

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA ENERGIA E DO REUSO DE AMOSTRAS NA
COMPACTAÇÃO EM SOLO SAPROLÍTICO DE FILITO.**

Antônio César da Costa Santos

**Dissertação apresentada ao Centro de Ciências
e Tecnologia, da Universidade Federal de
Campina Grande - PB, para obtenção de título
de Mestre em Engenharia Civil.**

Orientadores :

Prof. Dr. Wilson Conciani

Prof. PhD. João Batista Queiroz de Carvalho

Campina Grande, PB

2003



S237e Santos, Antonio Cezar da Costa
Estudo da influencia da energia e do reuso de amostras na compactacao em solo saprolitico de filito / Antonio Cezar da Costa Santos. - Campina Grande, 2003.
78 f.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciencias e Tecnologia.

1. Solo Residual 2. Compactacao 3. Solo Tropical 4. Solo Expansivo 5. Dissertacao I. Conciani, Wilson II. Carvalho, Joao Batista Queiroz de III. Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande (PB) IV. Título

CDU 624.13(043)

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA ENERGIA E DO REUSO DE AMOSTRAS NA
COMPACTAÇÃO EM SOLO SAPROLÍTICO DE FILITO.**

Antônio César da Costa Santos

DISSERTAÇÃO APROVADA POR:



Prof. Dr. Wilson Conciani

Orientador



Prof. PhD. João B. Q. Carvalho

Orientador



Prof. Dr. John Kennedy G. Rodriguez

Examinador interno



Prof. Dr. Heber Carlos Ferreira

Examinador externo

CAMPINA GRANDE – PB

JANEIRO DE 2003

DEDICATÓRIA

Aos neófitos que estudarem no Centro Federal de Educação Tecnológica de Mato Grosso, na busca de conhecimentos e burilamento de caráter na construção do Ser holístico.

AGRADECIMENTO

Agradeço ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Mato Grosso, na pessoa do Prof. Dr. WILSON CONCIANI pela intrepidez da organização deste Curso de Mestrado junto a Universidade Federal de Campina Grande.

SUMÁRIO

1.0. Introdução	1
1.1. Objetivos	2
2.0. Revisão bibliográfica	3
2.1. Algumas considerações de Geologia no Brasil	3
2.2. Considerações sobre solo saprolítico.....	7
2.3. Compactação de solo.....	22
2.3.1. Métodos alternativos de compactação.....	24
2.3.2. Curvas irregulares e dispersões dos pontos.....	25
2.3.3. Efeito da umidade e energia aplicada na curva de compactação.....	26
2.3.4. Arranjo dos grãos em função da energia de compactação e umidade.....	28
3.0. Materiais e métodos.....	30
3.1. Localização da área de estudo.....	30
3.2. Clima.....	30
3.3. Geologia.....	31

3.4.	Solo usado nos ensaios.....	33
3.5.	Sondagens a percussão – S.P.T.	36
3.6.	Ensaio de compactação.....	37
3.7	Ensaio de análise granulométrica.....	39
3.8	Determinação dos limites de Atterberg	41
3.9.	Ensaio edométrico.....	41
4.0.	Apresentação e interpretação dos resultados.....	42
4.1.	Compactação sem reuso de material.....	42
4.1.1.	Compactação com energia normal.....	42
4.1.2.	Compactação com energia intermediária.....	43
4.1.3.	Compactação com energia modificada.....	44
4.1.4.	Compactação com energia extra	45
4.1.5.	Apresentação conjunta das curvas de compactações sem reuso da amostra	46
4.2.	Compactação com reuso de material	49
4.2.1.	Compactação com energia normal com reuso da mistura dos materiais usados nos ensaios padronizados	49

4.2.2. Compactação com energia normal e reuso de material do ensaio extra (40/5).....	50
4.2.3. Apresentação conjunta das compactações com energia normal e reuso de amostra.....	51
4.3. Comparação dos ensaios com e sem reuso	53
4.4. Verificação da expansão	55
4.4.1. Solo compactado com energia normal sem reuso	55
4.4.2. Solo compactado com energia extra sem reuso.....	56
4.5. Comparação da expansão entre as duas amostras	56
4.6. Compressibilidade	57
4.6.1. Ensaio de compressão edométrica para uma amostra compactada com energia normal e umidade de 8,46 %	57
4.6.2. Curva de compressão edométrica para uma amostra compactada com energia normal e umidade de 3,77%.	58
4.6.3. Curva de compressão edométrica para uma amostra compactada com energia extra (40/5) e umidade de 14,38 %	59
4.6.4. Apresentação conjunta das curvas de compressibilidade	60

4.6.5. Curva de compressão edométrica para uma amostra compactada com energia normal e umidade de 3,77 %, submetida a uma pressão constante de 49,44 kPa e variando a pressão de sucção.	61
4.6.6 Curva de compressão edométrica para uma amostra compactada com energia extra e umidade de 7,93 %, submetida a uma pressão constante de 49,44 kPa e variando a pressão de sucção.....	62
5.0. Considerações finais	63
5.1. Sugestões para pesquisas futuras	64
Referências bibliográficas	65
Apêndice A	70
Apêndice B	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Distribuição das faixas de dobramentos brasilianas e as bacias sedimentares (MIGLIORINI,1999).....	5
Figura 2.2 -Faixa de dobramentos Paraguai (MIGLIORINI,1999).	6
Figura 2.3- Filitos sericíticos da formação Miguel sutil (MIGLIORINI,1999). ..	7
Figura 2.4- Estruturação dos regolitos sobre regime equatorial gerando latossolos (a) e sazonal, gerando perfis lateríticos (b). (modificado de NAHON, 1991) <i>apud</i> Porto, 1996).	9
Figura 2.5 - Fissura presente na base do fuste de um tubulão, (CONCIANI,2002).	11
Figura 2.6 - Solo saprolítico de filito, com macrocristais de sericita IPT (1975, 1977 e 1979) <i>apud</i> Nogami & Villibor (1995).	14
Figura 2.7 -Classificação da plasticidade e atividade de argila, Vargas (1987)	17
Figura 2.8 - Curvas de compressão para rocha alterada, (FUTAI,1998).	18
Figura 2.9 - Curvas de compressão para solo saprolítico, (FUTAI, 1998).	18
Figura 2.10 - Correlação entre compressibilidade e índice de alteração, (FUTAI <i>et al.</i> , 1998).	19
Figura 2.11 -Correlação entre ângulo de atrito e índice de alteração, (FUTAI <i>et al.</i> , 1998)	20

Figura 2.12 - Variação do ângulo de atrito e intercepto de coesão com o índice de vazios, (FUTAI ,1998).	21
Figura 2.13 -Teoria de Hogentogler, <i>apud</i> Araújo (1996).	24
Figura 2.14- Efeito da umidade e energia de compactação na curva de compactação, (CARVALHO, 1997).	27
Figura 2.15 -Arranjo dos grãos na compactação, (LAMBE & WHITMAN, 1969).	28
Figura 3.1 - Perfil de solo sedimentar residual. (CONCIANI, 2002).	33
Figura 3.2 - Perfil do solo residual. (CONCIANI,2002).....	34
Figura 3.3 - Vista parcial de fragmentos de saprolitos expostos às Intempéries evidenciado.(CONCIANI, 2002)	35
Figura 3.4 - Imagem com identificação de transição entre três tipos de saprolitos.: 1- intemperismo de meta-arenito ; 2- intemperismo de filito. (CONCIANI, 2002)	36
Figura 3.5- Ensaio de SPT (variação do N_{spt} ao longo da profundidade), (CONCIANI,2002).	37
Figura 3.6- Posicionamento da amostra natural no ábaco de Casagrande, modificado por Vargas (1985)	40
Figura 4.1- Curva de compactação com energia normal sem reuso.	
Figura 4.2 -Curva de compactação com energia intermediária sem reuso.	44
Figura 4.3 - Curva de compactação com energia modificada sem reuso.	45

Figura 4.4-Curva de compactação com energia extra de 40 golpes e 5 camadas sem reuso.	46
Figura 4.5- Curvas Compactações conjuntas sem reuso.	48
Figura 4.6-Curva de compactação com energia normal e reuso da mistura dos materiais dos ensaios padronizados	50
Figura 4.7-Curva de compactação com energia normal e reuso de material do ensaio extra (40/5).	51
Figura 4.8 -Curvas de compactação conjuntas dos ensaios com reuso de amostras.	52
Figura 4.9 – Curvas de compactação com energia normal com e sem reuso....	55
Figura 4.10 - Curva de compressão edométrica usando amostra compactada com energia normal e umidade de 8,46 %.	57
Figura 4.11- Curva de compressão edométrica, energia normal e umidade de 3,77 %.	58
Figura 4.12. Curva de compressão edométrica, energia extra (40/5) e umidade de 14,38 %.	59
Figura 4.13- Curvas conjuntas de compressão edométrica. E.N.=energia normal, E.E.=energia extra	60
Figura 4.14. Curva de compressão, energia normal e umidade de 3,77 % com variação de sucção.	61
Figura 4.15. Curva de compressão edométrica, energia extra (40/5), umidade de 7,93% com variação de sucção.....	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Resultados de ensaios de granulometria com diferentes tempos em solução e dispersão mecânica,(FUTAI ,1998).	15
Quadro 3.1 - Ensaios realizados.	38
Quadro 3.2 - distribuição granulométrica do solo.....	40
Quadro 4.1- Máxima massa específica aparente seca e umidades dos ensaios sem reuso.	47
Quadro 4.2- Máxima massa específica aparente seca e umidade ótima com energia normal e reuso.	53
Quadro 4.3- Máxima massa específica aparente seca e a umidade ótima dos ensaios com energia normal sem reuso e com reuso.	54
Quadro 4.4- Expansão e absorção de água entre as duas amostras	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABGE – Associação Brasileira de Geologia e Engenharia

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

LISTA DE SÍMBOLOS

- W** – Umidade %
- W_{ot}** – Umidade ótima
- λ** – Índice de compressão (reta virgem)
- e_o** – Índice de vazios inicial
- I_w** – Índice de alteração
- Φ'** – Ângulo de atrito
- c** – Coesão
- ρ_d** – Massa específica aparente seca
- ρ_{dmx}** – Massa específica aparente seca máxima
- S_r** – Grau de saturação
- γ_d** – Peso específico aparente seco
- IR** – Índice de resistência
- IR_o** – Índice de resistência na condição ótima
- WL** - Limite de liquidez
- WP** – Limite de plasticidade
- Op.** – Operador
- CTC** – Capacidade de troca catiônica
- E.N.** – Energia Normal
- E.E.** – Energia extra
- Ma** – Milhões de anos

RESUMO

Aimeja-se compreender o comportamento do solo saprolítico da rocha de filito quando compactado. Para tanto, empregou-se amostras do solo da cidade de Cuiabá e seu entorno no Estado de Mato Grosso. A cidade de Cuiabá esta localizada em uma depressão que dá início a bacia sedimentar do Pantanal. Essa área é constituída por rochas metamórficas do Grupo Cuiabá. Esse Grupo é formado principalmente pelas rochas de Filito e Metarenitos. As amostras de solo para este trabalho foram coletadas na obra da Justiça Federal, situada na região norte de Cuiabá próximo ao topo de uma colina, onde o saprolítico se encontrava em vários estágios de intemperismo, sendo coletado o material de coloração amarelada. Os ensaios de compactação foram realizados com quatro níveis de energia. Nessa pesquisa o solo empregado estava na condição de umidade higroscópica seca ao ar e manualmente destorroada. Um segundo grupo de ensaios foi executado com amostras já utilizadas na primeira série. Como resultado preliminar deste estudo, constatou-se que as curvas de compactação podem ter vários aspectos diferentes dos padrões normalmente conhecidos. O solo degradado com aplicações sucessivas de diferentes esforços e depois sendo ensaiado com uma mesma energia pode não gerar a mesma curva de compactação, necessitando estudos quanto a sua estabilização para aplicações em obras de engenharia. Observa-se que com o aumento da degradação do solo, em função dos esforços, a massa específica aparente seca pode diminuir e aumentaram a expansão e a compressibilidade.

Palavras-chave: solo saprolítico, compactação, solo expansivo.

ABSTRACT

The aim of this study is to understand the behavior of the phyllite rock's saprolite soil when compacted. In order to do this, samples of the soil from the city of Cuiabá and its surroundings in the state of Mato Grosso were used. Cuiabá is situated in a depression that is the beginning of the sedimentary basin of the Pantanal. This area is constituted by metamorphic rocks of the Cuiabá Group. This Group is formed mainly by Phyllite and Metasandstone. The soil samples for this study were collected at the site of the construction of the Federal Justice building, at the north of Cuiabá near the top of a hill where the saprolite was in several stages due to weather conditions. The collected material had yellowish coloring. The compression tests were done with four levels of energy. In this study the soil used was in a state of dry hygroscopic humidity in air and was manually broken up in clumps. A second group of tests was done with samples used in the first series. As a preliminary result of this study it was observed that the curves of compaction can have several aspects different from the known pattern. The degraded soil with successive applications of different efforts that is tested with the same energy may not generate the same compacting curve. Studies on stability for applications in engineering are necessary. It was observed that with the increase in soil degradation, due to efforts, the specific mass that is apparently dry may diminish increasing expansion and compressibility.

Key-words: saprolitic soil, compactation test, swelling soil.

1.0. INTRODUÇÃO

Em conferência sobre mecânica dos solos e engenharia de fundações, realizada em Cambridge no ano de 1936, Terzaghi asseverou:

“ Um trabalho bem sucedido em Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações exige não só uma fundamentação minuciosa na teoria, combinada a uma vigilância para com possíveis fontes de erro, mas também um acúmulo de observações e de medições no campo. ”

Assim, a engenharia geotécnica possui uma convívial e permanente relação com os estudos para conhecer e controlar o equacionamento do comportamento dos solos, sujeitos a interação nas ações antrópicas.

O ser humano, na busca do conforto, carece de intervir no meio físico para a realização de suas obras, adequando o solo para fundações, aterros e barragens. Deve-se conhecer o solo e suas propriedades antes de serem aplicados para evitar insucessos onerosos e catastróficos, fato que foi melhor desenvolvido nos países de clima temperado, onde a mecânica dos solos foi iniciada e é pesquisada exaustivamente. Quanto ao domínio dos solos tropicais em relação ao seu uso pela engenharia é muito recente, necessitando de perseverar em constantes trabalhos de pesquisas para se ter segurança, economicidade e convicção quanto aos resultados das obras de engenharia.

No Estado de Santa Catarina, segundo Trichês & Valle (1995 a), onde o solo saprolítico de granito e gnaissé existe em grande quantidade, e sendo utilizado como reforço de subleito e sub-base em pavimentos, apresenta por vezes comportamento não esperado, diminuindo a vida útil da obra com surgimento de trincas no revestimento. Em outro artigo, Trichês & Valle (1995 b) relata que se for exeqüível o uso desses solos e economicamente viáveis, estudos do comportamento resiliente, degradação granulométrica e umidade de compactação e recompactações deverão ser pesquisados em cada situação.

Em função do custo do transporte e estabilização da matéria prima de jazidas para reforço de subleito, sub-base e base, a estabilização química do solo local deve ser uma das análises de alternativas, (DAMA & MIRANDA, 1995).

No solo saprolítico pode haver várias discontinuidades com risco de grande movimento de massa, provocando catástrofes onerosas para a sociedade.

Fraturas, falhas, descontinuidades hidráulicas e transição entre camadas de manto coluvial e o solo saprolítico são também geradoras desses fenômenos, (FERNANDES & AMARAL, 1966).

Desde muito tempo o uso ou a presença desses solos têm sido evitados em obras geotécnicas da região. A ocorrência desses solos têm favorecido o crescimento do volume de substituição de solos em leitos de estradas e outras vias pavimentadas. Por outro lado, a não substituição expõe a obra ao risco de degradação pela ocorrência dos chamados "borrachudos".

O conhecimento desses solos é pois, imprescindível para algumas regiões, em Cuiabá, capital do Estado de Mato Grosso, há grande predominância de filito e como rocha intemperizada produz um solo saprolítico, usado como aterro e pouco conhecido quanto ao seu comportamento referente a compactação.

1.1. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é contribuir para o entendimento do comportamento dos solos saprolíticos de filito quando empregados como material de construção. Pretende-se alcançar os seguintes objetivos específicos:

- a-** verificar a influência do emprego de amostras no estado natural ou submetidas a vários esforços nos ensaios de compactação;
- b-** Verificar o formato da curva de compactação;
- c-** verificar a influência da energia de compactação na compressibilidade e expansão do solo.

2.0. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. ALGUMAS CONSIDERAÇÕES DE GEOLOGIA NO BRASIL

Os processos tectônicos que atuaram na crosta terrestre desde os tempos do Arqueano no Pré-Cambriano, constituíram o mapa geológico do Brasil de uma grande variedade de rochas distribuídas geograficamente por toda área do país. Para a realização de qualquer obra construtiva, a geologia de engenharia procura conhecer as relações com a gênese geológica local (BARTORELLI & HARALYI, 1998).

Os planaltos brasileiros são formados por conjuntos de rochas antigas de idade Pré-Paleózoica. A sua formação deve ter ocorrido nas eras Proterozóica e Arqueozóica aproximadamente há um bilhão de anos. Grande parte destas formações estão hoje recobertas por camadas de rochas cujas formações são mais recentes. As rochas do Pré-Cambriano, na era Proterozóica, (mais de 700 milhões de anos) foram erodidas dando origem aos sedimentos que se acumularam em regiões de mares rasos, formando as bacias da Amazônia, Meio-Norte, Paraná e São Francisco. Movimentos posteriores da crosta terrestre reergueram esses sedimentos donde se formaram os chapadões, chapadas e escarpas de cuevas.

Na era Mesozóica (entre 150 a 200 milhões de anos), com os movimentos tectônicos, os blocos de escudos cristalinos do sul do Brasil movimentaram-se produzindo fraturas pelas quais subiram grande quantidade de materiais em fusão. Esse fenômeno deu origem ao maior depósito de rochas basálticas do planeta. Essa atividade vulcânica foi diminuindo ainda na era Mesozóica, mas as últimas erupções terminaram na era Cenozóica no período terciário (há 75 milhões de anos). Nesse mesmo período, pelos movimentos tectônicos originaram as grandes altitudes (serras e cordilheiras) cujas áreas do Brasil não foram atingidas. Aproximadamente 7,3% do território brasileiro está acima de 800 m de altitude e 41% está inferior a 200 m de altitude. Essas últimas são as planícies aluvionares. O relevo atual do Brasil teria sido consolidado no período Cretáceo da era Mesozóica, a 140 milhões de anos.

A distribuição das diferentes unidades rochosas no Brasil são caracterizadas pela existência de duas grandes províncias geotectônicas identificadas como embasamento cristalino ou Pré-Cambriano e as bacias sedimentares constituem

50% do território brasileiro. Nessas duas províncias, as variedades litológicas estão classificadas de acordo com a nomenclatura geológica, em grupos e formações com os nomes dos locais ou acidentes geográficos, (BARTORELLI & HARALYI, 1998).

De acordo com Popp (1999), o embasamento cristalino é formado pelas rochas que passaram por dobramentos e metamorfismos antes da sedimentação das formações Trombetas na bacia Amazônica, Serra Grande na bacia do Maranhão e Furnas na bacia do Paraná. Esses processos contém rochas de 450 milhões de anos (fim do Ordoviciano) até aquelas com mais de 3 bilhões de anos (Arqueano). As principais bacias sedimentares intracratônicas brasileiras são as do Paraná, Amazonas e Parnaíba que registram a história dos acontecimentos geológicos das eras Paleozóico ao Cenozóico.

As estruturas dobradas nas regiões da Província Serrana e Baixada Cuiabana foram designadas por Geossinclíneo Paraguai, incluindo as três zonas estruturais que a compõem e são identificadas como: Zona da Baixada do Alto Paraguai, Província Serrana e Baixada Cuiabana. A geotectônica do centro-oeste, na seqüência de estudos, foi definida como uma entidade tectônica brasileira, que se estende em direção ao Baixo Tocantins e Araguaia, denominando-a de faixa de dobramento Paraguai-Araguaia. A Figura 2.1 mostra o cinturão de dobramento Paraguai que evoluiu no Proterozóico Superior (ciclo brasileiro de 800 Ma a 560 Ma) as margens do Cráton Amazônico estabilizado no Proterozóico Médio em torno de 900 Ma, (MIGLIORINI, 1999)

Na Figura 2.2 tem-se a faixa móvel Paraguai que se estende do Paraguai aos Estados de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás, tendo mais de 1500 Km, recoberto em grande parte por sedimentos das bacias do Paraná, Pantanal e Araguaia, (MIGLIORINI, 1999).

A formação Miguel Sutil aflora em quase toda parte central, norte de Cuiabá e arredores, composta de Metargilitos ou filitos de cor cinza esverdeada a marrom avermelhado, geralmente sericíticos. As laminações são plano-paralelas, indicando mudanças na granulometria ou composição dos sedimentos e intensamente dobradas, conforme vista parcial na Figura 2.3.

