 124,0 | 65,0 | 40,4 | 30,6 | 83,6 | 34,4 | 0,75 | 6,43 | 10,38 |
| 15,0 | 100,0 | 65,0 | 39,7 | 37,1 | 60,3 | 27,9 | 0,71 | 4,82 | 9,90 |
| 16,0 | 85,0 | 64,0 | 28,4 | 28,3 | 56,6 | 35,6 | 0,58 | 3,85 | 8,60 |
| 17,0 | 82,0 | 54,0 | 25,2 | 22,1 | 56,8 | 31,9 | 0,57 | 3,25 | 6,80 |
| 18,0 | 68,0 | 58,0 | 25,7 | 23,0 | 42,3 | 35,0 | 0,70 | 3,72 | 5,18 |
| 19,0 | 60,0 | 58,0 | 26,9 | 23,5 | 33,1 | 34,5 | 0,78 | 3,53 | 6,71 |
| 20,0 | 64,0 | 56,0 | 29,5 | 24,1 | 34,5 | 31,9 | 0,70 | 3,80 | 7,15 |

APÊNDICE A

QUADRO RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Cont.

| SÍMBOLOS | | C_u | ϕ | C_v | C_c |
|-----------------|-----|--|--------------------------|---|----------------------|
| Descrição | pH | Coesão não drenada (Kg/cm ²) | Ângulo de atrito (Graus) | Coefficiente de adensam. cm ² /s | Índice de Compressão |
| Prof. média (m) | | | | | |
| 11,0 | 7,2 | 0,25 | - | $1,0 \times 10^{-4}$ | 0,83 |
| 12,0 | 7,6 | 0,26 | 1° 10' | | |
| 13,0 | 7,6 | 0,38 | 0° 45' | | |
| 14,0 | 7,6 | 0,23 | 1° 30' | | |
| 15,0 | 7,7 | 0,27 | 3° 5' | $1,9 \times 10^{-4}$ | 0,73 |
| 16,0 | 8,3 | 0,38 | 0° 45' | | |
| 17,0 | 8,0 | 0,48 | 0° | | |
| 18,0 | 8,0 | 0,36 | 1° 54' | | |
| 19,0 | 8,0 | 0,50 | 1° 54' | | |
| 20,0 | 8,3 | 0,45 | 1° 10' | $3,9 \times 10^{-5}$ | 0,43 |

APÊNDICE A

QUADRO RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Cont.

| SÍMBOLOS | | S _s | | GRANULOMETRIA | | | | | |
|-----------|-----------------|-------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Descrição | Prof. média (m) | Área específica (m ² /g) | | % Argila | | % Silte | | % Areia | |
| | | Solo sem mat. org. | Solo com mat. org. | Solo com mat. org. | Solo sem mat. org. | Solo com mat. org. | Solo sem mat. org. | Solo com mat. org. | Solo sem mat. org. |
| | 11,0 | - | - | 42 | - | 26 | - | 32 | - |
| | 12,0 | - | - | 52 | - | 38 | - | 10 | - |
| | 13,0 | 28 | 85 | 50 | 46 | 32 | 34 | 18 | 20 |
| | 14,0 | - | - | 56 | 50 | 25 | 28 | 19 | 22 |
| | 15,0 | 29 | 83 | 40 | - | 34 | - | 26 | - |
| | 16,0 | - | 76 | - | - | - | - | - | - |
| | 17,0 | 37 | 64 | 46 | 40 | 39 | 42 | 15 | 18 |
| | 18,0 | 29 | 63 | 36 | 35 | 54 | 53 | 10 | 12 |
| | 19,0 | 35 | 71 | 42 | - | 46 | - | 12 | - |
| | 20,0 | 34 | 78 | - | - | - | - | - | - |

Apêndice B - Programa Fortran utilizado para as correlações.

APENDICE B

```

    DIMENSION X(200),Y(200),A(11,11),B(11),
1C(11),P(20),KABEC(78)
    DATA IAST/'*'/
    LEIT=2
    IMPR=3
999 FORMAT(78A1,I2)
111 READ(LEIT,999)KABEC,M
    DO 1 I=1,11
      1 C(I)=0.0
      IF(KABEC(1)-IAST)1000,1001,1000
1000 WRITE(IMPR,999)KABEC
      SOM2Y=0.0
      SOM2X=0.0
      SOMAY=0.0
      SOMAX=0.0
      PROD =0.0
      DO 11 I=1,201
        READ(LEIT,10) X(I),Y(I)
      10 FORMAT (2F10.5)
        IF(X(I)+1)120,12,120
      120 CONTINUE
        WRITE(IMPR,110) X(I),Y(I)
      110 FORMAT(10X, 'X= ',F10.5,5X, ' Y= ',F10.5)
        PROD =PROD + X(I)* Y(I)
        SOMAY=SOMAY+ Y(I)
        SOMAX=SOMAX+ X(I)
        SOM2X      =  SOM2X + X(I)**2
        SOM2Y=SOM2Y + Y(I)**2
      11 CONTINUE
      12 NUM = I - 1
        MX2 = M * 2
        BX=PROD/SOM2X
        PRUDE = SOMAY * SOMAX
        NPONT = NUM
        XNOME = NPONT* PROD - PRUDE
        DENOM = SQRT((NPONT*SOM2X - SOMAX**2)*(
1NPONT* SOM2Y - SOMAY**2))
        R=ABS(XNOME/ DENOM)
        DO 13 I = 1,MX2
          P(I) = 0.0
          DO 13 J = 1,NUM
            13 P(I) = P(I) + X(J)**I
          N=M+1
          DO 30 I = 1,N
            DO 30 J = 1,N
              K = I + J-2
              IF(K)29,29,28
            28 A(I,J) = P(K)
            GO TO 30
          29 A(1,1) = NUM