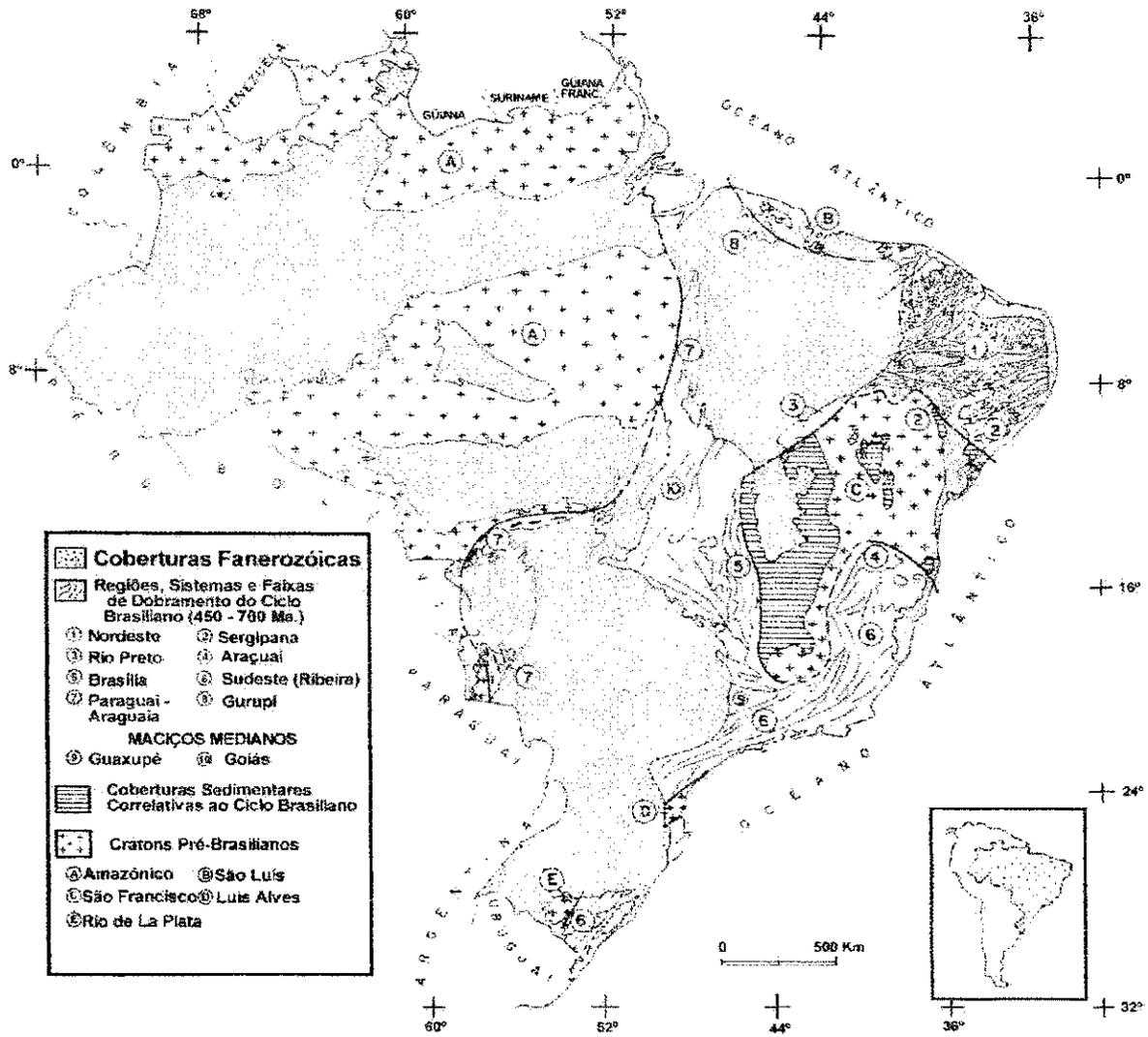


Figura 2.1-Distribuição das faixas de dobramentos brasileiras e as bacias sedimentares (MIGLIORINI,1999).

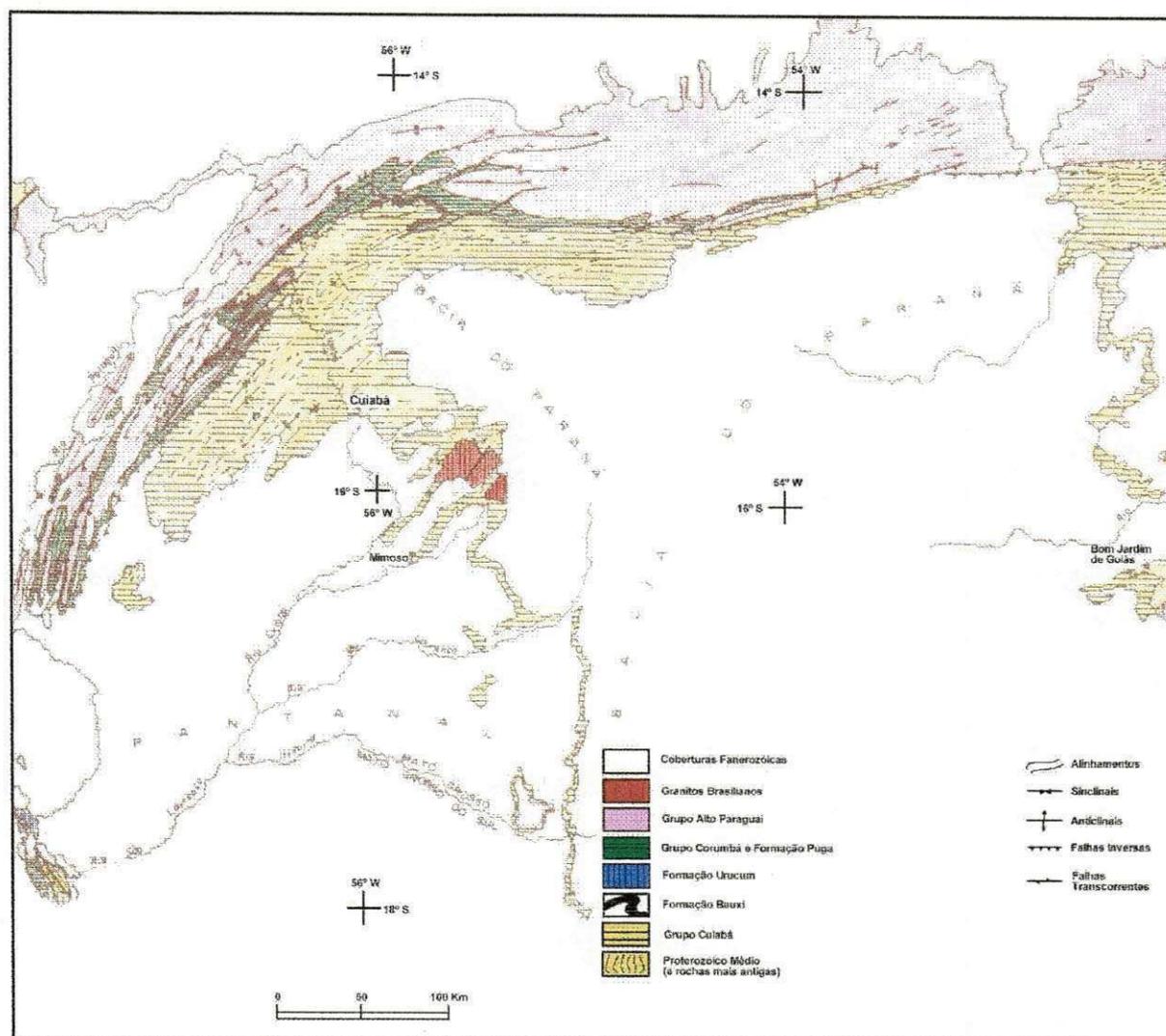


Figura 2.2 – Faixa de dobramentos Paraguai (MIGLIORINI, 1999).



Figura 2.3 Filitos sericíticos da formação Miguel sutil (MIGLIORINI, 1999).

2.2. CONSIDERAÇÕES SOBRE SOLO SAPROLÍTICO

Em função da importância de pesquisas sobre solos foi criada a seção de geologia e petrografia do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo) em 1937. No ano de 1947 Karl Terzaghi, veio ao Brasil a convite da Light (distribuidora de energia elétrica de São Paulo) para resolver problemas de escorregamento de solo na adutora da Usina Hidrelétrica de Cubatão, e proferiu seis palestras na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, caracterizando o interesse pela geotecnia nos meios acadêmicos e empresariais no Brasil.

O conhecimento dos solos brasileiros, dado importante para trabalhos de engenharia, é recente no Brasil e começaram os primeiros estudos sistematizados de mapeamento na década de 1950 pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) com a publicação da obra, Mapas de Solos do Brasil na escala 1 : 5.000.000 em 1981,(PALMIERI & LARACH, 1996).

Os solos como são conhecidos não atestam que as rochas foram intemperizadas pelo clima atual, mas podem ter sido por outras condições climáticas. Para que o material do solo ou rocha comece a se adaptar as novas condições climáticas, se assim houver, levaria mais de um século. Nas regiões tropicais e subtropicais em áreas cratônicas e tectonicamente estáveis e de baixo relevo, os regolitos são resultados de intempéries cumulativas de dezenas a centenas de milhões de anos, (PORTO, 1996).

segundo Pedro & Melfi (1983) *apud* Porto (1996) há dois mecanismos para explicar o processo evolutivo dos solos tropicais :

- as argilas caulínicas estão associadas aos oxihidróxidos de ferro na parte superior do perfil, sendo este o fenômeno de ferralitização, gerando os latossolos de locais constantemente úmidos e quentes das regiões equatoriais;
- quando há separação dos oxihidróxidos de ferro das argilas, havendo a formação de horizontes concrecionados ferruginosos como o processo de lateritização que é acentuado em clima tropical de estações chuvosa e seca definida, (PORTO, 1996).

Para Vargas (1985), um solo tropical pode ser definido como um solo encontrado nos trópicos em camadas densas compostas por dois horizontes. A camada superficial que sofreu a evolução pedogenética mais intensa é freqüentemente transformada em solo laterítico (clima úmido e seco). Esse horizonte sobrepõe uma camada mais profunda de solo residual que mantém traços da estrutura da rocha matriz identificados como saprolítico. Algumas vezes, abaixo da camada superficial forma-se uma camada sedimentar do período Terciário da era Cenozóica (70 milhões de anos).

Vargas (1985), relata que essa camada saprolítica pode ser definida em duas, sendo formada por material mais fino, que mantém a estrutura da rocha de origem, constituída por argila, areia argilosa e argila arenosa chamada de saprolítico fino e a camada inferior que contém os mesmos componentes e características da camada superior, mas possuindo pedregulhos e blocos da rocha nomeada de saprolito grosso. Desse modo para a geotecnia, o solo saprolítico, isto é, solo de alteração, não deve ser confundido com rocha alterada em decomposição, difícil para escavar. A Figura 2.4, apresenta os solos desenvolvidos no clima tropical equatorial e tropical sazonal, mostrando que a mesma rocha matriz pode originar solos com características diferentes em função do clima local, sendo úmido há formação de

latossolo e quando seco e úmido em estações definidas há formação de solo laterítico.

Considerando o enfoque de Porto (1996), a coloração amarela pálida é consequência da reação de oxidação do ferro que se precipita ao longo dos microporos juntos aos minerais primários. O solo saprolítico mais afastado da rocha de origem já se apresenta com uma granulação mais fina e os minerais primários praticamente transformados, menos o quartzo que tem maior resistência as intempéries. De acordo com Nahon & Tardy (1992) *apud* Porto (1996), os regolitos se formam a uma taxa de 20 mm a 40 mm a cada 1000 anos em regiões tropicais.

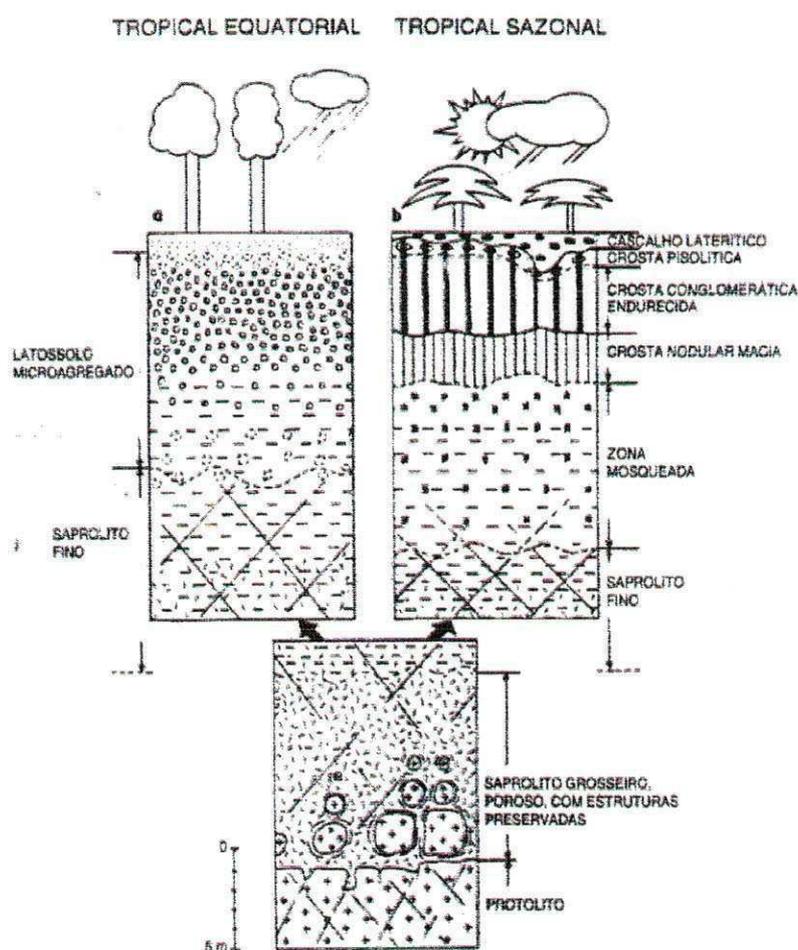


Figura 2.4 – Estruturação dos regolitos sobre regime equatorial, gerando latossolos (a) e sazonal, gerando perfis lateríticos (b) (modificado de NAHON, 1991) *apud* Porto, 1996.

Uma linha de seixos, freqüentemente limita o solo laterítico superficial (horizonte A/B) e abaixo desta linha de seixo pode-se ter :

- solo saprolítico, caso em que o solo superficial será transportado e não residual;
- solo transportado, onde a linha de seixo pode ter origem pelo coluvionamento superficial ou mudança de clima seco para úmido.

O intemperismo agindo sobre rochas, produz um horizonte residual com a estrutura da rocha matriz. Entretanto, podem surgir componentes diferentes e mais complexos que o original da rocha, (NOGAMI & VILLIBOR, 1995). O solo saprolítico pode possuir várias descontinuidades oriundas da rocha mãe como fraturas, falhas, bandamentos e horizontes formados por processos pedogenéticos. Essas descontinuidades podem interferir nas poro-pressões no interior da encosta (corte), prejudicando a sua estabilidade. O intemperismo pode atuar mais agressivamente ao longo das fraturas do que no solo sem descontinuidades, causando escorregamentos em encostas que apresentam as seguintes características:

- fraturas mergulhando para fora da encosta ;
- juntas com acúmulo de argila, dificultando a percolação de água;
- juntas com ângulos de atrito menor em função das mudanças por intemperismo.

No escorregamento rotacional de solo, a superfície de ruptura é curva e o centro de rotação está no sentido externo do relevo. Os solos mais propícios a esses fenômenos são homogêneos, espessos e estão especialmente em encostas constituídas de materiais de alteração em vários estágios de intemperismo, de argilitos, folhelhos e filitos. Muitas vezes os movimentos de massa rotacional em encostas ou aterros são causados por cortes na base ou pela erosão. Quanto aos escorregamentos translacionais que são os mais freqüentes movimentos de massa, possuem a superfície de ruptura plana, geralmente acompanhando as descontinuidades internas dos materiais (solos e rochas).

A superfície do solo deslocado é extensa, sendo maior o seu comprimento no sentido do deslocamento, mas de pouca espessura, oscilando entre 0,5 a 5 m de profundidade, (PALMIERI & LARACH, 1996).

Fernandes & Amaral (1996), fazem várias referências relacionadas ao Estado do Rio de Janeiro, de movimentos de massa em encostas, corte de estradas e aterros causado pelas discontinuidades mecânicas e/ou hidrológicas no solo residual, coluvial e rochas. No Capítulo de Taludes, como relata Augusto Filho & Virgili, (1998), há muitos acidentes decorrentes de escorregamentos no Brasil com o respectivos danos materiais e número de óbitos.

A Figura 2.5 mostra fissuras presentes na base do fuste de um tubulão. Este tubulão foi escavado em solo residual de filito. Junto destas fissuras o solo está mais intemperizado, criando planos preferenciais de escorregamento das paredes do tubulão. Portanto, o risco de acidente é bastante aumentado nestes solos.

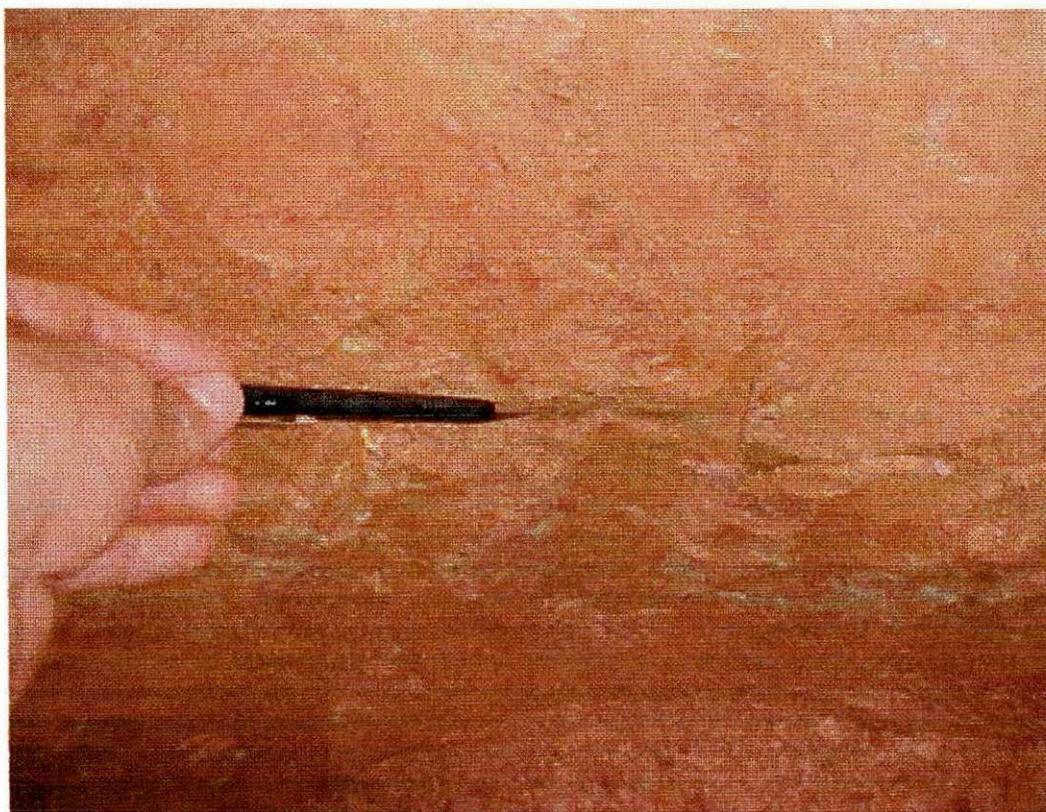


Figura 2.5 - Fissura presente na base do fuste de um tubulão (CONCIANI,2002).

As variações mineralógicas e forma dos grãos dos constituintes areia e pedregulho dos solos tropicais são mais acentuadas que os solos de clima temperado, assim para conhecer seu comportamento, estes fatores devem ser sempre considerados, (NOGAMI & VILLIBOR, 1995).

Diferentemente dos solos lateríficos superficiais, os solos saprolíticos possuem muitos outros minerais além do quartzo, cuja transformação fora produzida, inclusive com grãos de diferentes estágios de intemperização que também podem provocar vazios na constituição dos grãos, produzindo propriedades diferentes, dos mesmos minerais, principalmente os feldspatos e as micas, (NOGAMI & VILLIBOR, 1995).

A fração silte como as areias apresentam uma constituição variada de minerais, podendo as vezes predominar um mineral. O quartzo pode ser considerado um constituinte mineral normal do silte. A caulita mesmo sendo um argilomineral quando presente na fração silte do solo saprolítico, de acordo com Nogami & Villibor (1995), produz as seguintes mudanças em suas propriedades:

- pode ter o índice de plasticidade diferente de zero;
- Pode contribuir com a expansão;
- Pode contribuir com a coesão.

Os autores mencionados consideram que, os solos saprolíticos com predominância de siltes micáceos, freqüentemente sericíticos derivados de fititos sericíticos, podem ter comportamentos variados e quando compactados apresentam as seguintes características:

- grande expansibilidade quando imerso em água, porém com baixa pressão;
- elevada velocidade de expansão;
- baixa capacidade de carga, saturado ou não;
- contração por perda de água.

A caracterização dos componentes minerais e orgânicos da fração argila dos solos é difícil e de alto custo. Existem métodos, mas não disponível aos laboratórios de ensaios rotineiros de geotecnia como: difratometria de raio - X, microscopia eletrônica de varredura, análise térmica diferencial e análise química quantitativa. Na

prática de laboratórios, infere-se sobre os constituintes, conhecendo a geologia, condições de ocorrência e gênese.

Os argilominerais são compostos de silicatos de alumínio hidratado com traços de potássio, sódio, lítio, cálcio e magnésio. O alumínio pode ser trocado por íons de Fe^{3+} , Fe^{2+} ou Mg^{2+} . A microestrutura é lamelar, tabular ou alongada e os cristais podem ser tetraedros de sílica ou octaedros de alumina ou magnésia. Os argilominerais são classificados de acordo com sua estrutura cristalina:

- estrutura cristalina tipo 1 : 1, onde há uma camada de tetraedro e uma de octaedro;
- estrutura cristalina tipo 2 : 1, onde há duas camadas de tetraedros e uma de octaedro.

Os argilominerais do tipo 1:1 mais comuns nos solos saprolíticos são a caulinita e haloisita. Estes minerais têm baixa CTC e baixa plasticidade. Entretanto os minerais do tipo 2:1 mais comuns nos solos saprolíticos são a montmorilonita e illita que são expansivos. Futai *et al.* (1998), estudando o comportamento de solos residuais de filito de Mato Grosso, observou que os minerais expansivos estão presentes nos saprolíticos mais jovens.

Os solos saprolíticos, para Nogami & Villibor (1995), apresentam uma estrutura (disposição espacial dos seus constituintes) fortemente originária da rocha matriz. Há grande possibilidade de formação de solos não homogêneo dependendo da rocha e do intemperismo. A previsão de suas propriedades é influenciada pelo tipo de estrutura presente no solo, tais como :

- xistosidade e estratificação;
- manchas obtidas de rochas ígneas ou metamórficas;
- macroestrutura herdada.

Vargas (1985) afirma que o principal aspecto dos solos saprolíticos é a sua peculiar estrutura, com os cristais orientados, conservando a estrutura das rochas metamórficas ou camadas das sedimentares. Essas estruturas influenciam as propriedades geotécnicas desses solos quando utilizados no estado natural. Se o solo for manuseado ou trabalhado como material de empréstimo de jazidas para

compactação de aterro, suas propriedades podem ser completamente diferentes daqueles no estado natural.

Os argilominerais são compostos de estrutura cristalina em camadas ou lamelares, identificados como silicatos. As ligações entre camadas e as tensões internas geradas pelo empacotamento das unidades estruturais atômicas no interior das camadas determinam o tamanho e o grau de requinte na formação do retículo cristalino, produzindo um cristal microscópico. As rochas metamórficas que possuem muito silício, alumínio e ferro em meio aquoso alcalino contendo potássio, levam geralmente a formação de Mica Moscovita finamente dividida ou sericita que pode se transformar em caulinita (SANTOS,1989). Examinados em microscópio de varredura pode-se detectar os cristais dos solos e somente em casos especiais há condições de identifica-los em solos saprolíticos: associações de cristais, formas pseudomorfas, presença de formas de corrosão ou de dissolução, como mostra a Figura 2.6 .

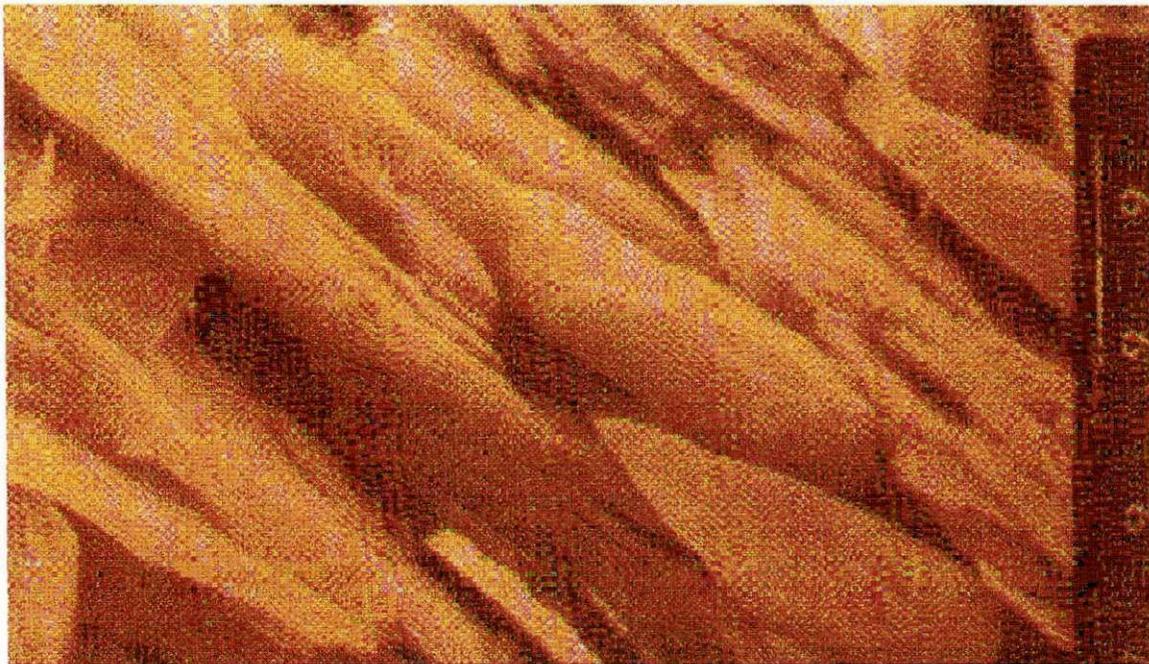


Figura 2.6 – Solo saprolítico de filito, com macrocristais de sericita, IPT (1975, 1977 e 1979) *apud* Nogami & Villibor (1995).

Quando usa - se o solo em obra de engenharia não se deseja a variação de seu volume, o que poderia levar a obra à situação indesejada ou irreversível. Para prevenir este fato a norma usada em construções rodoviárias recomenda um valor máximo para $W_L=25\%$ e $IP=6\%$, mas para solos tropicais essas recomendações não valem. Tem-se solos com W_L maior que 25% e não se expandem (latossolos) e também solos com W_L menor que 25% que se expandem (saprolíticos ricos em siltes cauliniticos ou micáceos). Assim, é possível haver solos com o mesmo W_L e IP , tendo expansibilidades diferentes, portanto estes índices não podem ser usados para previsões, (NOGAMI & VILLIBOR, 1995).

O comportamento do solo saprolítico está intrinsecamente ligado à rocha matriz com seus componentes, que passando pelo intemperismo, pode deixar impregnado no mesmo, as suas influências que além de apresentar anisotropia tridimensional, pode ser heterogêneo. FUTAI (1997), estudando solos de Cuiabá, verificou que houve variação granulométrica nos ensaios de sedimentação, quando a energia de mistura foi aumentada ou ampliou-se o tempo de repouso com o defloculante (hexametáfosfato). O Quadro 2.1, mostra essas influências.

Quadro 2.1 - Resultados de ensaios de granulométrica com diferentes tempos em solução e dispersão mecânica, (FUTAI, 1997).

T.S* T.D**	% Areia	% Silte	% Argila
900 h/15 min.	53	33	15
5320 h/15 min.	43	38	19
8280 h/30 min.	40	39	20

* tempo de repouso imerso em solução de hexametáfosfato de sódio

** tempo em dispersão

Quando no solo saprolítico, na fração tamanho argila predominar illita e esmectita, o mesmo terá característica expansiva. Próximo a rocha matriz o índice de alteração diminui e a expansão acompanha esta tendência, pois ainda não se formou material expansivo. Próximo à superfície quando não há expansão nesses solos houve processo de laterização. Neste particular Vargas (1985) afirma que, a fração argila ($D < 2 \mu\text{m}$) nos solos tropicais argilosos determina predominantemente seu comportamento, sendo interessante conhecer a sua composição mineralógica. Tendo os solos a mesma porcentagem de fração tamanho argila, poderão apresentar comportamentos diferenciados em função de superfícies específicas, minerais presentes e estrutura mineralógica. Para ser prático no trato com os solos, fora desenvolvido pela geotecnia índices representativos dos comportamentos dos mesmos. Os limites de Atterberg indicam a influência da fração dos finos no comportamento dos solos, mas há solos com alta fração de finos e baixos limites de plasticidade e ao contrário com baixa fração de finos apresentar maiores limites, devido à composição mineralógica dos argilominerais .

Casagrande (1948) propôs uma classificação dos solos usando a distribuição dos tamanhos dos grãos, plasticidade dos finos e o conteúdo de matéria orgânica. Como alguns solos não tinham o comportamento esperado, a pesquisa caminhou no sentido de que a mineralogia da fração argila do solo era relevante em sua identificação. Como a fração argila não possui apenas um argilomineral, mas pode conter vários, Skempton (1953) definiu a atividade da fração argila no lugar da composição mineralógica do solo. A atividade da fração argila pode não depender da quantidade de argila na amostra. No diagrama de Casagrande não se pode classificar os solos micáceos com $W_L < 50 \%$. Esses solos são muito mais compressíveis e expansivos do que o esperado pelo seus índices de classificação. A compressão é pouco diferente dos solos de alta plasticidade e a expansão é pouco diferente dos solos argilosos de alta atividade. Para a classificação dos solos saprolítico pedogenético, coluvial e residual, há necessidade de calcular os limites de classificação para depois aplicá-lo em outras condições e conhecer sua origem. Um solo é considerado normal quando o índice de atividade está entre 0,75 e 1,25 e abaixo de 0,75 é inativo. O índice de atividade é definido pela expressão $I_a = IP / \% < 2 \mu\text{m}$, onde I_a é o índice de atividade, IP é o limite de plasticidade e $\% < 2 \mu\text{m}$ é a porcentagem de argila com grãos de dimensões menores que $2 \mu\text{m}$. Vargas

(1985) sugere o uso da Figura 2.7 para classificar os solos. Nessa figura, Futai (1997), fez a classificação de algumas amostras de solos de Cuiabá:

AM1 – está no limite;

AM2 – expansivo;

AM3 – não é expansivo (caulinítico).

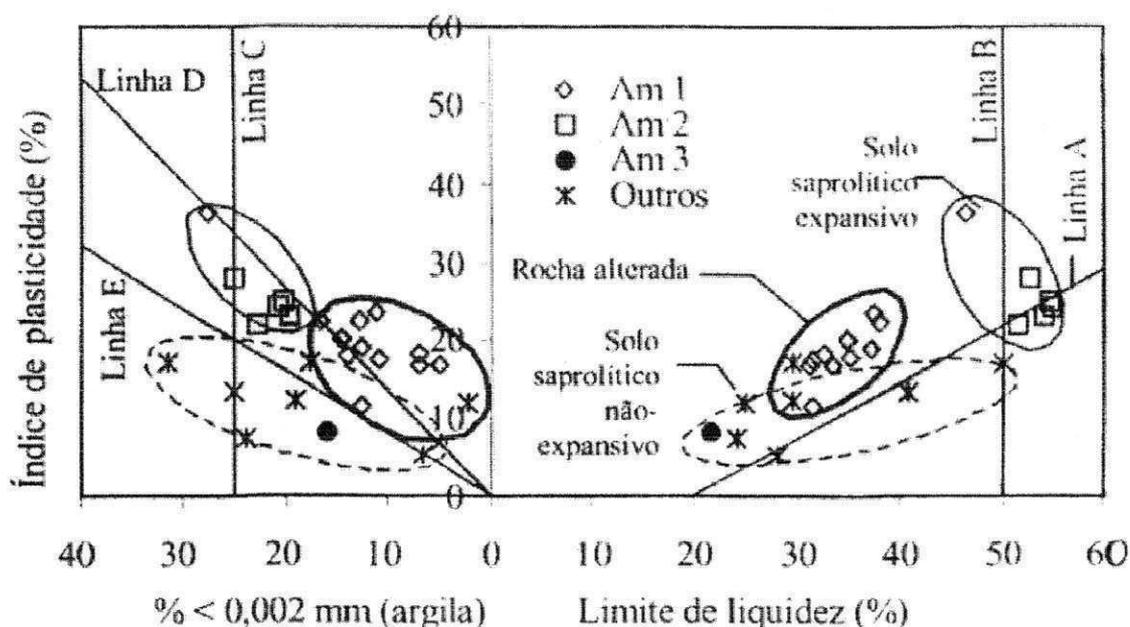


Figura 2.7 - Classificação da plasticidade e atividade de argila, Vargas (1985).

As características dos solos entre as linhas são:

- acima da linha A são plásticos;
- abaixo da linha A são pouco plásticos;
- à esquerda da linha C e acima da linha E são expansivos;
- abaixo da linha E não são expansivos.

Outra forma de avaliar o grau de alteração de um solo saprolítico foi aplicada por Futai *et al.* (1998). Esses autores, consideram a forma da curva de compressão como um indicador de alteração. A curva de compressão é mais inclinada para o saprolítico, pois o solo se encontra mais intemperizado, isto é, os grãos são menores e o índice de vazios é maior. Na rocha alterada para a mesma deformação

volumétrica se faz necessário maior variação de tensão. A Figura 2.8 é para rocha alterada e a Figura 2.9 é para solo saprolítico.

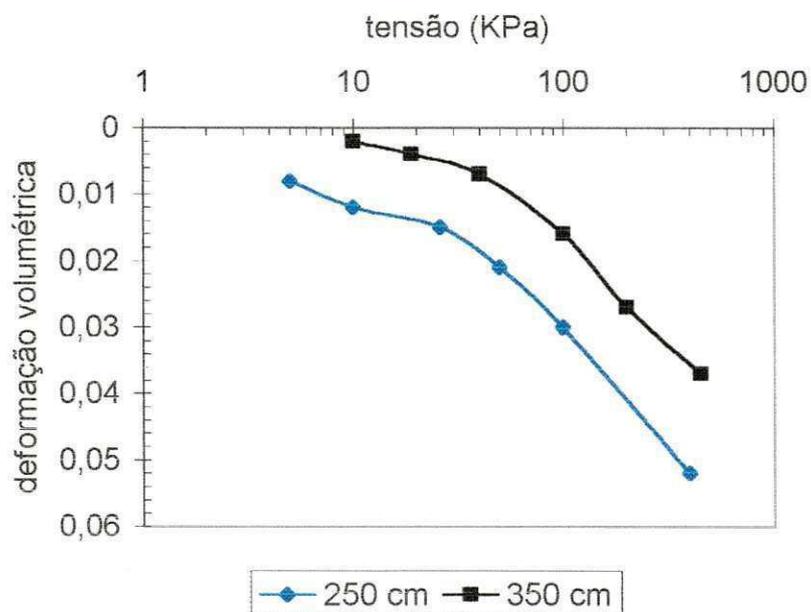


Figura 2.8 - Curvas de compressão para rocha alterada, (FUTAI,1997).

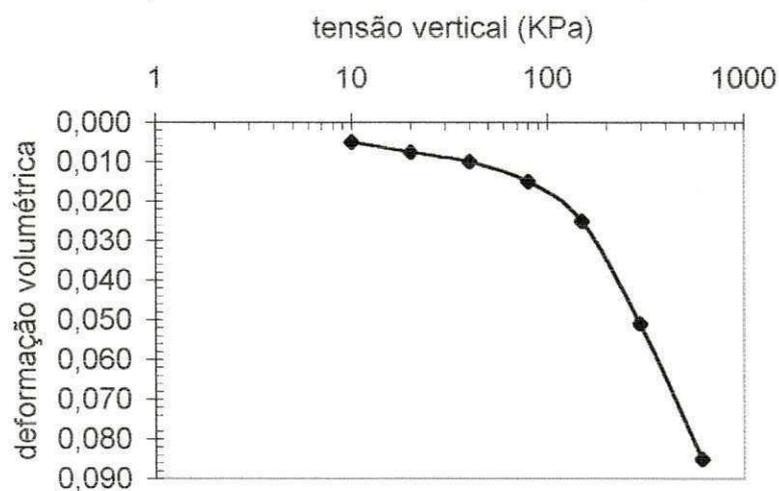


Figura 2.9 - Curvas de compressão para solo saprolítico, (FUTAI, 1997).

A Figura 2.10 mostra uma relação entre o índice de alteração e a compressibilidade obtida por Futai (1998). Conforme pode-se observar nessa figura,

o índice de alteração cresce com a compressibilidade. O índice de alteração empregado é o definido por Deere & Patton (1971) que se baseia na absorção de água por um solo. $I_w = (\text{peso de água absorvida/peso da amostra seca}) \times 100$. A compressibilidade é representada pela relação $\lambda / 1 + e_0$.

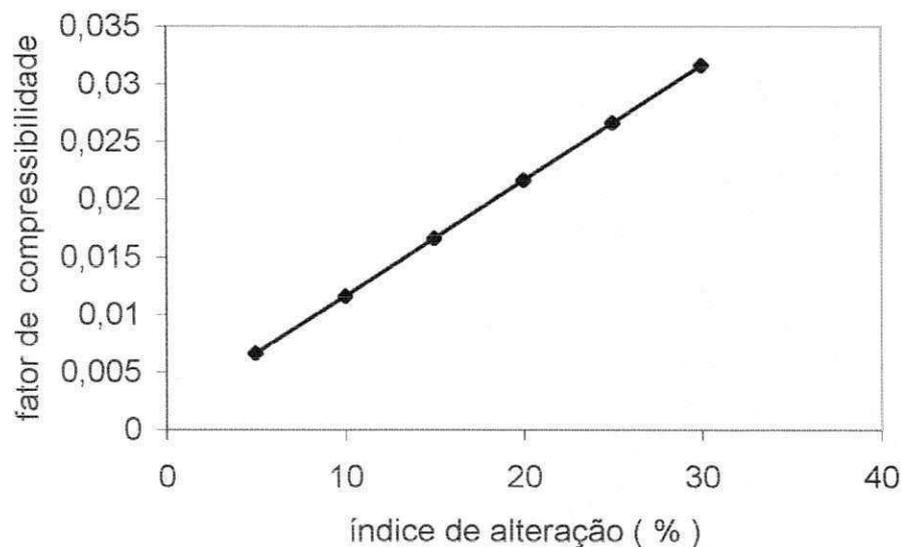


Figura 2.10 – Correlação entre compressibilidade e índice de alteração, (FUTAI *et al.*, 1998).

Em função da ação do intemperismo, que é contínuo, os materiais das várias camadas de solos e das rochas, estão em constante alteração, modificando as suas propriedades. Com a evolução dos solos os ângulos de atrito diminuem, as coesões verdadeiras são desfeitas e o intercepto de coesão, em consequência, diminuirá. Estudos realizados por Futai *et al.* (1998) nos solos residuais de filito constatou que quanto maior o ângulo de atrito menor o índice de alteração da rocha conforme indicado na Figura 2. 11.

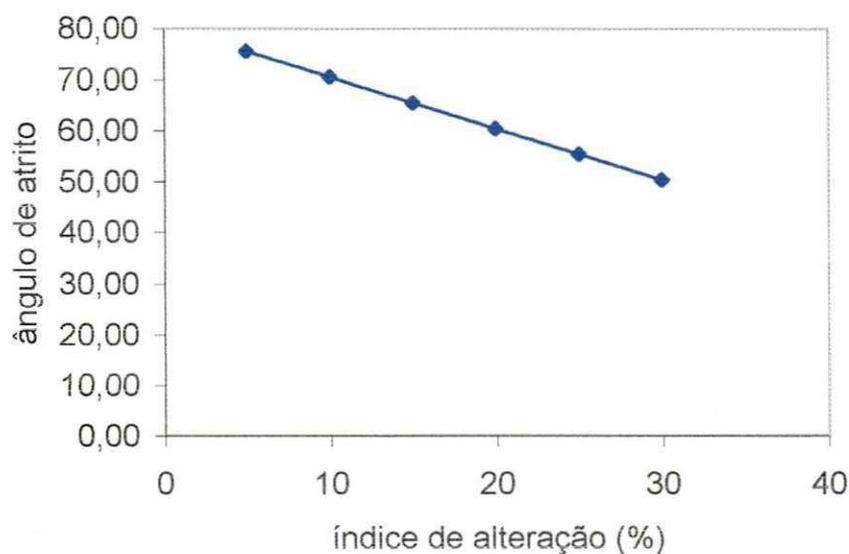


Figura 2. 11 - Correlação entre ângulo de atrito e índice de alteração, (FUTAI *et al.* , 1998).

Conhecendo os limites de Atterberg, a umidade, o índice de vazios e a granulometria, pode-se caracterizar os solos não tropicais. O melhor parâmetro para correlacionar com as propriedades dos solos tropicais e rochas alteradas é o índice de vazios, Futai *et al.* (1998). A variação do ângulo de atrito e coesão em função do índice de vazios, indicando c (coesão) e ϕ (ângulo de atrito), diminuem com o aumento deste índice, como é representado na Figura 2.12.

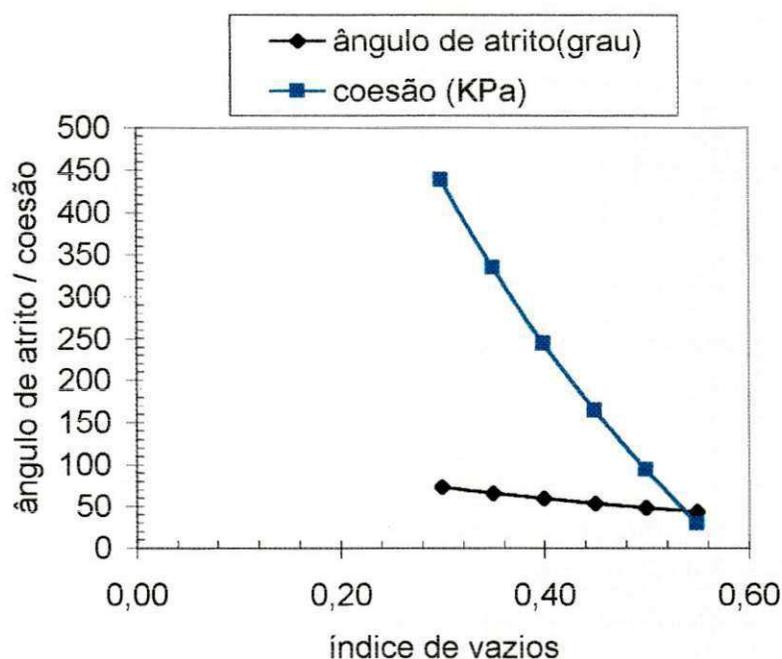


Figura 2.12 – Variação do ângulo de atrito e intercepto de coesão com o índice de vazios, (FUTAI, 1998).

Quanto à expansão dos solos saprolíticos, não é possível fazer uma previsão de seu comportamento, pois há vários tipos de solos com seus componentes específicos que podem ou não serem expansivos. Esse comportamento está ligado aos argilominerais presentes no solo. Por sua vez a presença desses argilominerais depende do grau de alteração e da rocha matriz. Os solos saprolíticos siltosos cauliniticos – micáceos possuem expansão rápida e grande, com baixa pressão. Nestes solos se a percentagem de areia ou silte de quartzo aumentar, a expansão diminui se não forem micáceos, (NOGAMI & VILLIBOR, 1995).

A amostra de saprolito de filito analisada por Futai *et al.* (1998), continha illita, caulinita, esmectita e vermiculita, mas a propriedade de expansão é devido a presença de illita e esmectita. Nos solos saprolíticos, analisados por Futai *et al.* (1998,) verificou-se comportamento divergentes. Isto é, solos como da mesma rocha matriz e índices de alteração próximos apresentaram expansão diferenciada para locais de coletas de amostras diferentes. Essa constatação se deve à composição mineralógica diferente, conforme apontada por Vargas (1985).

A contração dos solos saprolíticos com muita argila em sua composição, se comporta como nos solos não tropicais semelhantes aos saprolíticos. Os solos saprolíticos de silte e siltoso micáceo, caulínítico ou rico em areia micácea possuem baixa contração. Estes solos com os componentes acima citados são os que apresentam maiores valores da velocidade da frente de umidade em relação a infiltrabilidade, (NOGAMI & VILLIBOR, 1995).

É difícil fazer extrapolações quanto à permeabilidade dos solos saprolíticos com estruturas (fábricas) naturais ou compactadas com os valores ensaiados em determinado local. Nogami & Villibor (1995) são enfáticos em afirmar que as generalizações não podem ser feitas, mas fazem algumas afirmações :

- cada estrutura herdada da rocha matriz e a originária do intemperismo , corresponde a uma nova permeabilidade;
- o coeficiente de permeabilidade pode assumir valores baixos como altos (10^{-9} a 10^{-3}) m / s;
- solos heterogêneos com anisotropia têm permeabilidades com direções e sentidos privilegiados;
- a heterogeneidade dos solos saprolíticos é encontrada com muita freqüência, induzindo a erros que desaconselham fazer extrapolações de resultados de ensaios de laboratórios.