```

```

30 CONTINUE
  B(1) = 0.0
  DO 21 J=1,NUM
    B(1) = B(1) + Y(J)
21 CONTINUE
  DO 22 I = 2,N
    B(I) = 0.0
    DO 22 J = 1,NUM
22 B(I) = B(I) + Y(J) * X(J)**(I-1)
    NM1 = N-1
    DO 300 K = 1,NM1
      KP1 = K+1
      L = K
      DO 400 I = KP1,N
        IF(ABS(AI,K)) - ABS(A(L,K))) 400,400,401
401 L = I
400 CONTINUE
      IF(L-K) 500,500,405
405 DO 410 J = K,N
      TEMP = A(K,J)
      A(K,J) = A(L,J)
410 A(L,J) = TEMP
      TEMP = B(K)
      B(K) = B(L)
      B(L) = TEMP
500 DO 300 I = KP1,N
      FATOR = A(I,K) / A(K,K)
      A(I,K) = 0.0
      DO 301 J = KP1,N
301 A(I,J) = A(I,J) - FATOR * A(K,J)
300 B(I) = B(I) - FATOR * B(K)
      C(N) = B(N) / A(N,N)
      I = NM1
710 IP1 = I + 1
      SUM = 0.
      DO 700 J = IP1,N
700 SUM = SUM + A(I,J) * C(J)
      C(I) = (B(I) - SUM) / A(I,I)
      I = I-1
      IF(I)800,800,710
800 DO 900 I = 1,N
      WRITE(IMPR, 901) I,C(I)
901 FORMAT(10X, 'A',I2,'=',F15.7)
900 CONTINUE
      WRITE(IMPR,2002) C(11),C(10),C(9),C(8),
1C(7),C(6),C(5),C(4),C(3),C(2),C(1)
2002 FORMAT(10X,'Y=',F10.5,'X10 + ',
1F10.5,'X9 + ',F10.5,'X8 + ',/,13X,
1F10.5,'X7 + ',F10.5,'X6 + ',F10.5,
1'X5 + ',/,13X,F10.5,'X4 + ',F10.5,
1'X3 + ',F10.5,'X2 + ',/,13X,
1F10.5,'X + ',F10.5)
      WRITE(IMPR,1122) R,BX
1122 FORMAT(10X, 'R=',F10.5,8X,'B=',F10.5,/)
      GO TO 111
1001 CALL EXIT
      END

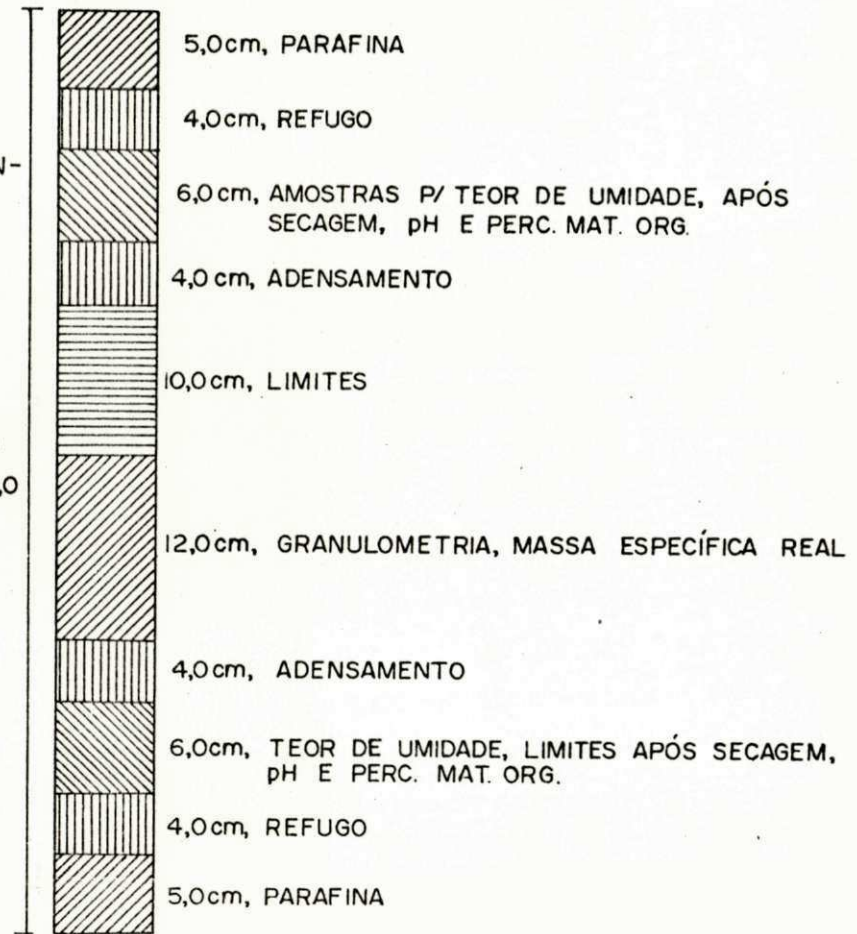
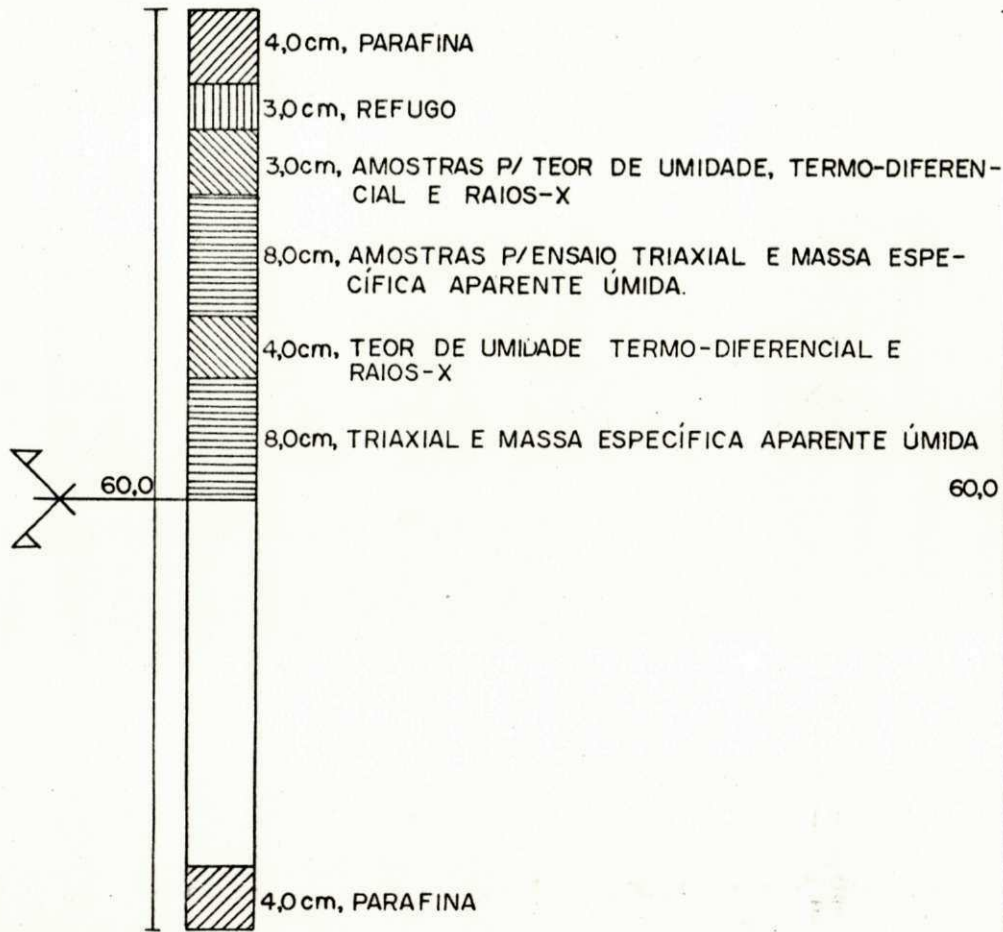
```