2.3. COMPACTAÇÃO DE SOLO

A compactação é o processo utilizado para aumentar a massa específica aparente seca pela redução de ar dos vazios dos solos. A energia de compactação é medida em energia aplicada por volume compactado segundo a Equação 2.1.

$$E = \frac{N \times P \times H}{V} \quad \dots\dots\dots \text{Eq. 2.1}$$

E = energia por volume

N = números de golpes

H = altura de queda

V = volume de solo

P = peso do soquete

O fenômeno da compactação obedece os seguintes princípios gerais:

– A massa específica aparente seca obtido pela compactação depende da natureza do solo, de sua granulometria e da massa específica dos grãos;

– Para um mesmo processo de compactação, variando a umidade do solo, obtemos a curva de compactação que apresenta um máximo onde obtemos a massa específica aparente seca máxima e a umidade ótima deste ponto; – Quanto maior a energia de compactação, maior a massa específica aparente seca e menor a umidade;

– Os limites extremos da massa específica aparente seca são a massa específica aparente seca natural (sem qualquer compactação) e a massa específica aparente seca com compactação máxima, onde não há mais ar no interior do solo (estado teórico). Os valores experimentais serão mais precisos e exatos quanto mais distantes destes extremos, (SOUZA, 1980).

Após a década de 1930, vários pesquisadores haviam procurado explicar a forma da curva massa específica aparente seca em função da umidade para solos coesivos, Araújo (1996). Hogentogler (1936) *apud* Araujo (1996), como o indicado na Figura 2.10, dividiu a curva de compactação em quatro partes:

- Hidratação, onde a água é absorvida pelas partículas formando um filme viscoso na superfície das mesmas;

- Lubrificação, onde as partículas deslizam entre si, expulsando o ar interior do solo, ficando as partículas mais próximas e aumentando a massa específica aparente seca;

- Inchamento, onde o acréscimo de água não desloca mais o ar existente, mas removendo as partículas de solo, provocando a diminuição da massa específica aparente seca;

- Saturação, onde o solo absorve a quantidade máxima de água.

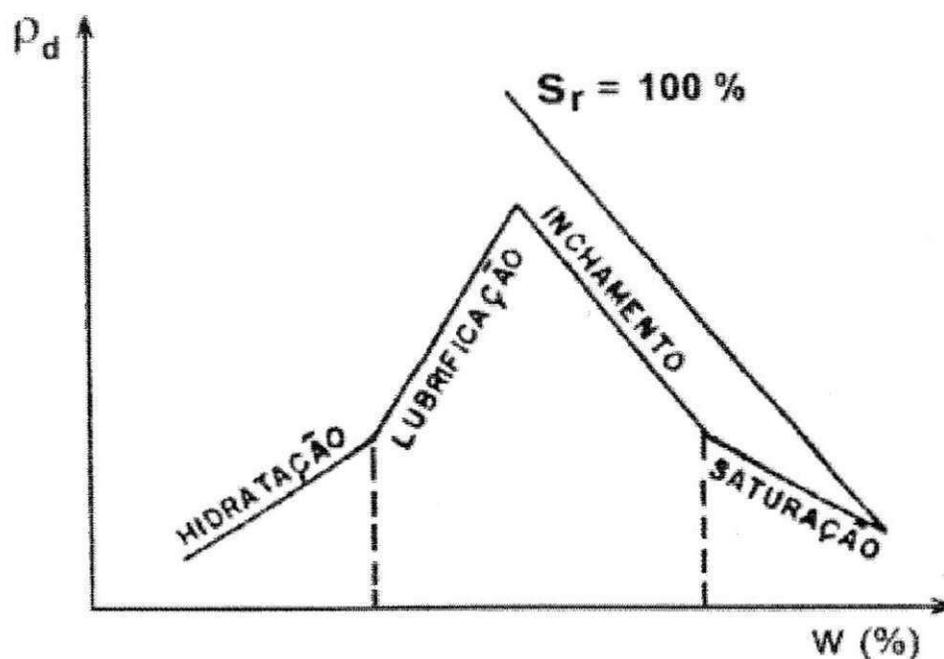


Figura 2.13 – Teoria de Hogentogier *apud* Araújo (1996).

Na visão de Hilf (1975) *apud* Araújo (1996), no ramo seco há as forças de atrito causadas pela capilaridade, onde os meniscos (sucção) de alta curvatura enfraquecem com adição de água, aproximando as partículas com a compactação até atingir uma massa específica aparente seca máxima. Após este estado, o acréscimo de água e a queda da massa específica aparente seca pode ser atribuída a dificuldade de saída de ar e o aumento de pressão na fase gasosa.

2.3.1. MÉTODOS ALTERNATIVOS DE COMPACTAÇÃO

Pode-se considerar os seguintes procedimentos para os ensaios de compactação de solo, com reuso e sem reuso de amostras:

- ENSAIO SEM REUSO DO MATERIAL

Fazendo os ensaios com amostras sempre novas, os resultados são mais exatos e a única desvantagem é a maior quantidade de material. Quando o material é formado de partículas muito quebradiças, este procedimento é necessário para não descaracterizar o resultado, (PINTO, 2000).

Recomenda Sousa (1980), de que quando uma amostra sofre degradação ou há dificuldade em adsorver água, deve-se usar sempre uma amostra sem reuso para cada ponto da curva de compactação.

- ENSAIO SEM SECAGEM PRÉVIA DO SOLO

Nas construções de engenharia, o solo pode não ser usado na sua umidade natural, fazendo-se ajustes dessa para cima ou para baixo de modo a deixá-lo na umidade especificada. A pré-secagem da amostra pode influir nos resultados dos ensaios como dificultar a homogeneização da água adicionada. A norma recomenda uma secagem parcial da amostra, (PINTO, 2000).

2.3.2. CURVAS IRREGULARES E DISPERSÕES DOS PONTOS

Segundo Lee & Suedkamp (1972) *apud* Araújo (1996), conhecendo-se os minerais e os argilominerais que compõem o solo, pode-se melhor entender a forma das curvas quanto a compactação, pois esse fenômeno não está totalmente entendido e há várias teorias para explicá-lo. A mistura de água com o solo, o tempo entre o preparo da amostra e o ensaio e o operador podem ser condicionantes na dispersão dos pontos. Estes autores, sugerem quatro tipos de curvas de compactação que são: com pico simples, 1 ½ picos, picos duplos e curvas distorcidas.

Autores como Lee & Hsu (1973) *apud* Araújo (1996), consideram que os solos com limites de liquidez maiores que 70% e menores que 30%, produzem curvas irregulares e entre 30% e 70%, produzem curvas com pico simples. De acordo com Gobara *et al.*(1985), as principais causas de dispersões dos pontos são:

- “não uniformidade das amostras relativas a um mesmo material”;
- “energia de compactação (peso e altura de queda do soquete, diferenças nos volumes dos cilindros e deficiências no procedimento da aplicação de golpes pelo operador)”;
- “homogeneização da umidade (grânulos interiormente secos absorvem parte da energia de compactação, provocando redução no ramo seco da curva, com o conseqüente deslocamento do ponto de máxima massa específica para baixo e para a direita)”;
- “estimativa gráfica do ponto de máxima massa específica aparente seca (imprecisão no traçado, afeta mais o teor de umidade ótimo do que a massa específica aparente seca máxima)”;
- “espessuras das camadas (se as três camadas não tiverem as mesmas espessuras, as massas específicas aparentes secas obtidas são menores do que as corretas, se o erro for sistemático, fica afetada apenas a determinação das massas específicas aparentes secas, trazendo a curva mais para baixo e não afetando a determinação do teor de umidade ótimo; já se o erro for aleatório de ponto para ponto da curva, os dois parâmetros podem ser influenciados em qualquer direção)”.
- “a influência da umidade (as umidades determinadas na estufa afetam não somente o parâmetro umidade, mas também a massa específica aparente seca)”.

2.3.3. EFEITO DA UMIDADE E ENERGIA APLICADA NA CURVA DE COMPACTAÇÃO.

A pré-secagem das amostras influi nas propriedades dos solos, além de dificultar a homogeneização posterior da amostra. Nos aterros e barragens, as compactações são feitas em umidades em torno da ótima, secando ou molhando o solo natural, (PINTO, 2000).

A umidade ótima obtida no ensaio de compactação em laboratório, pode ser bem menor que a umidade obtida sem a secagem ao ar, como os ensaios feitos no campo. Com o reuso do mesmo material saprolítico nos ensaios, há muita fragmentação dos grãos em processo de intemperização, dificultando a previsão do

seu comportamento quando compactado. Seria bom estar fazendo o ensaio próximo da realidade a obra, (NOGAMI & VILLIBOR, 1995).

De acordo com Carvalho (1997), quando adicionamos água ao solo, forma-se uma película em torno dos grãos que facilita o seu movimento relativo e quando há compactação, aproximam-os. A massa específica aparente seca não cresce continuamente, pois a partir de uma certa umidade do solo a água desloca as partículas e a massa específica aparente diminui. A Figura 2.14 mostra a proporção de contribuição da água e da compactação na massa específica aparente seca. Com valor de umidade baixa a influência da compactação e da umidade é equivalente, mas com o aumento crescente da umidade a contribuição da compactação vai se tornando maior até atingir a máxima massa específica aparente seca, para depois ir diminuindo e a parcela da água crescendo continuamente.

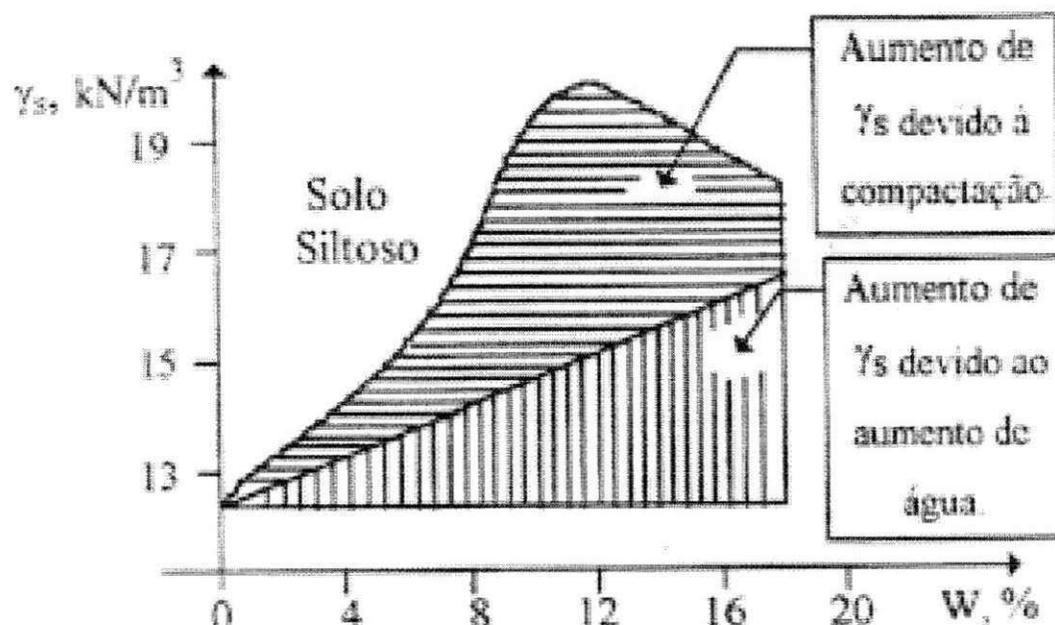


Figura 2.14- Efeito da umidade e energia de compactação na curva de compactação. (CARVALHO, 1997).

2.3.4. ARRANJO DOS GRÃOS EM FUNÇÃO DA ENERGIA DE COMPACTAÇÃO E UMIDADE

Para qualquer obra de engenharia, deseja-se que o solo tenha estabilidade. Se o solo não a possuir, deve-se tentar conseguí-la modificando suas propriedades por meio de artifícios físicos para suportar as cargas. Aumento de resistência, diminuição da compressibilidade e redução da permeabilidade, são objetivos importantes para as obras, que podem ser alcançados por meio de compactação. Pela compactação em condições de umidades e energias diferentes, obtém-se diferentes arranjos de grãos. No ramo seco da curva de compactação os grãos estão muito mais floculados do que no lado úmido. Comparando os estados dos grãos nas mesmas umidades e energias diferentes, verifica-se que no lado seco os grãos estão no estado de maior floculação com energias crescentes. Na parte úmida da curva os grãos ficam distribuídos na forma mais paralela (dispersa), conforme a Figura 15, (LAMBE & WHITMAN, 1969).

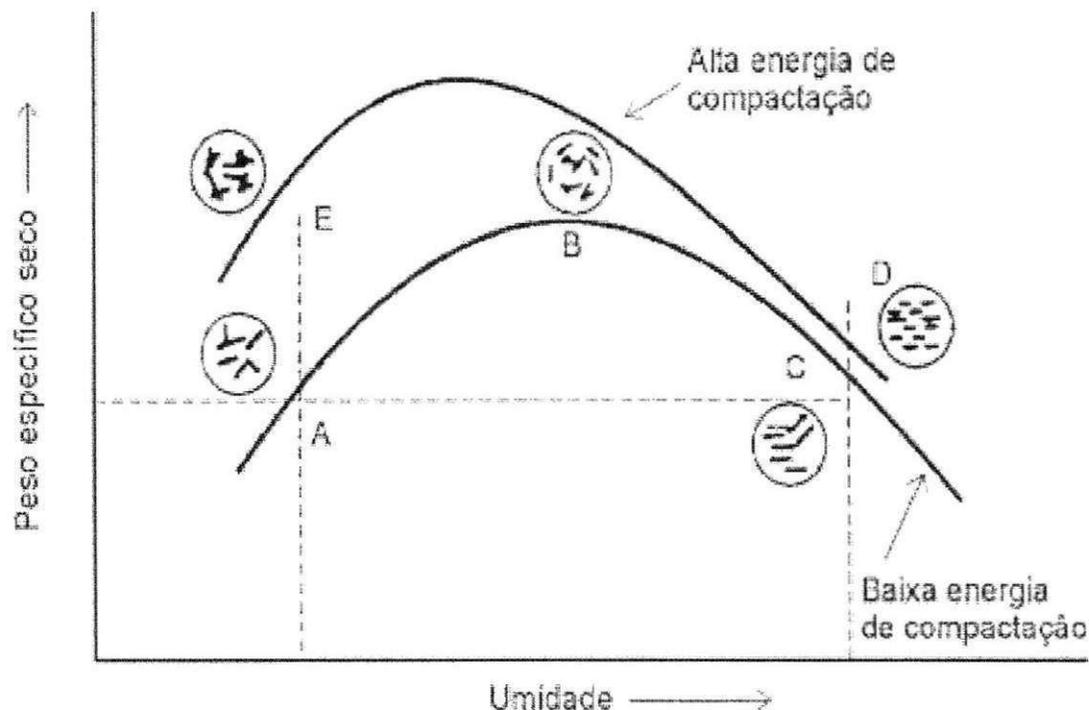


Figura 2.15 - Arranjo dos grãos na compactação. (LAMBE & WHITMAN, 1969).

Em relação aos solos compactados, Pinto (2000), faz as seguintes considerações em relação à algumas propriedades:

- Para uma mesma umidade, a permeabilidade diminui com o aumento da massa específica aparente seca;
- Mantendo a massa específica aparente seca constante (índice de vazios iguais), a permeabilidade diminui com o aumento da umidade do solo, pois a estrutura não é mais flokulada neste ramo da curva;
- A compressibilidade é menor para solos com baixa umidade e alta massa específica aparente seca, consequência da estrutura e tensão de sucção do solo. Inundando as amostras, a variação da compressibilidade com a umidade é menor;
- No ensaio triaxial não drenado, o módulo de elasticidade E tende a crescer com o aumento da massa específica aparente seca e a diminuição na umidade;
- A resistência em sollicitação sem drenagem, corresponde ao solo compactado e recebendo cargas das várias camadas sem que há dissipação da pressão neutra. Para uma determinada pressão confinante a resistência tende a crescer para umidades menores, variando pouco com a massa específica aparente seca, pois as curvas de resistências constantes são próximas a paralela ao eixo das ordenadas (massa específica aparente seca);
- A resistência efetiva em sollicitação após adensamento em CD ou CU, tendem a crescer com o aumento da massa específica aparente seca. As curvas de resistência efetiva constante são praticamente paralelas ao eixo das abscissas (umidade).

Após, permear esses conhecimentos sobre os solos tropicais, especificamente o saprolítico, nesta iniciação científica e tecnológica, depara-se com uma posição ainda de busca da compreensão e domínio do comportamento fenomenológico desses solos, gerando questionamentos e suposições para o seu perfeito equacionamento. Quanto a compactação do solo saprolítico da rocha de filito, pretende-se acrescentar informações nesse vasto campo de estudos de solos.

3.0. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente trabalho foi realizado com amostras de solo coletadas na cidade de Cuiabá. A coleta foi realizada em profundidades variáveis em uma obra situada na avenida Rubens de Mendonça enfrente ao Quartel da 13ª Brigada de Infantaria Motorizada. A Construção situa-se em uma vertente da colina, estando próxima do topo.

A cidade de Cuiabá, Estado de Mato Grosso, localiza-se a 15° 35'56" de latitude Sul e 56°06'01" de longitude Oeste, possui altitude média de 165 m acima do nível do mar. A área do município é de 3.224.68 km². Cuiabá encontra-se na mesoregião 130, sul matogrossense e micro região 534. Esse município faz limites com Chapada dos Guimarães, Campo Verde, Santo Antônio do Leverger, Várzea Grande, Jangada e Acorizal. A hidrografia dessa região contribui para a Bacia do Prata, por meio do Rio Cuiabá, (FERREIRA, 1995).

3.2. CLIMA

Segundo Vecchiato (1987), o clima é típico de savanas tropicais e no Centro Oeste, este clima está relacionado com locais onde a cota é inferior a 400 m em relação ao nível do mar. Há duas situações bem definidas na região: período de chuva que ocorre entre os meses de novembro e março e de seca entre os meses de abril e outubro. O clima está classificado como AW, segundo Koppen. No verão ocorre 80 % de precipitação pluviométrica anual que está entre 1000 mm a 1500 mm. Os meses mais chuvosos são dezembro e janeiro e os mais secos, que podem ter precipitação zero, são junho e julho.

3.3. GEOLOGIA

O município de Cuiabá está estabelecido em uma província geomorfológica identificada como Depressão Cuiabana, sendo uma planície de erosão com baixa altitude em relação ao mar, na área urbana. Em relação ao relevo, Santos *et al.* (1998), consideram sete tipos:

canal fluvial;

diques marginais;

planície de inundação;

áreas alagadiças;

áreas aplainadas;

colinas;

morrotes.

De acordo com Vecchiato (1987), na região de Cuiabá a litologia predominante é o filito, rocha metamórfica de baixo grau do Grupo Cuiabá. Esse filito está intercalado com metarenitos, metacósios e quartzitos. A direção predominante das estruturas é nordeste-sudoeste e o mergulho se dá para noroeste. As rochas estão muito fraturadas e são cortadas por veios de quartzo de espessuras variadas. As fraturas são pequenas e podem estar preenchidas por quartzo. Os filitos apresentam uma grande variabilidade podendo apresentar variações em seu comportamento.

A escavação do saprolito de filito não é difícil, senão nos veios de quartzo. Nos cortes superiores a 5 m em saprolitos de filito, deve-se tomar muitas precauções para evitar possíveis escorregamentos nos planos de xistosidade, acamamento, fratura e rápido intemperismo.

O Conde Francis de Castelnau foi quem primeiro relatou a existência de filitos e quartzitos na cidade de Cuiabá no ano de 1850. Em 1894 Evans descreveu estas rochas, denominando-as de "Cuyaba Slates", incluindo ardósia com clivagem, ardósias com seixos de outras rochas e os tilitos do rio Jangada. Evans, relatou também a existência de dobramentos na Baixada Cuiabana. A primeira individualização litoestratigráfica para as rochas da Série Cuiabá constava de: metassedimentos detríticos, predominantemente pelíticos, mas com desenvolvimento local de quartzitos, metagrauvas e subsidiariamente metaconglomerados. A

Baixada Cuiabana apresenta-se dobrada, falhadas e com metamorfismo crescente de noroeste para sudeste dentro de fácies xisto-verde, culminando com a ocorrência de plutons graníticos e alcalinos no extremo sudeste da Baixada Cuiabana. Estima-se uma espessura de 3000m a 4000m para a série Cuiabá de metassedimentos detríticos predominantemente filitos.

O Grupo Cuiabá foi posicionado no tempo pelo projeto Radambrasil (1982) em torno de 500 a 900 milhões de anos no pré-cambriano superior. O Cinturão Paraguai é uma faixa de dobramento atingida pelo período Tectônico Brasileiro, localizado a sudeste do craton amazônico em Mato Grosso. O Grupo Cuiabá, representa o metamorfismo desses dobramentos internos. As faixas sedimentares, não metamórficas na zona tectônica externa e na parte pericratônica incluem várias formações, (Bauxi, Puga, Araras, Raizama e Diamantino). Os aluviões recentes do Rio Cuiabá e seus afluentes formaram faixas de até 2000 m e espessuras de até 5 m. Esses depósitos são constituídos de areia de granulação média a grosseira, conglomerática de grãos subangulosos e subarredondados. Os depósitos sedimentares aluvionares mais antigos são constituídos de argila e silte arenoso. Nos interflúvios ocorre uma concentração de solos regolíticos com grande quantidade de quartzo em seu meio, oriundo dos veios de quartzo que estão nas rochas do grupo Cuiabá e essa cobertura atenua a ação erosiva local. A outra parte é menos extensa e rebaixada em torno de 200 m formando uma planície. Na área de influência do rio Cuiabá, as cotas estão em torno de 160 m, onde há uma cobertura sedimentar quaternária acima das rochas do grupo Cuiabá, formando planícies aluviais com sedimentos areno-argilosos inconsolidados, parcialmente laterizados nas partes mais altas.