Apêndice C - Procedimento para abertura dos sheldies e
seleção das amostras para os diversos en
saio.

APÊNDICE C

SHELBY { DIÂMETRO EXTERNO 4,23 cm
DIÂMETRO INTERNO 5,00 cm

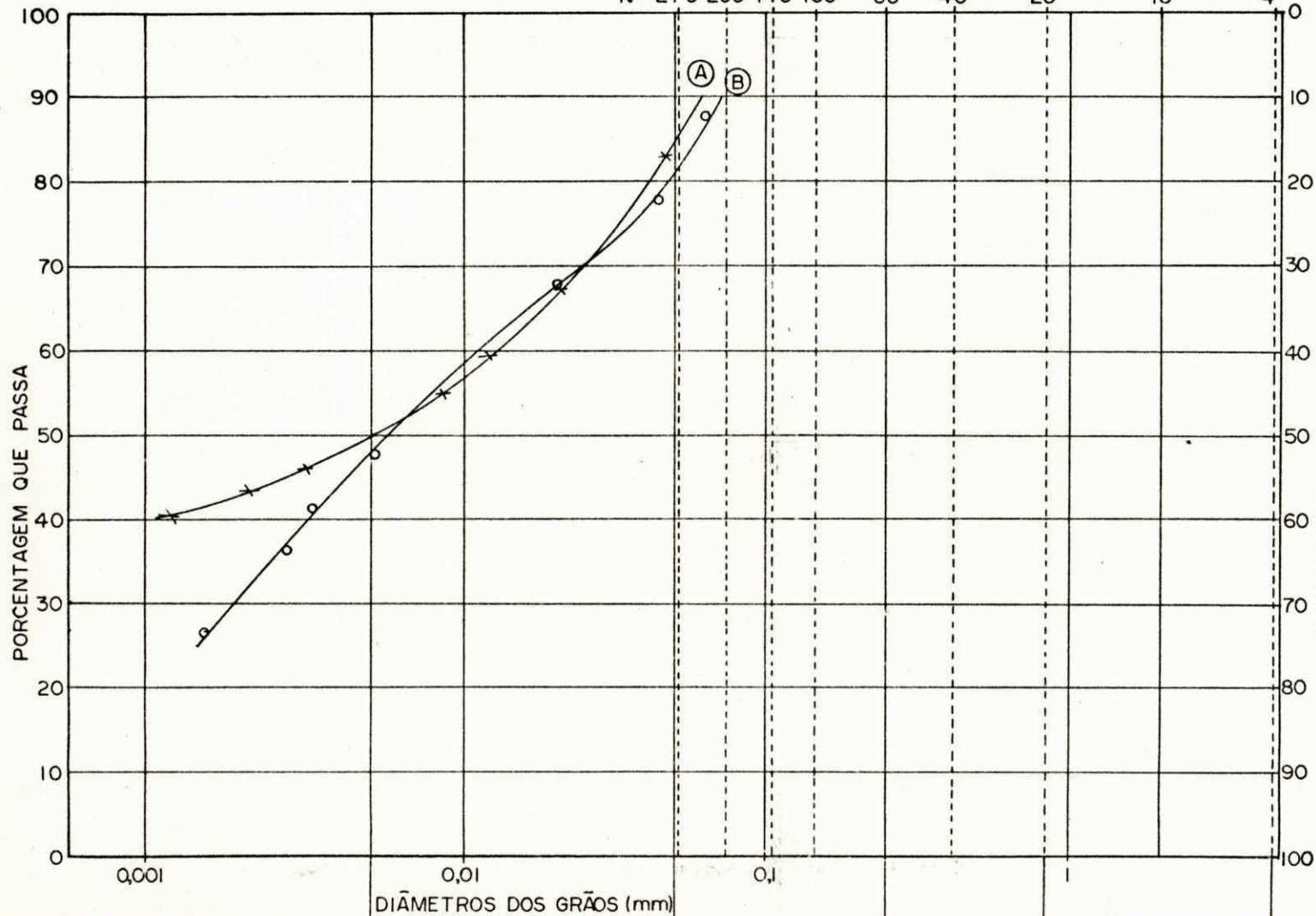
SHELBY { DIÂMETRO EXTERNO 6,24 cm
DIÂMETRO INTERNO 5,95 cm



Apêndice D - Curvas típicas das análises granulométricas.