Vecchiato (1987), identifica os seguintes tipos de solos:

- solos regolíticos, pouco espessos, imaturos e compostos por fragmentos de rochas e quartzo leitoso, em uma matriz areno-argilosa;
- Solos Halomórficos, formados em regiões alagadas freqüentemente e na estiagem estas áreas ficam secas, concentrando sais;
- Solos aluviais, são arenosos, argilo-arenoso, argilosos e podendo ser pedregosos e originam-se de sedimentos aluvionares depositados pelos cursos de água em suas proximidades e nas planícies.

3.4. SOLO USADO NOS ENSAIOS

Na Figura 3.1 pode-se observar uma formação não muito freqüente em Cuiabá. Na parte mais alta do terreno verifica-se quatro camadas, sendo as três primeiras provavelmente sedimentos de enxurradas, (CONCIANI, 2002): superficial areno-pedregulhoso, solo arenoso, solo areno-pedregulhoso e solo saprolítico de meta-arenito.

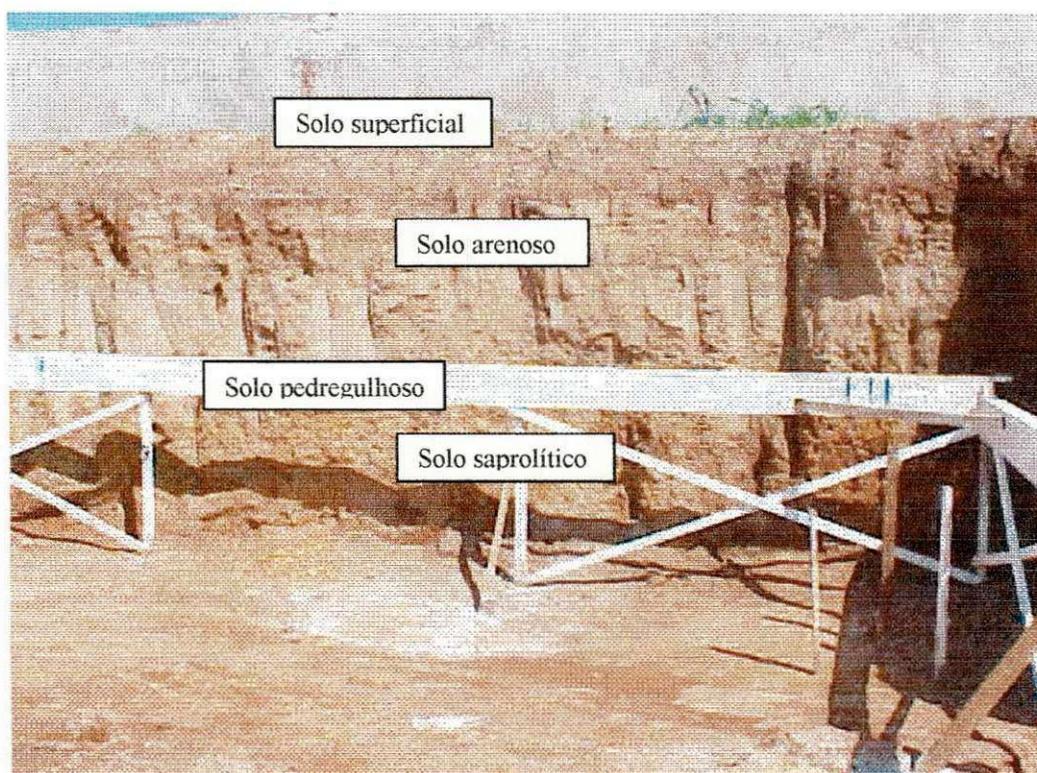


Figura 3.1 - Perfil de solo no local da obra. (CONCIANI, 2002)

A amostra para os ensaios deste trabalho foi extraída de solo saprolítico amarelo, intemperizado do filito, escavado com alavanca e picareta para a fundação da obra da Justiça federal em Cuiabá.

Retirando amostras de solo saprolítico (e/ou rocha alterada) em Cuiabá, Futai (1995) esbarrou em dificuldades para manusear amostras indeformadas em cilindro

cravado ou em bloco. Havia discontinuidades como fraturas e xistosidades que desagregavam a amostra quando da preparação do corpo de prova para ensaios.

Em outra posição do terreno, Conciani (2002), mostra na Figura 3.2 que a camada aluvionar é pequena ou inexistente e o solo saprolítico apresenta-se heterogêneo e aflorando próximo à superfície em diferentes estágios de alteração. A direção do mergulho do saprolítico é diagonal ao plano da superfície do terreno e as fraturas existentes são perpendiculares ao mesmo.

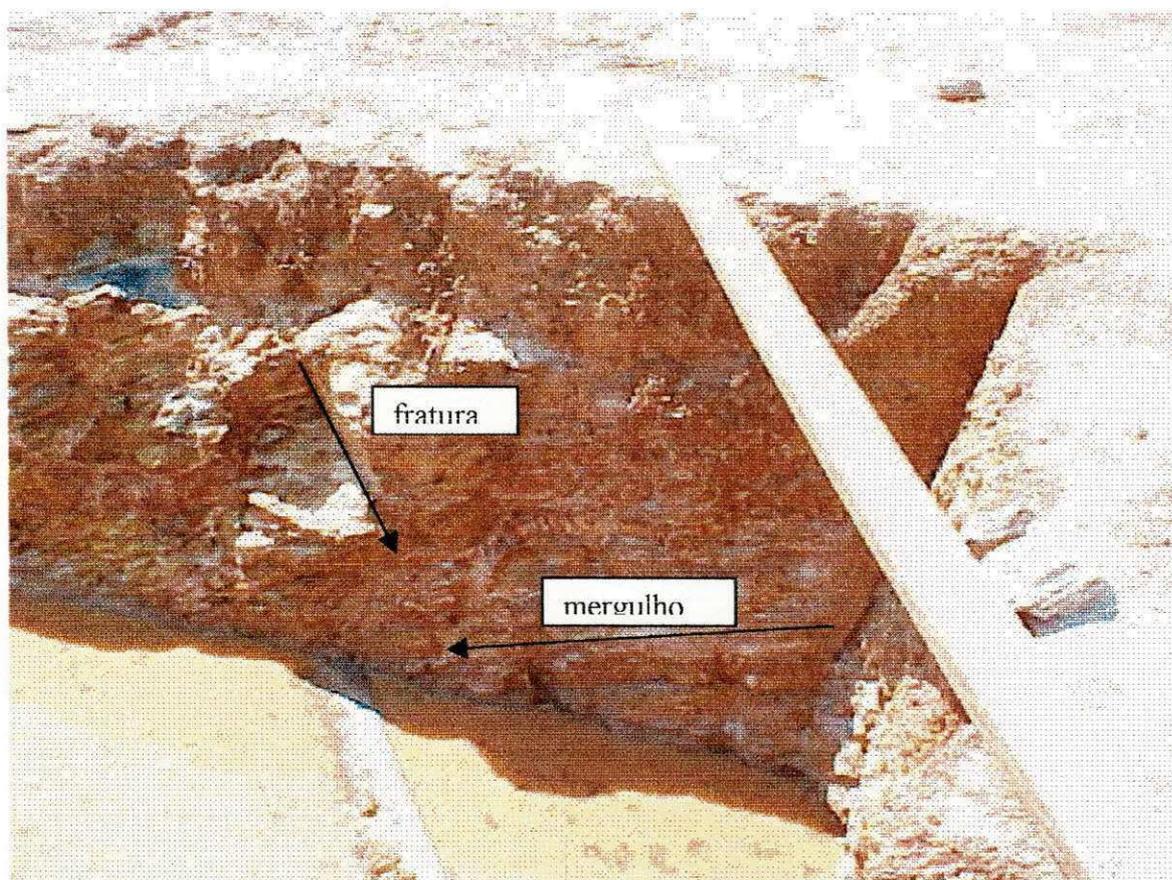


Figura 3.2 - Perfil do solo residual. (CONCIANI, 2002)

Esse solo saprolítico perde a rigidez quando exposto às intempéries. A Figura 3.3 mostra fragmentos de saprolíticos expostos após escavações. Nessa Figura observa-se que fragmentos do saprolito se curvam sem perder o arranjo estrutural originário do filito. Esse arranjo permanece mesmo nas partículas desagregadas sucessivamente.



Figura 3.3 - Vista parcial de fragmentos de saprolitos expostos às intempéries evidenciado. (CONCIANI, 2002).

Na Figura 3.4 vê-se três formas distintas de saprolito: avermelhado é solo originário de intemperismo de meta-arenitos (1); amarelo é solo originário de intemperismo de filito (2); verde-acizentado é solo residual mais jovem, com estrutura e coesão da rocha matriz, o filito (3). Essa variabilidade é comum no Grupo Cuiabá e foi descrita por Vechiato (1987).

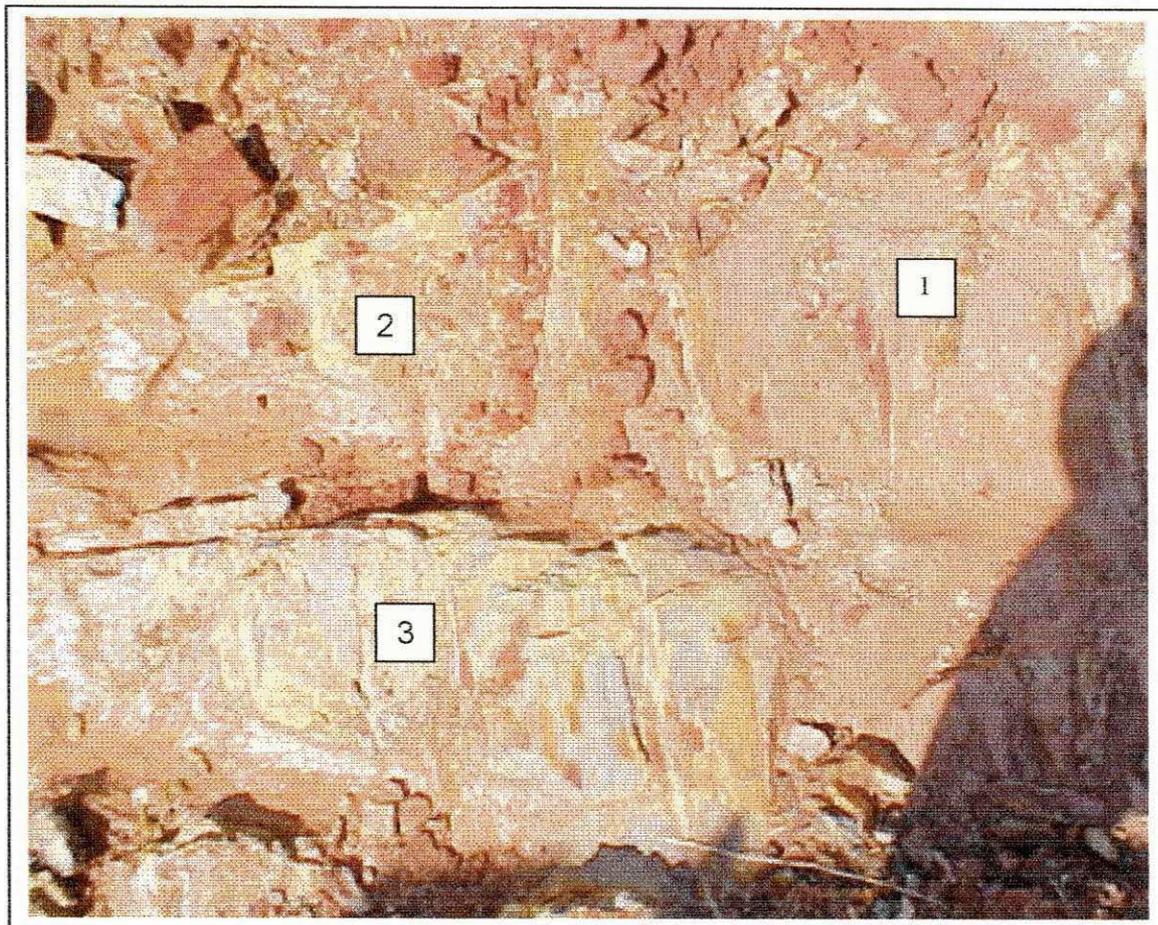


Figura 3.4 - Imagem com identificação de transição entre três tipos de saprolitos: 1- intemperismo de meta-arenito; 2- intemperismo de filito; 3- intemperismo de filito. (CONCIANI,2002)

3.5. SONDAGENS A PERCUSSÃO – S.P.T.

Esses ensaios foram realizados em cinco furos dispersos no terreno. Verifica-se que há uma heterogeneidade do solo, expressa pela variação do valor de N_{spt} e da profundidade do impenetrável. A Figura 3.5 apresenta a variação dos valores de N_{spt} ao longo da profundidade. Nessa figura observa-se por exemplo que o furo 1 foi iniciado em três posições próximas e somente uma delas avançou até 4m de profundidade. No mesmo furo 1, a posição B teve o primeiro e o terceiro valores de N_{spt} superiores a 30. Já o segundo valor é 8. A diferença é concreta e grande.

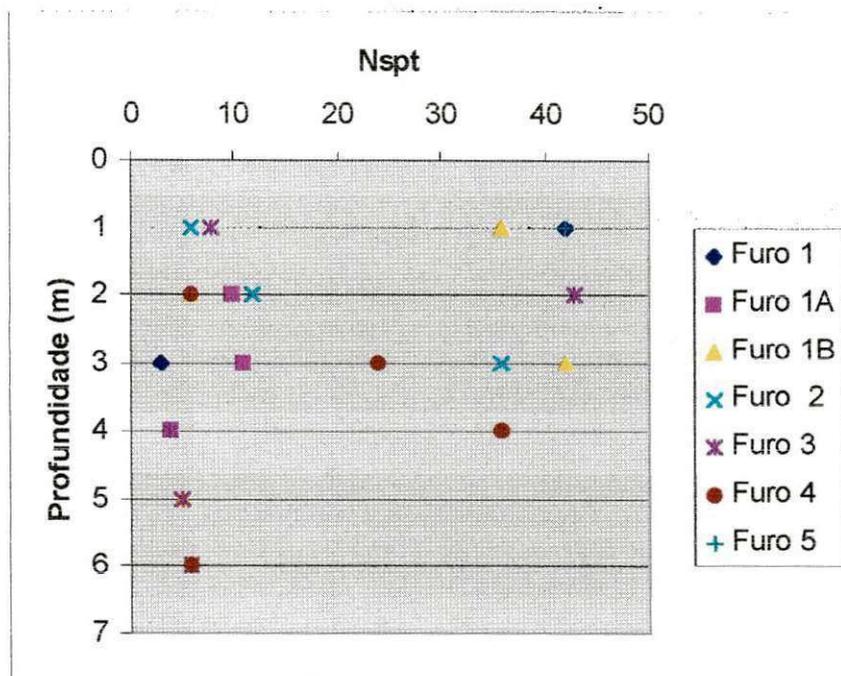


Figura 3.5 – Variação do N_{spt} ao longo da profundidade. (CONCIANI,2002).

3.6. ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

Os ensaios de compactação realizados visam estabelecer comparações entre o comportamento dos solos quando submetidos a diferentes esforços e tratamentos.

Os ensaios de compactação foram efetuados nas três energias, normal, intermediária e modificada como proposto pela Norma brasileira NBR 7182 , sem reuso de material. Admitiu-se um outro ensaio extra que foi efetuado com 5 camadas e 40 golpes por camada sem reuso de material. Com os materiais usados nas compactações acima, isto é, com reuso integral, foram efetuados os ensaios com energia normal . O Quadro 3.1 resume os ensaios realizados. Todos os ensaios foram realizados em duplicata. Uma série foi executada pelo autor e outra por laboratorista experiente . Esse procedimento teve a intenção de eliminar a influência do operador nos resultados

QUADRO 3.1 – Ensaio realizados.

Cilindro	Características inerentes a cada Energia de compactação	ENERGIAS					
		N	I	M	N1	E	N2
Pequeno	Soquete	P	G	G	P	G	P
	Número de camadas	3	3	5	3	5	3
	Número de golpes por camada	26	21	27	26	40	26
	sem reuso	X	X	X		X	
	com reuso integral				X		X

N - energia normal sem reuso.

I – energia intermediária sem reuso.

M – energia modificada sem reuso.

N1 - energia normal com reuso de mistura dos materiais dos ensaios padronizados.

E - extra sem reuso.

N2 - energia normal com reuso de material do ensaio extra 40/5.

P – martelo pequeno

G – martelo grande

No laboratório a amostra foi colocada em bandejas e seca à sombra até à umidade higroscópica. A amostra foi preparada de acordo com a Norma brasileira NBR 6457, passando na peneira de 4,8 mm e homogeneizada. O material retido na peneira de 4,8 mm foi menor do que 7 % em peso, determinando o cilindro pequeno para os ensaios de compactação. Os instrumentos usados tinham as seguintes dimensões:

volume de cilindro..... 994,53 cm³
 massa do soquete pequeno..... 2,495 kg
 massa do soquete grande..... 4,530 kg
 altura de queda do cilindro pequeno.... 29,45 cm
 Altura de queda do cilindro grande.....45,65 cm

Para estimar a umidade inicial foi usado o método de álcool e a partir deste estado a umidade do solo foi aumentada para valores próximos a 5%, 8%, 10%, 12%, 15%, 16%, 18%, 20%, 22% e 24% quando necessários para obter-se uma melhor definição na curva de compactação.

3.7. ENSAIO DE ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

O material para a análise granulométrica foi retirado do solo seco ao ar e homogeneizado. Visualmente os grãos são menores que 5 mm e a norma recomenda a quantidade mínima de 1kg para a realização do ensaio. Desmanchando os torrões dessa amostra no almofariz cuidadosamente para não quebrar os grãos e passá-la na peneira de 2,0 mm de acordo com a norma brasileira NBR 7181. A mistura de água, solo e defloculante foi submetido a dispersão por cinco minutos com possibilidade de preservar o tamanho dos grãos. Além deste ensaio com o solo natural, foram realizados mais três ensaios de granulometria por sedimentação com materiais das amostras após compactação normal, intermediária e modificada com objetivo de verificar a modificação granulométrica significativa com as energias usadas.

O solo estudado neste trabalho tem 8% de areia, 57% de silte e 35% de argila. A curva granulométrica deste solo pode ser vista no Apêndice A. Esta distribuição foi encontrada em ensaios realizados com o solo na condição natural, isto é, as amostras ensaiadas não foram manuseadas antes do ensaio. O manuseio indispensável foi secagem ao ar, destorroamento com bastão de madeira e passagem pela peneira conforme norma brasileira NBR6457.

Após o manuseio do solo as distribuições granulométricas foram reavaliadas e o solo apresentou as composições alteradas como foi apontado por Futai (1997). O Quadro 3.2 apresenta alguns dos resultados encontrados.

Quadro 3.2 - Distribuição granulométrica do solo.

Fração	Solo natural	Solo submetido a energia normal	Solo submetido a energia modificada
Argila (%)	35	30	38
Silte (%)	57	56	46
Areia (%)	8	14	16
Pedregulho (%)	0	0	0

Os limites de Atterberg deste solo indicam um material não plástico e pouco ativo. Esse fato contraria a possibilidade de encontrar-se argilominerais do tipo 2:1 que são bastante ativos. A Figura 3.6 ilustra a posição desta amostra no ábaco de Casagrande conforme modificado por Vargas (1985). Nesta figura fica claro que o solo não é ativo. Este indicativo possivelmente procede do arranjo estrutural do saprolito que traz a mesma "fábrica" da rocha, isto é, o solo apresenta a estrutura xistosa que se quebra na medida em que a amostra é manuseada.

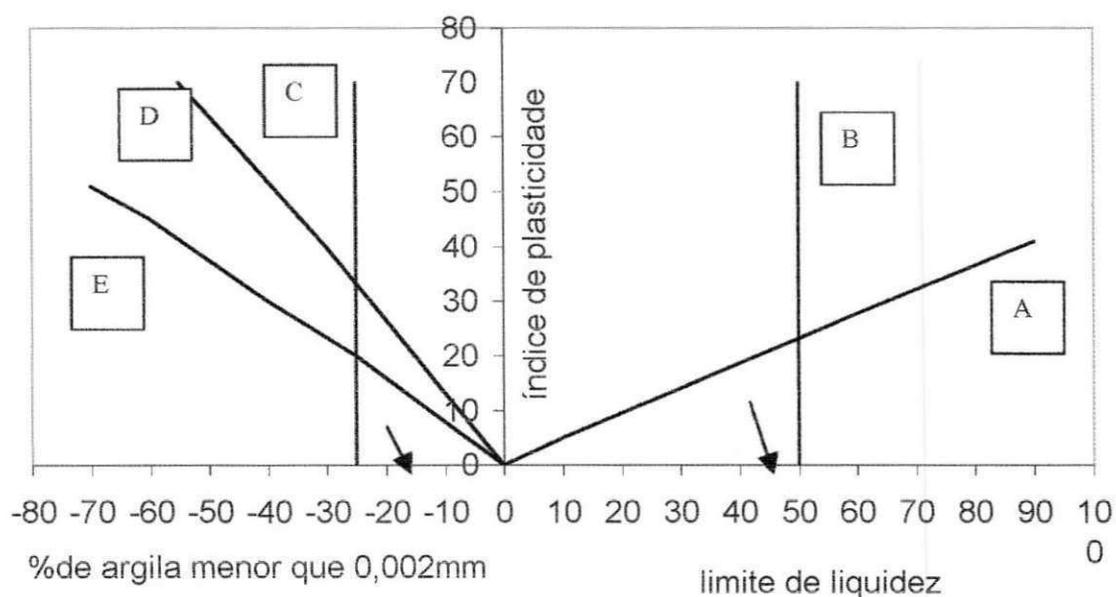


Figura 3.6 – Posicionamento da amostra natural no ábaco de Casagrande, modificado por Vargas (1985).

3.8. DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE ATTERBERG

Os limites de liquidez e plasticidade, também foram determinados para a amostra no estado natural seca ao ar e para os materiais retirados dos corpos de prova após energias de compactações normal, intermediária e modificada, de acordo com as normas brasileiras NBR 6459 e NBR 7180.

3.9. ENSAIO EDOMÉTRICO

Este estudo será realizado com as amostras obtidas dos ensaios de compactação, na energia normal e extra com umidades de 3,77 % , 7,93 % , 8,46 % e 14,38 %.

A amostra estará sujeita a variação de carregamentos verticais e de sucção para quantificar a expansão e a compressibilidade. No início do ensaio aplicar-se-á uma tensão de ± 5 KPa para acomodação da amostra.