GRANULOMETRIA PENEIRAS (ASTM)

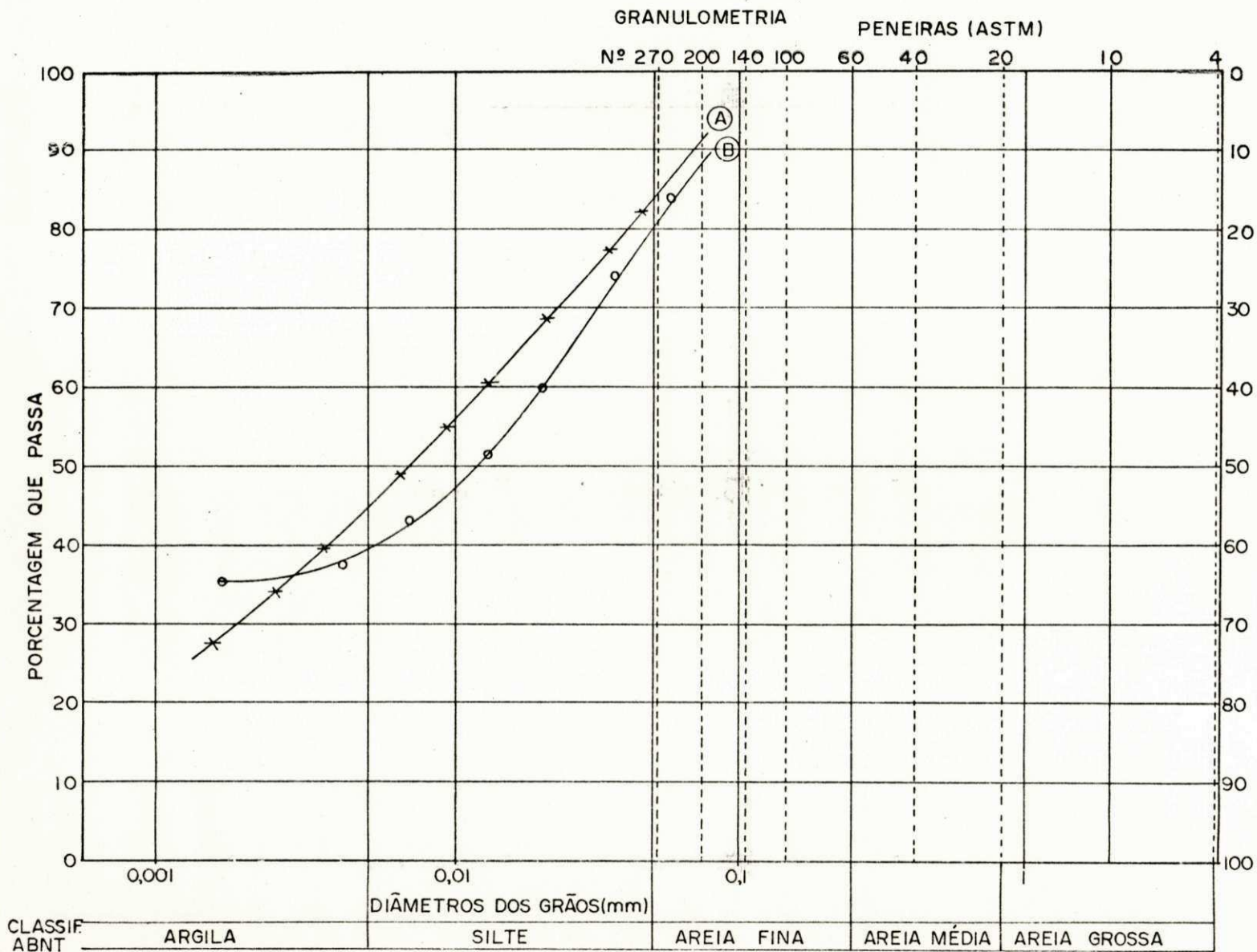
Nº 270 200 140 100 60 40 20 10 4 0



APÊNDICE D

- (A) CURVA REF. PROF. MEDIA DE x 13m AMOSTRA COM MATÉRIA ORGÂNICA.
- (B) CURVA REF. PROF. MEDIA DE o 13m AMOSTRA SEM MATÉRIA ORGÂNICA.