Completada a acomodação inicial, o solo será inundado para verificação da expansibilidade. Decorrido o tempo de 24 h a tensão no solo aumentará para ± 50 KPa e esperando-se a estabilização (em torno de 8 h), aplica-se uma pressão de sucção de 50 KPa. Após essas operações, em uma das amostras se manterá a pressão no solo constante e aumentar-se-á gradativamente a sucção, aguardando a estabilização em cada etapa. Na outra, manter-se-á a pressão de sucção constante e se aumentará a tensão no solo por estágios, esperando a estabilização das deformações. Realizar-se-ão ensaios para construção das curvas de compressibilidade, para conhecer a tensão de pré-adensamento e a reta virgem.

Cada divisão do extensômetro empregado equivale a 0,001 mm. Quando o solo diminuir de altura (compressibilidade) convencionou-se como negativo e quando o solo expande positivo. A coluna de água adsorvida foi convencionada como positiva e a que sai do solo como negativa.

4.0. APRESENTAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos nos ensaios realizados e busca dar-lhes uma interpretação. Desta forma espera-se que os dados possam fornecer informações úteis aos profissionais da geotecnia. Os resultados em discussão são os da série realizada pelo autor. A série realizada pelo laboratorista está no Apêndice B.

4.1. COMPACTAÇÃO SEM REUSO DE MATERIAL

4.1.1. COMPACTAÇÃO COM ENERGIA NORMAL

Foram usados onze pontos para o traçado da curva de compactação experimental (cor preta). Se for considerado apenas os quatro primeiros pontos da Figura 4.1, da esquerda para a direita, pode-se determinar a massa específica aparente seca máxima e a correspondente umidade ótima. Isto é, a umidade ótima valeria 9,9 % e o ρ_{dmx} seria 1,63 g/cm³. Depois do quarto ponto, a massa específica aparente seca assume um novo máximo em outra umidade, para depois cair continuamente com o aumento da umidade. Se for traçada uma curva (cor azul) entre os pontos do ensaio tem-se um terceiro ponto de máximo, nesse caso $w_{ot} = 12,0$ % e $\rho_{dmx} = 1,63$ g/cm³.

A existência do segundo máximo poderia ser considerado um erro de operação na execução do ensaio. Nesse caso, pode-se considerar que há outros pontos fora da curva. Os pontos de número 7 e 8 formam um patamar na curva de compactação apresentada na Figura 4.1. Entretanto, esse comportamento, ou algo próximo disto, se repete no ensaio pelo operador 2.

Na prática, a existência dessa banda em lugar de pico na curva de compactação implica dizer que o solo terá o mesmo ρ_{dmx} , para qualquer valor de umidade entre 9 e 17 %. Esse fato é um absurdo para qualquer geotécnico que conheça os princípios de compactação enunciados por Proctor.

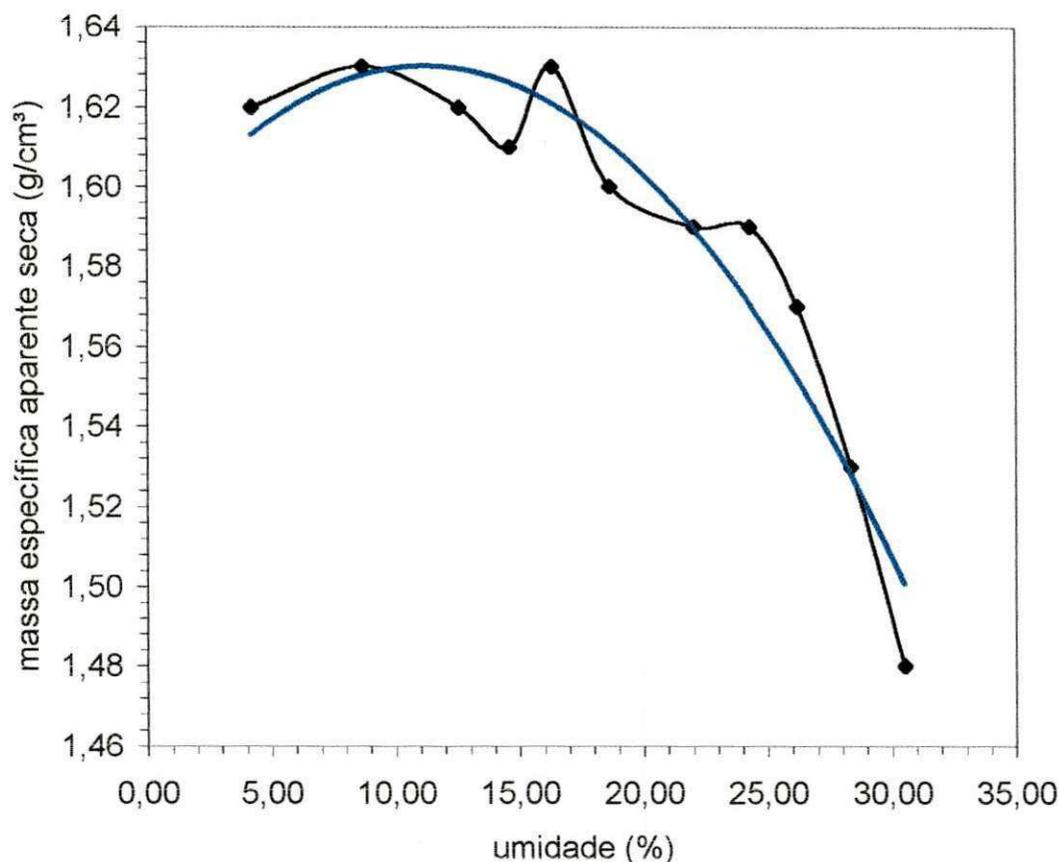


Figura 4.1- Curva de compactação com energia normal sem reuso.

4.1.2. COMPACTAÇÃO COM ENERGIA INTERMEDIÁRIA

Foram utilizados dez pontos para o traçado da curva de compactação experimental (cor preta). Como no quarto ponto da Figura 4.2, da esquerda para direita, houve um acréscimo da massa específica seca com o aumento da umidade e não se pode caracterizar a máxima umidade ótimas nesses primeiros pontos. Do quarto ao sexto ponto também há um patamar, onde a massa específica aparente seca é igual a $1,684 \text{ g/cm}^3$ e permanece praticamente constante e a determinação da umidade ótima ficou imprecisa variando de 13% a 18%. Nesse caso, a máxima massa específica aparente seca da curva traçada manualmente (cor azul) é igual a $1,688 \text{ g/cm}^3$, um pouco maior que o valor do patamar e com umidade ótima igual a 12,8%, menor que deste. No ensaio com operador 2, há um $\rho_{dmx} = 1,68 \text{ g/cm}^3$ e

$w_{ot} = 7,3\%$ e o patamar é caracterizado com $\rho = 1,624 \text{ g/cm}^3$ e umidade na faixa de 7,6% a 10,6%, nesses pontos.

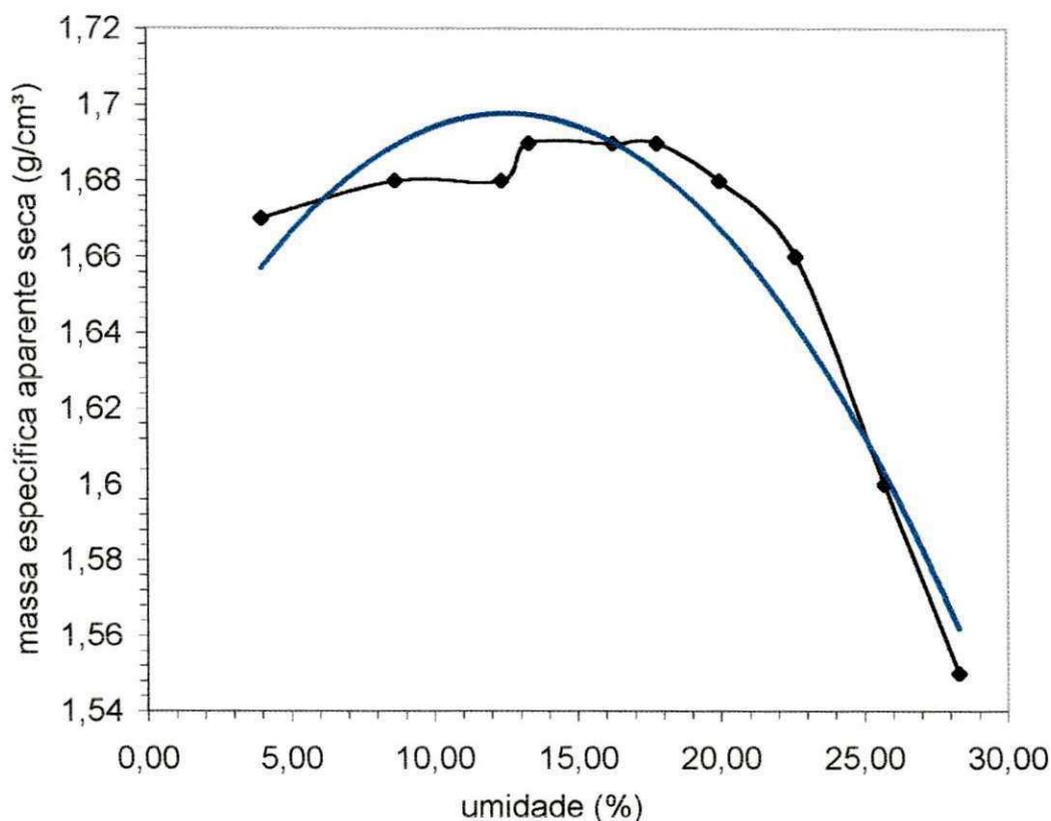


Figura 4.2 – Curva de compactação com energia intermediária sem reuso.

4.1.3. COMPACTAÇÃO COM ENERGIA MODIFICADA

Foram usados nove pontos para o traçado das curva de compactação experimental (cor preta) da Figura 4.3. Nessa curva o ponto de máxima massa específica aparente seca e a umidade ótima podem ser determinados com valores de $\rho_{dmx} = 1,752 \text{ g/cm}^3$ e $w_{ot} = 13\%$. Houve uma dispersão no início do ramo seco que deverá ser analisada na continuidade dos estudos. No ramo úmido a inflexão com um acréscimo, mesmo pequeno e menor que o máximo, não deixa de ser percebido apresentando um pequeno patamar com $\rho_d = 1,74 \text{ g/cm}^3$ e umidade entre 17% e 19%. O máximo da curva traçada (cor azul) é igual a $1,756 \text{ g/cm}^3$ e a umidade 12,6%, muito próximo dos valores da curva experimental.

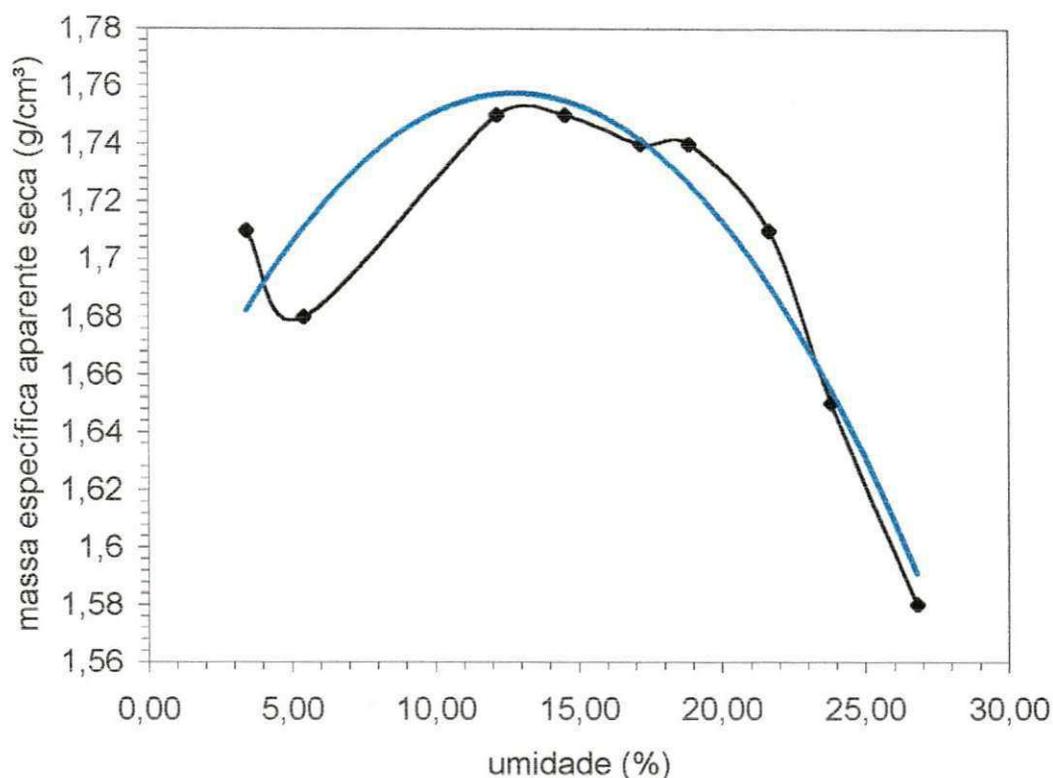


Figura 4.3 - curva de compactação com energia modificada sem reuso.

4.1.4. COMPACTAÇÃO COM ENERGIA EXTRA

Foram usados seis pontos para o traçado da curva de compactação experimental (cor preta) da Figura 4.4. Se considerar todos os pontos, a curva apresenta dois pontos de máximo, permanecendo dúbia a decisão. Supondo que houvesse mais dois pontos no ramo seco da curva, poder-se-ia determinar o ponto de máximo próximo ao quarto ponto. Entretanto, se eliminar o terceiro ponto, o máximo estaria próximo do quarto ponto e com maior valor. Nesse caso, com todos os pontos o máximo da curva traçada (cor azul) praticamente coincide com o primeiro máximo (segundo ponto), mas a umidade é maior.

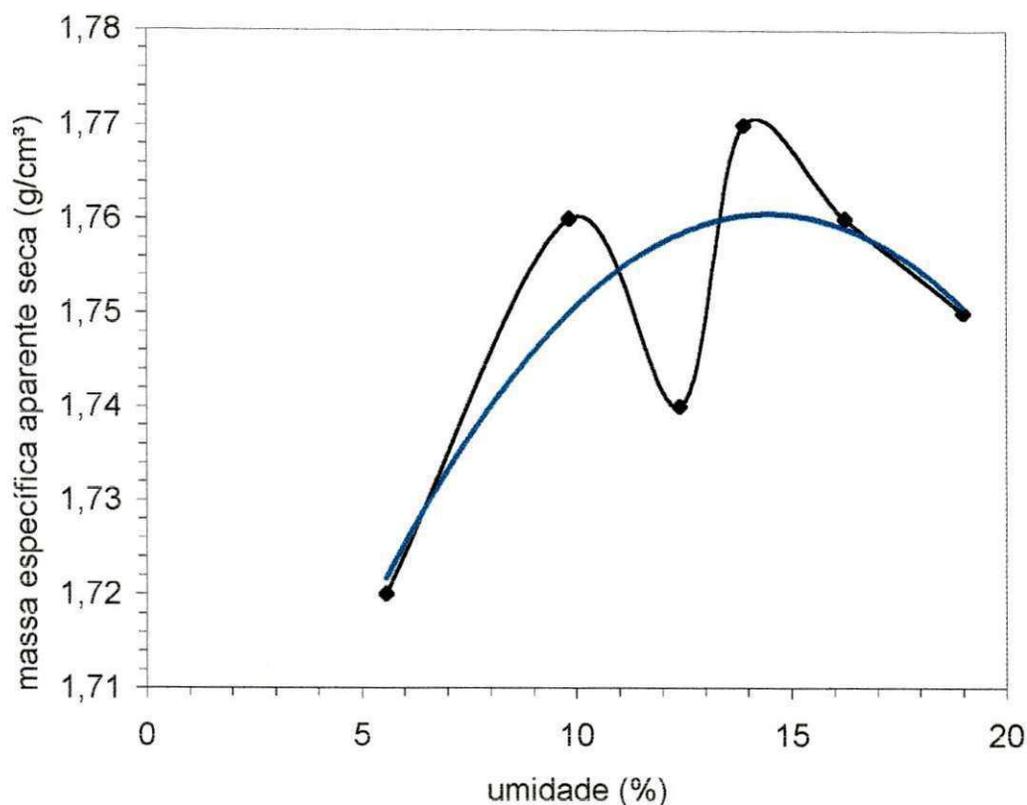


Figura 4.4 - Curva de compactação com energia extra sem reuso.

4.1.5. APRESENTAÇÃO CONJUNTA DAS CURVAS DE COMPACTAÇÕES SEM REUSO DA AMOSTRA

No Quadro 4.1, agrupou-se os valores obtidos para uma melhor visualização e das seguintes constatações:

- com a energia aplicada crescente a umidade ótima aumentou, quando se utilizou os dados da curva experimental;
- as massas específicas aparentes secas não assumem valores muito diferentes nas várias energias ;
- em relação a energia normal, a massa específica aparente seca na energia extra aumentou, aproximadamente, 8% .
- considerando as curvas experimentais, a umidade ótima assume valores variáveis.
- as massas específicas aparentes secas com energias modificada e extra apresentaram poucas alterações (0,28%).

Quadro 4.1- Máxima massa específica aparente seca e umidades dos ensaios sem reuso.

ensaio sem reuso	ρ_{dmx} . (g/cm ³) executados	W_{ot} (%) executados	ρ_{dmx} (g/cm ³) traçado manual	W_{ot} (%) traçado manual
Normal	1,63	8,9	1,62	11,8
normal	1,63	16,4		
intermediária	1,68	8,9-12,5	1,68	12,4
intermediária	1,69	13,5-18,0		
modificada	1,75	13,2	1,76	13,0
extra	1,76	10,0	1,76	14,8
extra	1,77	14,0		

A observação do conjunto das curvas de compactação desse solo pode ser feita na Figura 4.5 . Na figura mencionada, verificou-se que o valor de ρ_{dmx} aumenta de acordo com acréscimo no nível de energia de compactação empregada. Também, é possível verificar que o final das curvas são convergentes, indicando que esses solos atingiram sua saturação. Contudo, a definição de valores de umidade ótima para esses solos é tarefa quase impossível. Esse solo apresenta o que Lee & Suedkamp (1972) *apud* Araújo (1996) denominara de curva distorcida.

A explicação para esse fenômeno pode ser dada por diversos fatos. Dentre os fatos enunciados por Gobara *et al.* (1985) dois se destacam: a não uniformidade e a não homogeneização da amostra. Esses dois fatores se destacam devido a própria estrutura do solo. A existência de placas que se desagregam durante o ensaio faz com que o material não seja uniforme e homogêneo. Além do mais, os solos saprolíticos de filito têm uma elevada adsorção de água.

A não uniformidade dos solos residuais de filito foi comentada por Vargas (1985) e é responsável por parte da anormalidade apresentada pela curva de compactação.

O manuseio desses solos ocasiona quebra de algumas placas (grumos) conforme descrito por Futai (1995). As partículas menores têm maior capacidade de adsorção, portanto, a adição de água aumenta sua disponibilidade para retenção de umidade, fazendo com que o solo não alcance valores maiores de massa específica seca. Isto explica a outra parte do comportamento diferenciado da curva de compactação desse solo.

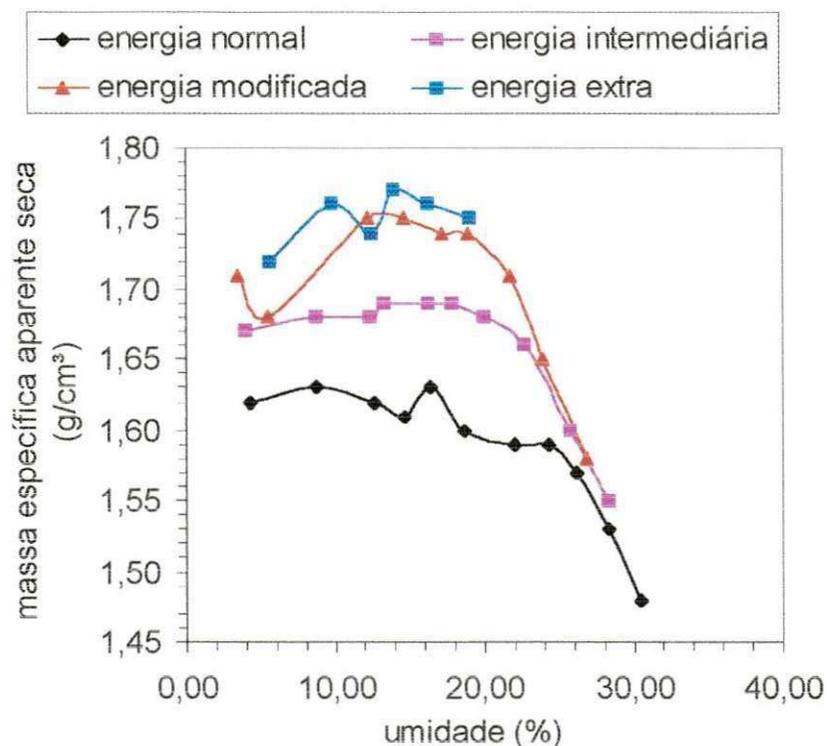


Figura 4.5- Curva de compactação conjunta sem reuso.

Um fato que não pode deixar de ser mencionado aqui é a presença de argilominerais do tipo 2:1 nesses solos. Apesar de não haver ensaios de comprovação, é fato já visto na literatura de que os solos oriundos do intemperismo do Filito apresentam argilominerais do grupo das esmectitas. Estes minerais são expansivos. Ao atingirem uma condição de umidade, que lhes permita adicionar moléculas de água à sua película (camada de água absorvida), eles certamente terão o seu volume aumentado. Desta forma, a expansão dos argilominerais seria a responsável pela queda da massa específica do solo seco no processo de

compactação. Esta queda é vista nas curvas de compactação com pontos fora da curva ou como bandas onde a umidade cresce e a massa específica mantém-se estável, conforme evidenciado na Figura 4.5.

A influência da energia no processo de compactação passa então a ser fundamental. Ao se aumentar a energia de compactação a curva se aproxima do formato tradicional. Isto provavelmente se deve a redução do consumo de água no ensaio.

4.2.COMPACTAÇÃO COM REUSO DE MATERIAL

4.2.1.COMPACTAÇÃO COM ENERGIA NORMAL COM REUSO DA MISTURA DOS MATERIAIS USADOS NOS ENSAIOS PADRONIZADOS

Foram usados seis pontos para o traçado da curva de compactação experimental (cor preta) da Figura 4.6. Se o ponto dois, da esquerda para a direita, não houvesse diminuído a massa específica seca, a curva teria o aspecto padrão para os ensaios. Nesse caso o máximo da curva traçada manualmente (cor azul) é menor que o máximo da experimental, cuja umidade é menor. Constata-se que a curva cresce e diminui bruscamente, indicando que há grande variação da massa específica aparente seca para pouca variação da umidade.

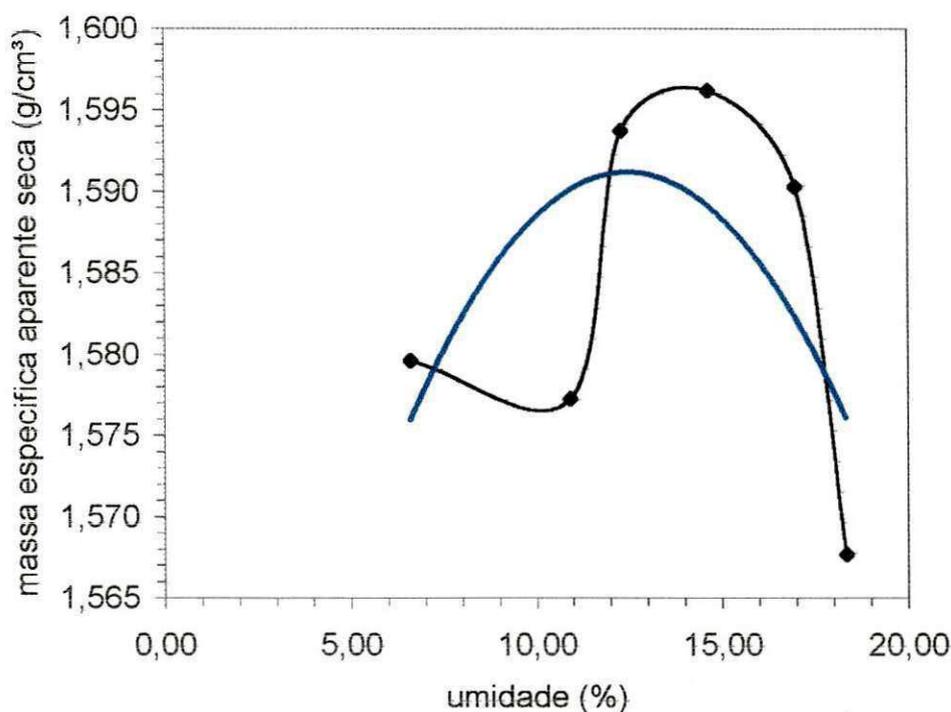


Figura 4.6 - Curva de compactação com energia normal e reuso da mistura dos materiais dos ensaios padronizados

4.2.2. COMPACTAÇÃO COM ENERGIA NORMAL E REUSO DE MATERIAL DO ENSAIO EXTRA

Foram usados sete pontos para a construção da curva de compactação experimental (cor preta) da Figura 4.7. Os pontos segundo, terceiro, quarto, sexto e sétimo, da esquerda para à direita, estão praticamente com a mesma massa específica aparente seca máxima e a umidade variando aproximadamente de 8,5 % a 23 %. O máximo da curva traçada manualmente (cor azul) praticamente coincide com a descrita acima. Se não houvesse o quinto ponto, a massa específica aparente seca permaneceria aproximadamente constante no intervalo de umidade referido acima. Analisando o diagrama, nota-se que após o quarto ponto há uma queda da massa específica aparente seca e em seqüência cresce novamente, sempre com aumento da umidade.

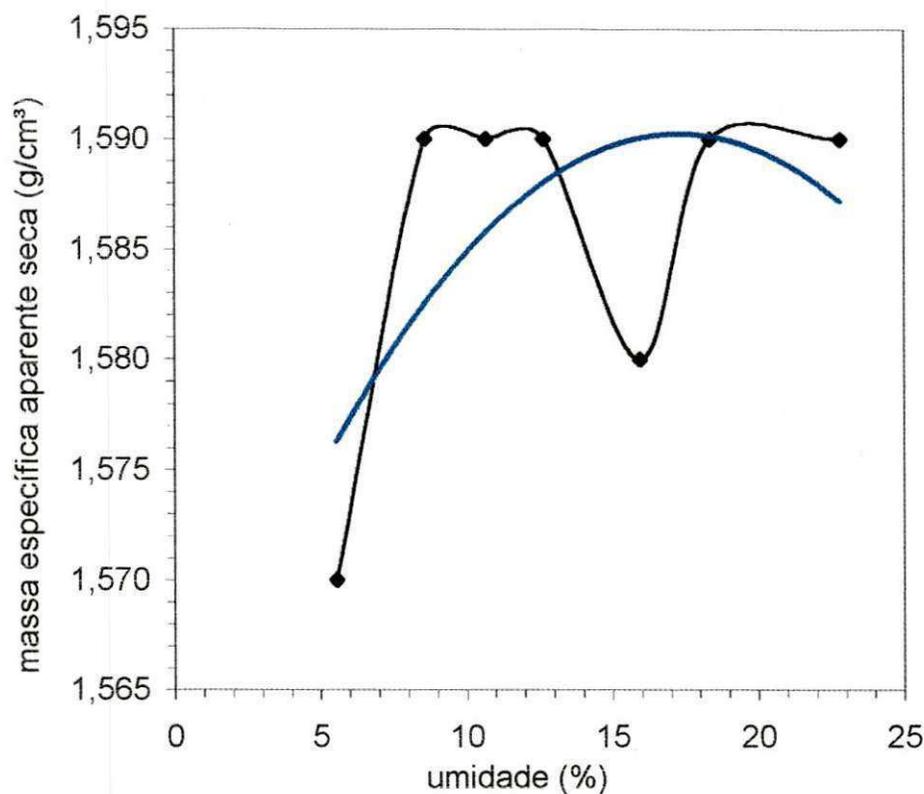


Figura 4.7. Curva de compactação com energia normal e reuso de material do ensaio extra.

4.2.3. APRESENTAÇÃO CONJUNTA DAS COMPACTAÇÕES COM ENERGIA NORMAL E REUSO DE AMOSTRA

Nota-se na Figura 4.8, que os pontos de máxima massa específica aparente seca são praticamente iguais, com maior variação de umidade e o aspecto das curvas não são semelhantes. O solo é o mesmo em diferentes estados de trabalhabilidade, indicando mudança de comportamento com essa ação. Se calcular a média no intervalo de umidade do ensaio extra, pela curva experimental, a variação entre os dois é aproximadamente 11%. Com a curva traçada (cor azul) a alteração é maior em 38%.

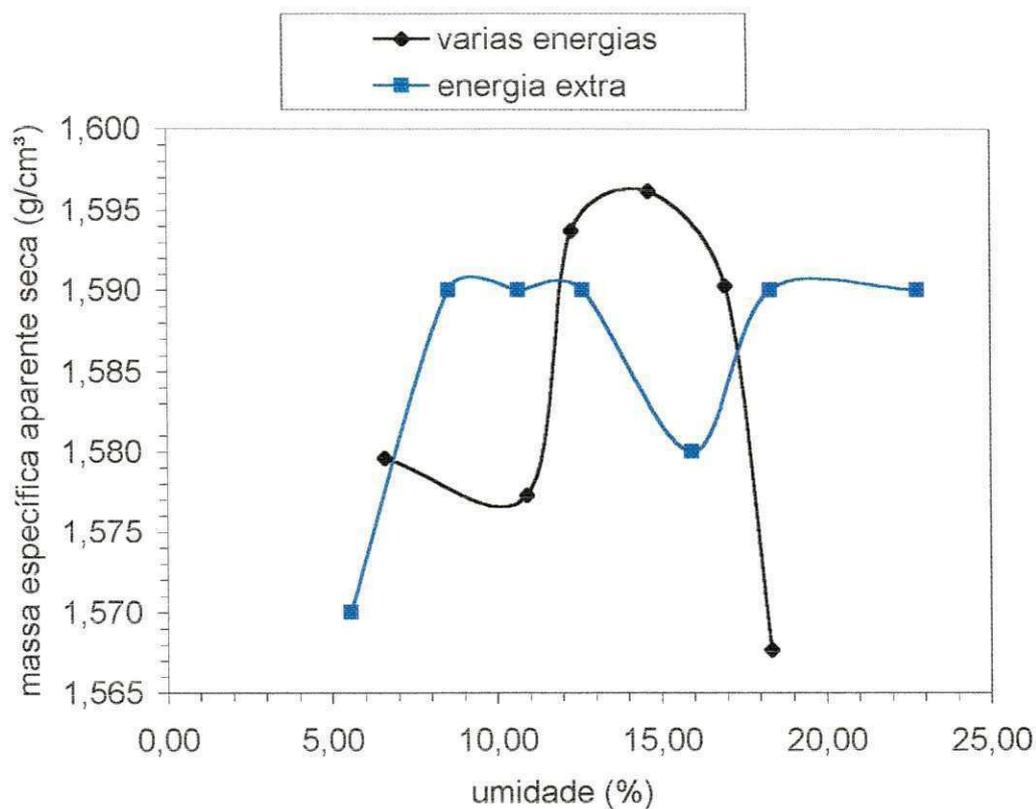


Figura 4.8 – Curvas de compactação conjuntas dos ensaios com reuso de amostras.

No Quadro 4.2, agrupou-se os valores obtidos de massa específica aparente seca máxima e de umidade ótima nos ensaios com energia normal e reuso de materiais dos ensaios padronizados e extra para uma melhor visualização.

Quadro 4.2 - Massa específica aparente seca máxima e umidade ótima com energia normal e reuso.

ensaio com reuso	ρ_{dmx} (g/cm ³) executado	W_{ot} (%) executado	ρ_{dmx} (g/cm ³) ajuste	W_{ot} (%) ajuste
Mistura de materiais	1,59	14,2	1,59	12,4
extra 40/5	1,59	8,5- 23	1,59	17

4.3. COMPARAÇÃO DOS ENSAIOS COM E SEM REUSO

Será feita a comparação relativa a energia normal usada nos dois ensaios com amostras em diferentes estados de trabalhabilidade:

- na compactação com amostra natural a curva de compactação é menos inclinada, inclusive a traçada manualmente, indicando pequena variação de massa específica aparente seca para uma grande variação de umidade;
- na compactação com reuso de amostra a curva de compactação é mais inclinada, inclusive a traçada manualmente, indicando grande variação de massa específica aparente seca para uma pequena variação de umidade;
- com a amostra natural, a deflexão da curva acontece depois do primeiro máximo no ramo úmido da curva. Fenômeno semelhante ocorre quando se faz o reuso do material empregado no ensaio de 40 golpes e cinco camadas. A deflexão está depois de um patamar no lado úmido e após a curva atinge o valor anterior. Usando a mistura de materiais dos ensaios padronizados pode-se supor que a deflexão se situa antes do máximo, no ramo seco da curva;
- verifica-se no Quadro 4.3 que a massa específica aparente seca pouco varia para grandes intervalos de umidade. Em solo mais degradado, a umidade cresce.

Quadro 4.3 - Massa específica aparente seca máxima e a umidade ótima dos ensaios com energia normal sem reuso e com reuso.

ensaio	ρ_{dmx} (g/cm ³) executado	W_{ot} (%) executado	ρ_{dmx} (g/cm ³) ajuste	W_{ot} (%) ajuste
natural	1,63	8,9	1,62	11,8
natural	1,63	16,40	1,59	12,4
N1	1,59	14,2		
N2	1,59	8,5-25	1,59	17

A Figura 4.9 mostra as três curvas de compactação com energia normal para o mesmo solo em estados diferentes de manuseio: a curva na cor preta é para o ensaio sem reuso, a curva na cor vermelha é para o ensaio com reuso da mistura dos materiais dos ensaios padronizados e a curva na cor azul é para o ensaio com reuso do material do ensaio extra. Há indecisão para o técnico em estimar a umidade ótima para determinada obra de engenharia, supondo a degradação com o tempo desse solo.

Apesar das poucas alterações citadas anteriormente, pode-se verificar na Figura 4.9 que o aspecto das curvas foram alteradas de forma marcante. A compactação com reuso de amostras gera curvas mais achatadas. Isto é, o manuseio das amostras muda o comportamento do solo. Entretanto, as alterações indicam que o solo continua a sofrer influências da possível adsorção de água e pela mineralogia.

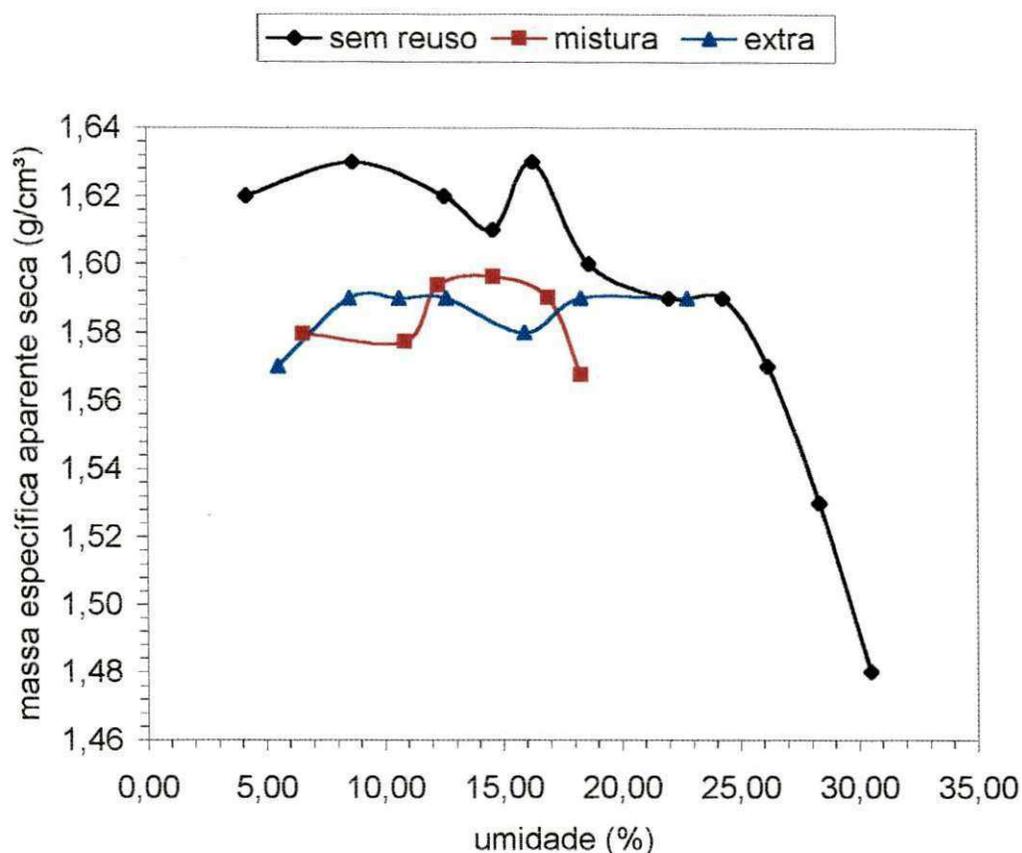


Figura 4.9 – Curvas de compactação com energia normal sem e com reuso das amostras.

4.4. VERIFICAÇÃO DA EXPANSÃO

4.4.1. SOLO COMPACTADO COM ENERGIA NORMAL SEM REUSO

A amostra usada para constatar a expansão desse solo estava compactada com energia normal e umidade de 3,77% , armazenada em câmara úmida após a compactação. A tensão de acomodação foi de 4,49 KPa . A amostra apresentou um acréscimo de altura de 0,0135 cm, produzindo um aumento de volume expandido de 0,589 cm³ e absorvendo 38,468 cm³ de água. A expansão foi de 0,537%.

4.4.2. SOLO COMPACTADO COM ENERGIA EXTRA SEM REUSO

A amostra usada para constatar a expansão desse solo estava compactada com energia extra e umidade de 7,93% , armazenada em câmara úmida após a compactação. A tensão de acomodação foi de 4,49 KPa . A amostra apresentou um acréscimo de altura de 0,0514 cm, produzindo um aumento de volume expandido de 2,244 cm³ e absorvendo 44,579cm³ de água. A porcentagem de expansão foi de 2,046%.

4.5. COMPARAÇÃO DA EXPANSÃO ENTRE AS DUAS AMOSTRAS

No Quadro 4.4 mostra-se que a expansão e a adsorção de água são respectivamente maiores no ensaio com solo compactado com energia extra do que com energia normal, estimados em 58,92 % e 15,88%.

Quadro 4.4 – Expansão e absorção de água entre as duas amostras.

Amostra	W (%)	expansão (%)	água adsorvida (cm ³)
Normal	3,77	0,537	38,468
Extra	7,93	2,046	44,579

Apesar da hipótese assumida de que o solo apresenta curva de compactação irregular por causa da adsorção de água por argilominerais do tipo 2:1, o solo continuou a apresentar expansão no ensaio edométrico. É importante observar que as amostras escolhidas para este ensaio estavam no início do ramo seco da curva de compactação e portanto com um índice de vazios elevado. Logo não seria esperada a expansão. Observa-se também que o solo que apresentou maior expansão foi o que absorveu mais água durante o ensaio. Estes fatos estão de acordo com as leis de comportamento de solos não saturados.

4.6. COMPRESSIBILIDADE

4.6.1. ENSAIO DE COMPRESSÃO EDMÉTRICA PARA UMA AMOSTRA COMPACTADA COM ENERGIA NORMAL E UMIDADE DE 8,46 %

Na Figura 4.10 , com a carga usada no ensaio de compressão edométrica consegue-se identificar a reta virgem, caracterizando uma amostra com menor compressibilidade, pois a variação de vazios é de aproximadamente 0,055 em relação ao acréscimo de cargas de 190 KPa, a identificação da posição na curva do instante em que a força de ligação foi rompida no ensaio realizado (pseudo tensão de pré-adensamento) está em torno de 40 KPa .

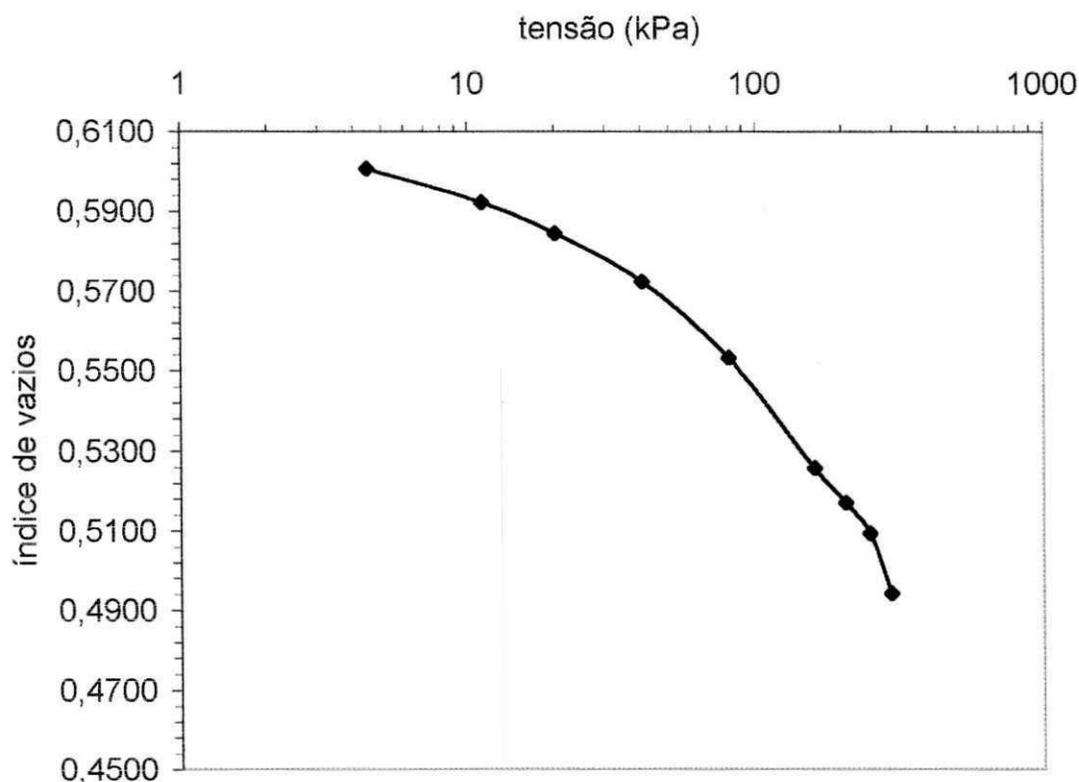


Figura 4.10 - Curva de compressão edométrica usando amostra compactada com energia normal, sem reuso, e umidade de 8,46 %.

4.6.2. CURVA DE COMPRESSÃO EDOMÉTRICA PARA UMA AMOSTRA COMPACTADA COM ENERGIA NORMAL E UMIDADE DE 3,77%.

Na Figura 4.11 a reta virgem está caracterizada após o início da curva e a tensão de pré-adensamento foi determinada usando o método Pacheco Silva, sendo aproximadamente igual a 50 KPa. O termo usado para identificar esta tensão foi pôr semelhança as argilas saturadas. Entretanto, essa denominação não é adequada, pois o solo não foi submetido a carregamento prévio, mas houve o rompimento das forças que ligavam as partículas do solo. Alguns autores usam as expressões como pseudo tensão de pré-adensamento ou tensão de cedência, (PINTO, 2000) . Essa amostra foi mais compressível, pois a diminuição do índice de vazios foi de 0,080, para a mesma variação de tensão (190 KPa).