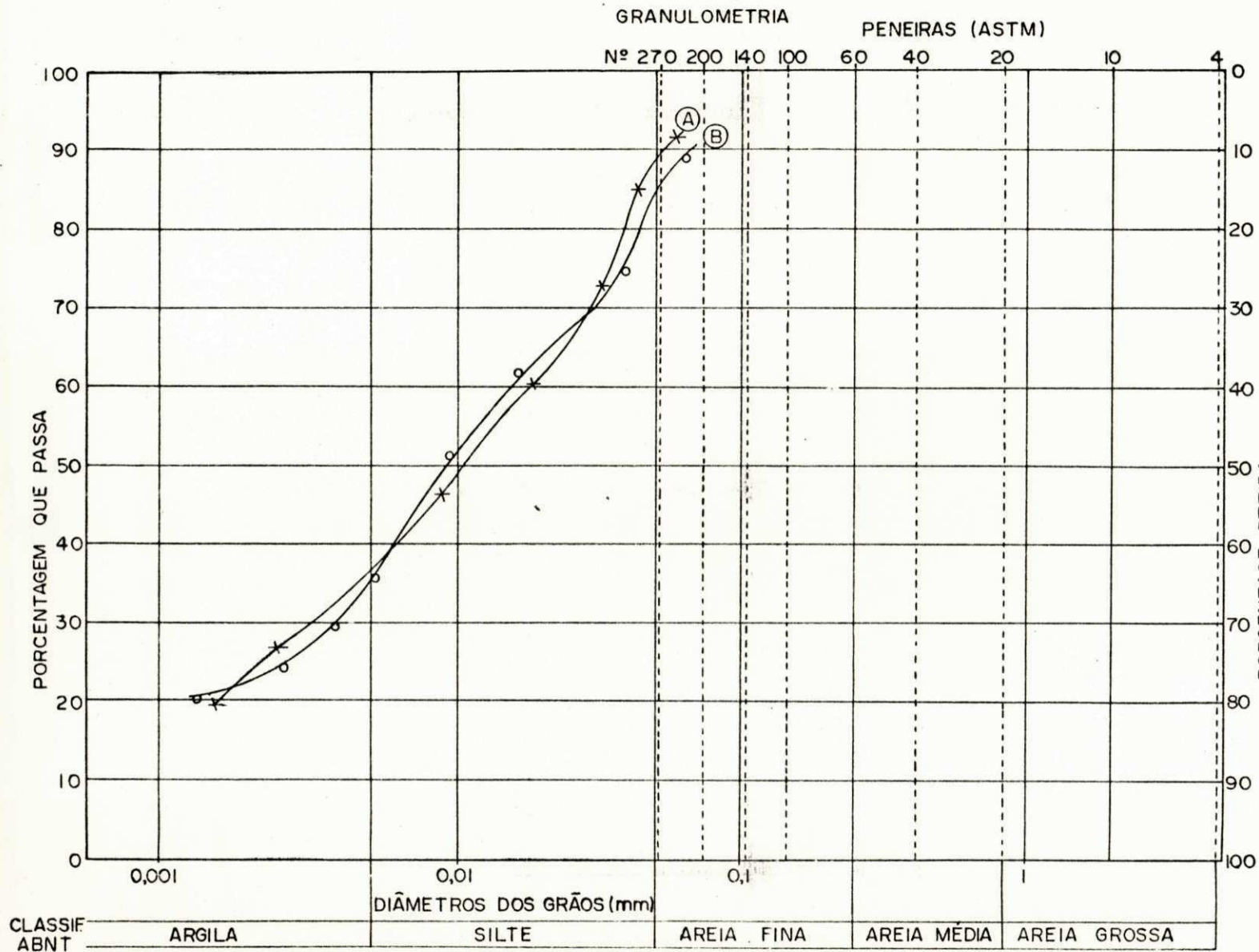
CLASSIF. ABNT ARGILA SILTE AREIA FINA AREIA MÉDIA AREIA GROSSA



APÊNDICE D (Cont.)

(A) CURVA REF. PROF. MÉDIA DE x 17m AMOSTRA COM MATÉRIA ORGÂNICA

(B) CURVA REF. PROF. MÉDIA DE o 17m AMOSTRA SEM MATÉRIA ORGÂNICA

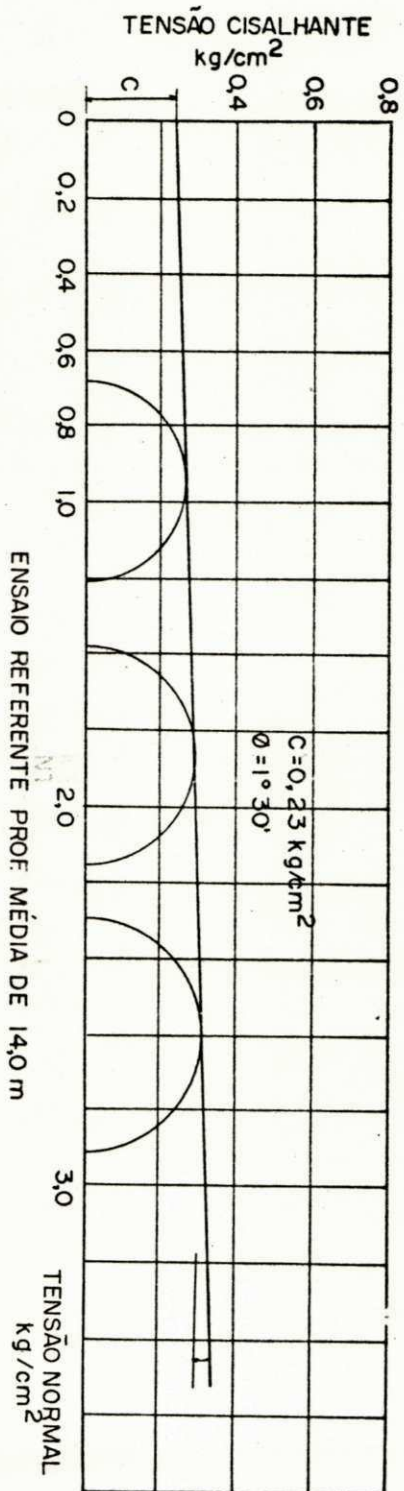
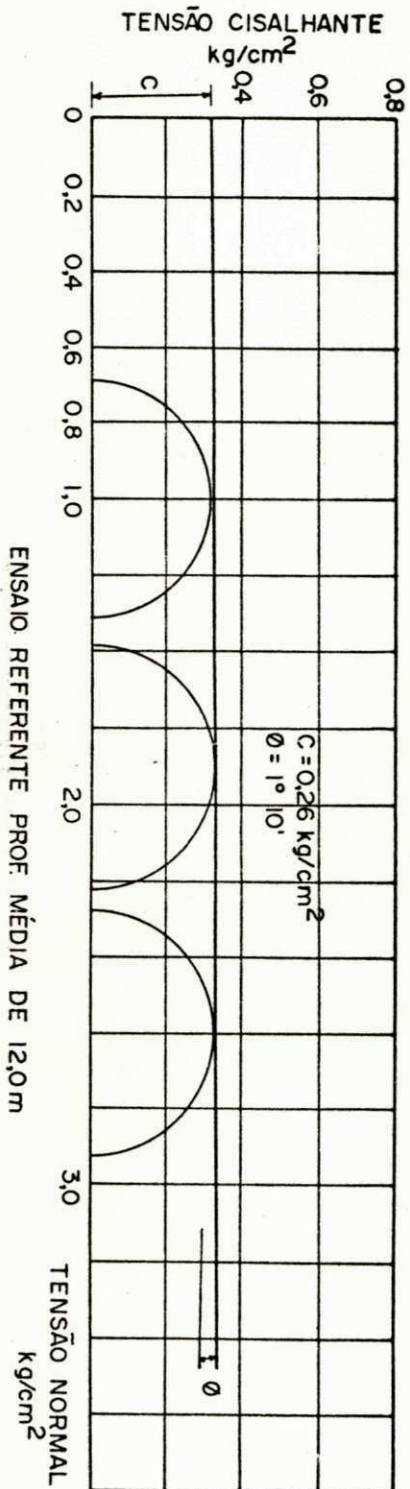


APÊNDICE D (Cont.)

- (A) CURVA REF. PROF. MÉDIA DE x 18m AMOSTRA COM MATÉRIA ORGÂNICA
- (B) CURVA REF. PROF. MÉDIA DE o 18m AMOSTRA SEM MATÉRIA ORGÂNICA

Apêndice E - Círculos de Mohr e envoltórias obtidas com amostras de diversas profundidades.

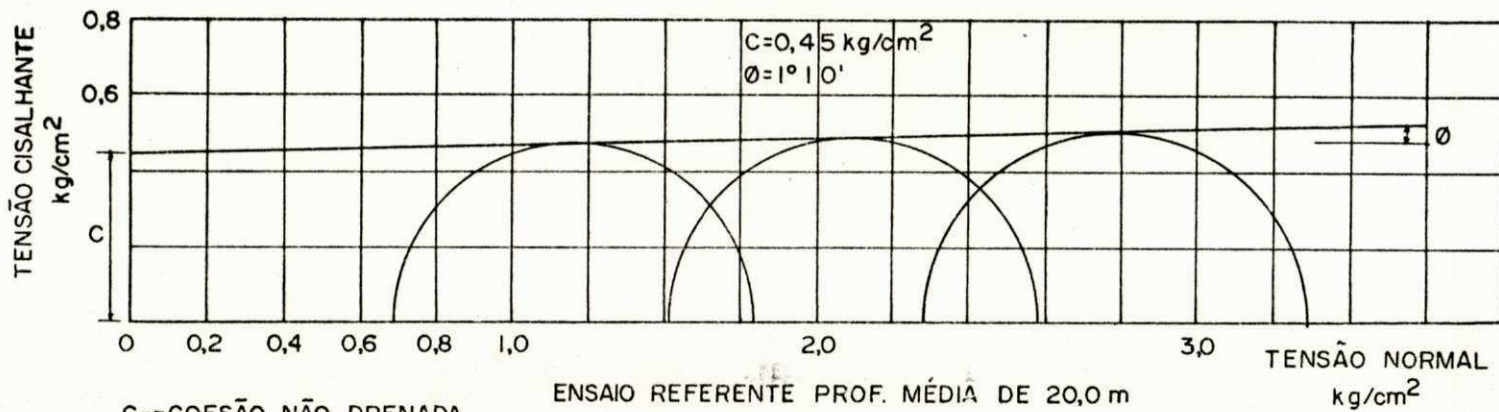
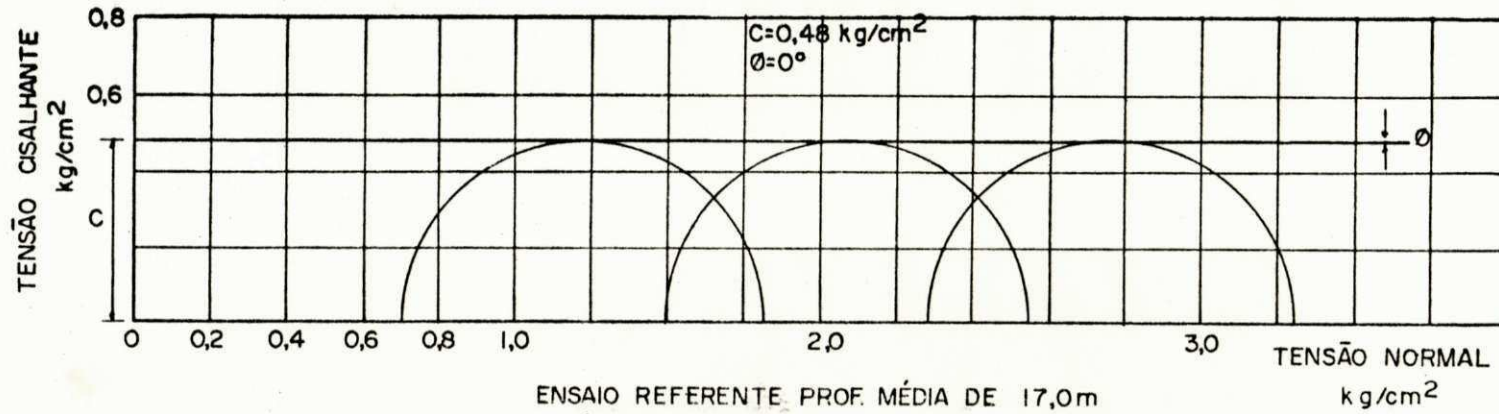
APÊNDICE E



C → COESÃO NÃO DRENADA
φ → ANG. ATRITO INTERNO

Cont.

APÊNDICE E



C → COESÃO NÃO DRENADA

φ → ANG. ATRITO INTERNO