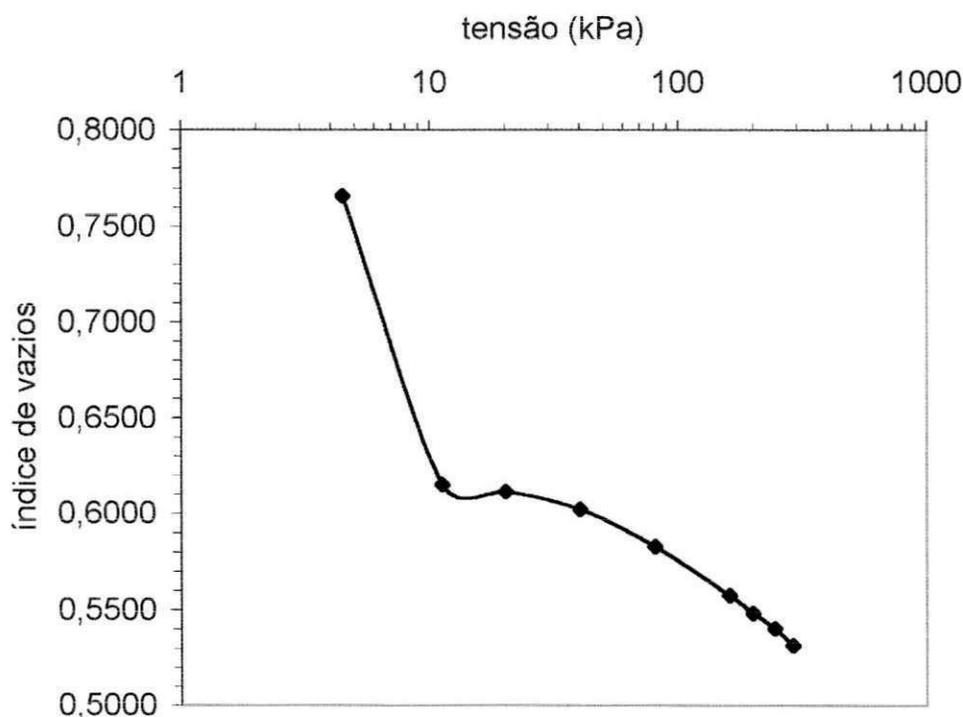


Figura 4.11- Curva de compressão edométrica para a amostra de solo sem reuso, compactada na energia normal com umidade de 3,77%.

4.6.3. CURVA DE COMPRESSÃO EDOMÉTRICA PARA UMA AMOSTRA COMPACTADA COM ENERGIA EXTRA E UMIDADE DE 14,38 %.

Na Figura 4.12 , com a carga usada no ensaio de compressão edométrica consegue-se identificar a reta virgem, caracterizando uma amostra com maior compressibilidade que os outros dois ensaios, pois a curva apresentada é mais inclinada, e a tensão de pré-adensamento está em torno de 60 KPa. A diminuição do índice de vazios foi de aproximadamente 0,105, para a mesma variação de carga.

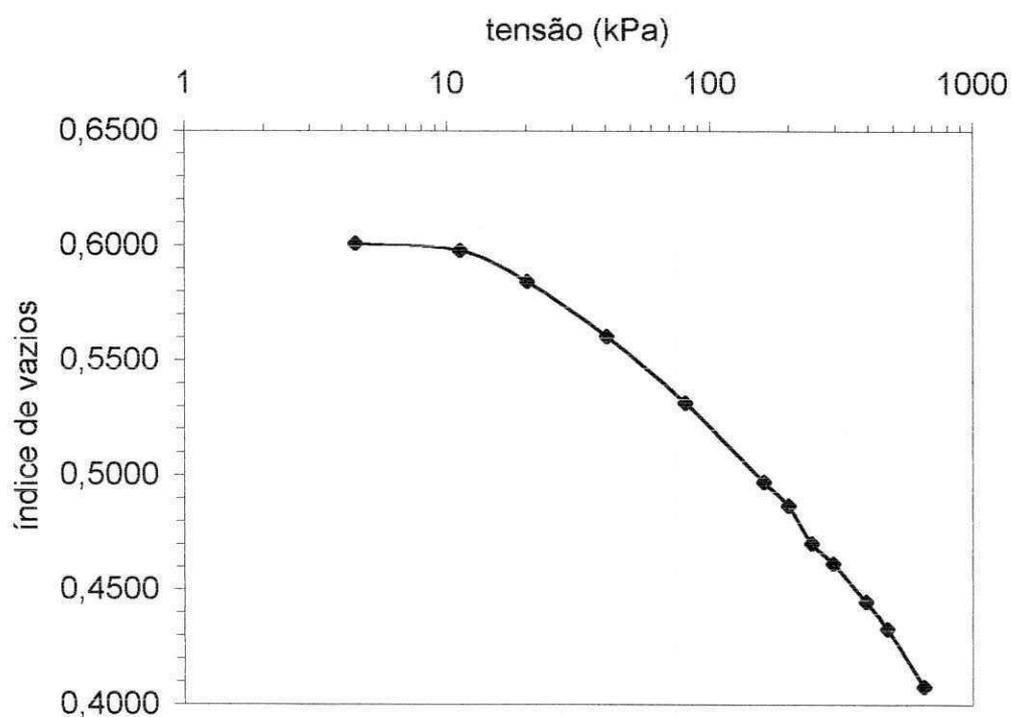


Figura 4.12 - Curva de compressão edométrica, amostra sem reuso, compactada com energia extra e na umidade de 14,38 %.

4.6.4 APRESENTAÇÃO CONJUNTA DAS CURVAS DE COMPRESSIBILIDADE

Na Figura 4.13 apresenta-se as três curvas de compressão para melhor visualizar suas tendências, como citado anteriormente. Com o aumento da degradação do solo, aplicando ao mesmo energias cada vez maiores, a tensão de pré-adensamento aumentou. Quando tem-se a mesma energia e umidade diferentes, a tensão de pré- adensamento é menor para pontos próximo ao ótimo.

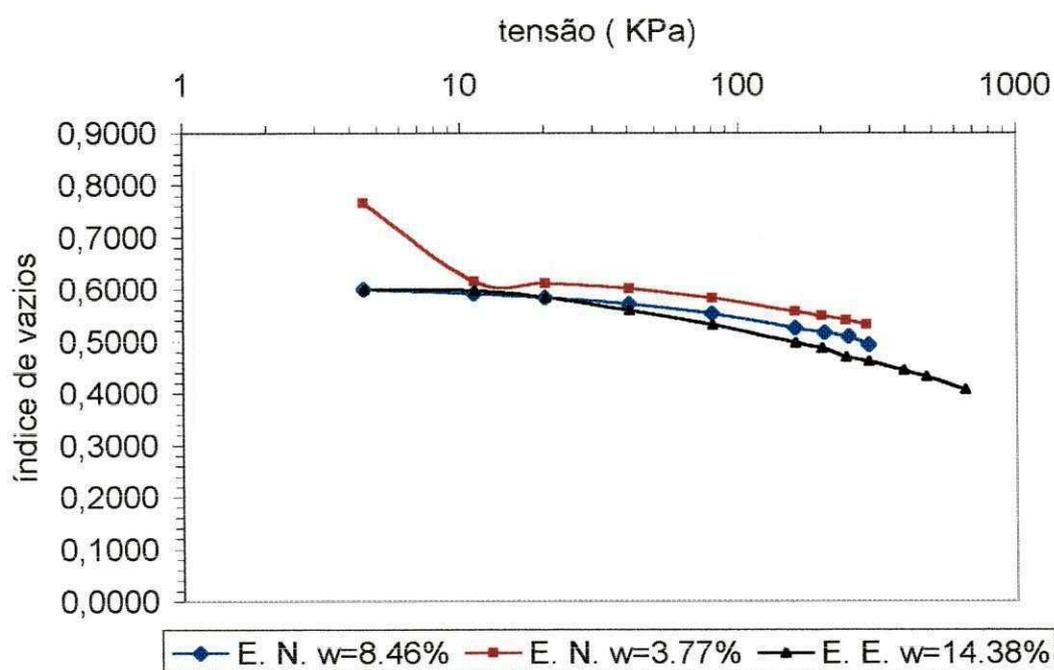


Figura 4.13 – Curvas conjuntas de compressão edométrica. E.N.=energia normal, E.E.=energia extra.

4.6.5. CURVA DE COMPRESSÃO EDMÉTRICA PARA UMA AMOSTRA COMPACTADA COM ENERGIA NORMAL E UMIDADE DE 3,77 %, SUBMETIDA A UMA PRESSÃO CONSTANTE DE 49,44 KPa E VARIANDO A PRESSÃO DE SUCÇÃO.

Na Figura 4.14, verifica-se que o índice de vazios diminui rápido com o aumento da sucção, mas a partir de 70 KPa, a curva é praticamente paralela ao eixo da sucção, mantendo o índice de vazios constante.

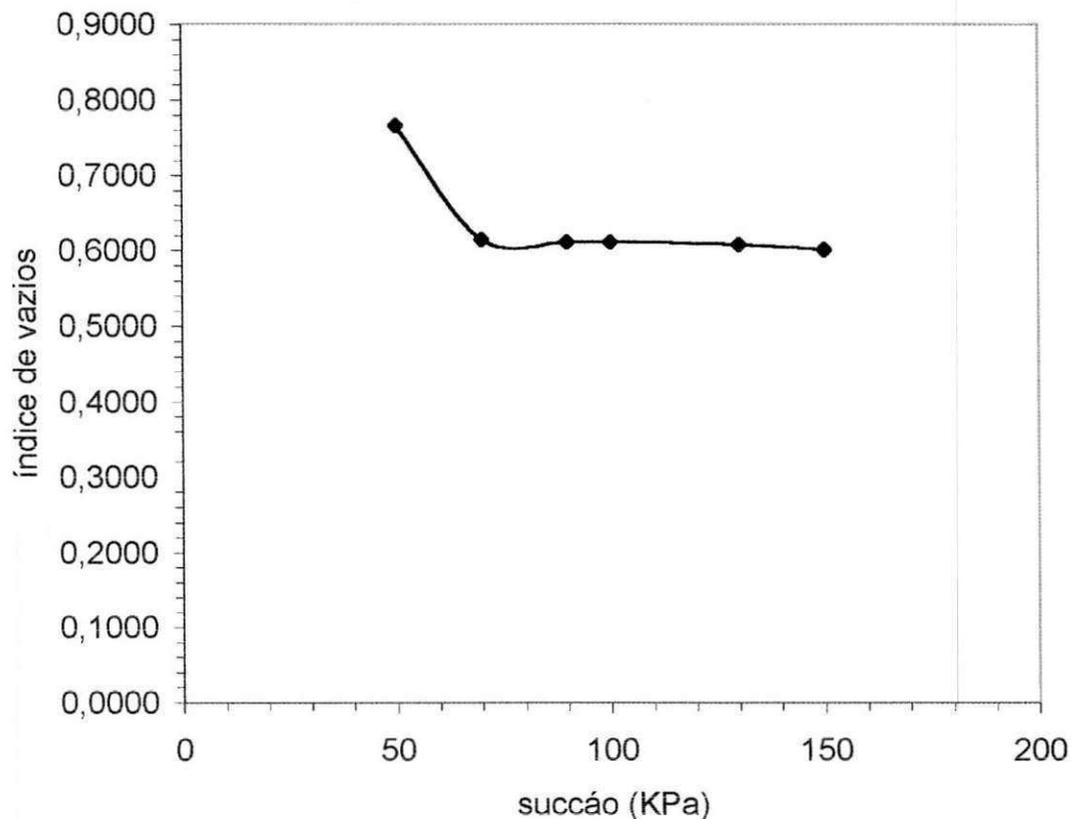


Figura 4.14 Curva de compressão, energia normal e umidade de 3,77 % com variação de sucção.

4.6.6. CURVA DE COMPRESSÃO EDOMÉTRICA PARA UMA AMOSTRA COMPACTADA COM ENERGIA EXTRA E UMIDADE DE 7,93%, SUBMETIDA A UMA PRESSÃO CONSTANTE DE 49,44 KPa E VARIANDO A PRESSÃO DE SUCÇÃO.

Na Figura 4.15, a mudança de inclinação da curva esta em torno de 120 KPa, a partir do qual o índice de vazios diminui menos rapidamente com a pressão de ar aplicada. Sendo a umidade e a degradação maiores a queda do índice de vazios foi mais acentuado no início do ensaio para essa amostra.

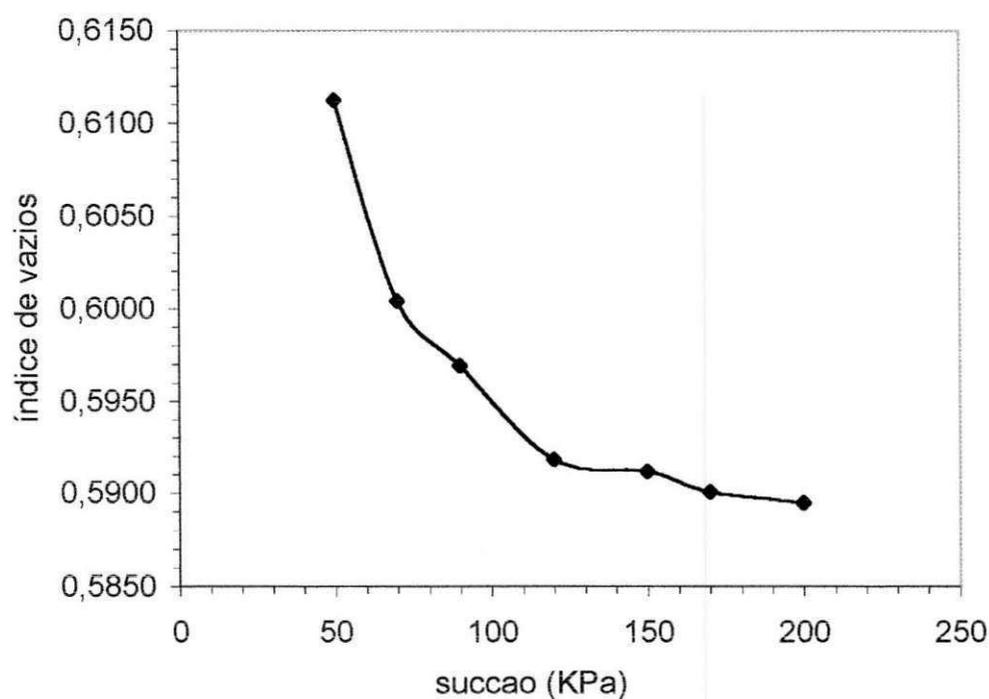


Figura 4.15 Curva de compressão edométrica, energia extra e umidade de 7,93% com variação de sucção.

5.0. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas compactações com energias normal e intermediária as oscilações dos valores máximos da massa específica aparente seca são pequenas em relação ao grau de compactação adotado na prática de engenharia entre 95% a 100%, mas a variação dos valores da umidade é maior respectivamente nos intervalos (8,90 % - 16,40%) 84,27% e (8,90% - 18%) 102,25%. Na compactação com energia extra fato semelhante é constatado.

Submetido a degradação por manuseio o solo saprolítico de filito possui uma maior expansão e absorção de água conforme itens números 4.4.1 e 4.4.2.

O ensaio de granulometria por sedimentação, apêndice A, corrobora para a verificação de que a porcentagem de partículas menores aumenta com o manuseio. Esse solo apresentou-se não plástico e o índice de atividade não foi calculado.

O emprego de amostras sem reuso leva a valores de massa específica aparente seca máxima maiores que aqueles alcançados com amostras já trabalhadas.

Para solos compactados sem reuso de amostras, observa-se que quanto maior a energia de compactação, maior a expansão sofrida pela amostra quando inundada.

Com base nos valores de massa específica aparente seca máxima obtidos, é possível inferir que o solo compactado com amostras retrabalhadas é mais compressível.

Com o traçado das curvas de compactação experimentais, constata-se que estas praticamente não seguem os padrões normalmente aceitos para trabalhos de projetos de engenharia. Este fato é atribuído à presença de argilominerais expansivos.

5.1 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Ao longo da realização deste trabalho previa-se a necessidade de muitos ensaios para confirmar ou negar peculiaridades de comportamento deste solo. Recomenda-se para o conhecimento mais preciso e exato do fenômeno análises mineralógica, cristalográfica e interação água solo em cada experimento, principalmente nos pontos de inflexão da curva de compactação.

5.0. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, A . Algumas consideração sobre o ensaio de compactação, com energia de 585 KJ/M³ . Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP. São Carlos, 1996. 71 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: Amostras de solo-preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7182: Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1986. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459: Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180: Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12007: Ensaio de adensamento unidimensional. Rio de Janeiro, 1990. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA – ABGE. Geologia de Engenharia. São Paulo, 1999. 586 p.

AUGUSTO FILHO, O. ; VIRGILI, J. C. Estabilidade de Taludes. In: Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de geologia de Engenharia-ABGE,1998. 584 p.

BAPTISTA, C. N. Pavimentação. 2ª ed. /tomo II . Porto Alegre: Ed. Globo, 1976. 178 p.

BAPTISTA, C. N. Pavimentação. 2ª ed. /tomo II . Porto Alegre: Ed. Globo, 1976. 178 p.

BARTORELLI, A.; HARALYI, N. Geologia do Brasil. In: Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de geologia de Engenharia-ABGE, 1998. 584 p.

CARVALHO, J. B. Q. Fundamentos da Mecânica dos solos. 1ª ed. Campina Grande: Marconi, 1997. 310 p.

CASAGRANDE, A. Classification and Identification of Soils. Transactions of the ASCE, 113, 1948. p. 901-991.

CASTELNAU, F. Expedição às Regiões Centrais da América do Sul, 1850. Trad. de Pinto, O. M. de O. 2 vol. São Paulo: Ed. Nacional, 1942.

CONCIANI, W. Relatório Técnico 04/2000. Cuiabá: Centro Federal de Educação Tecnológica de Mato Grosso, 2002. 13p.

DAMA, M. A.; MIRANDA, L. M.. Estabilização Química de Solos Expansivos. In: 29ª Reunião Anual de Pavimentação. Cuiabá: Associação Brasileira de Pavimentação, 1995.

EVANS, J. W. The geology of Mato Grosso (Particulary the region drained by the upper Paraguay). Quart. Journal Soc. 50(2). Londres, 1894. 85-104.

DEERE, D. V.; PATTON, F. D. Slope Stability in Residual Soils. In: Proc. 4th Pan American Conference on Soil Mechanic an Foundation Engineering. Puerto Rico, 1971. Vol.1, p. 87-170.

FERNANDES, Nelson Ferreira; AMARAL, Cláudio Palmeiro. Movimento de Massa: Uma Abordagem Geológico-Morfológica. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. (Org.). Geomorfologia e Meio Ambiente. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 1966. 394 p.

FERREIRA, J. C. V. Mato Grosso Política Contemporânea. Várzea Grande : Ed. Memória Brasileira, 1995. 213 p.

FUTAI, M. M. ; SOARES, M. M. ; CONCIANI, W. Propriedades geotécnicas do solo saprolítico da baixada cuiabana. XI COBRAMSEG. Brasília, 1998. p.221-228.

FUTAI, M. M. Propriedades geotécnicas de solos saprolíticos e rochas alteradas de filito. Seminário interno, COPPE 1997. 15 p.

FUTAI, M. M. Comportamento de Fundações em solos Tropicais de Cuiabá. Monografia – Universidade Federal de Mato Grosso, 1995.

GOBARA, W. *et al.* O ensaio de compactação – 9 anos de programa interlaboratorial. In: Reunião anual de pavimentação, 20. Fortaleza, 1985.

HILF, J. W. Compacted fill. In: WINTERKORN, H. F.; FANG. H. *Foundation Engineering Handbook*. N. York : Van Nostrand, 1975. cap. 7, p. 244-311.

HOGENTGLER, C. A. Essentials of soil compaction. Proceedings Highmay Research Board, 1936.

LAMBE, T. W.; WHITMAN , R. V. Mecânica de Suelos. 3ª ed. México: Editorial Limusa S. A., 1981. 582 p.

LEE, P. Y. ; HSU, D.C. Temperature effect on irregularly shaped compaction curves. HRR, nº 438, 1973. p. 16-20

LEE, P. Y. ; SUEDEKAMP, R. J. Characteristics of regulary shaped compaction curves. HRR, 1972, n. 38, p. 1-9.

NOGAMI, J. S.; VILLIBBOR, D. F. Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos. 1ª edição. São Paulo: Editora Vilibor, 1995. 213 p.

PALMIERI, F.; LARACH, J. O. I. Pedologia e Geomorfologia . In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. (Org.). Geomorfologia e Meio Ambiente. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 1996. 394 p.

PINTO, C. S. Curso Básico de Mecânica dos Solos. São Paulo: Oficina de textos, 2000. 247 p.

PORTO, C. G. Intemperismo em Regiões Tropicais. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. (Org.). Geomorfologia e Meio Ambiente. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 1966. 394 p.

PROJETO RADAM BRASIL. Folha SD. 21 Cuiabá. Rio de Janeiro, Ministério de Minas e Energia, 1982. 540 p. (Levantamento de Recursos Naturais, 26).

SANTOS, M. V. *et al.* Zoneamento agro-ambiental de Mato grosso – versão preliminar. Cuiabá, MT- SEPLAN/MT. Vol. 1, Aspectos Geomorfológicos, 1998

SOUZA, M. L. Pavimentação Rodoviária. 2ª edição. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., 1980. 361 p

SKEMPTON, W. The Colloidal Activity of Clays. In: Proc. 3rd ICSMFE. Zurich, 1953.

TRICHÊS, G.; VALLE, N. A utilização de solos residuais saprolíticos na pavimentação em Santa Catarina. In: 29ª Reunião Anual de Pavimentação. Cuiabá: Associação Brasileira de Pavimentação, 1995 a.

TRICHÊS, G.; VALLE, N. Influência do teor de umidade e da recompactação no comportamento de solos residuais saprolíticos utilizados na pavimentação em Santa Catarina. In: 29ª Reunião Anual de Pavimentação. Cuiabá: Associação Brasileira de Pavimentação, 1995 b.

VECCHIATO, A. B. Foto interpretação geológico-geotécnica aplicado ao planejamento urbano de Cuiabá e Várzea Grande-MT. Dissertação de Mestrado-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz :Universidade São Paulo, 1987.

VARGAS, M. Introdução à Mecânica dos Solos. São Paulo: Editora Mcgraw-Hill LTDA, 1978. 509 p.

VARGAS, M. The concept of tropical soils. In: First internacional conference on geomechanics in tropical lateritic and saprolitic soils. 3 vol. São Paulo: Brazilian society for soil mechanics, 1985.

SOUZA, J. L. R.; SANTOS, R. D. Estudo de algumas característica físicas e mineralógicas de interesse para a engenharia em cinco classes de solos derivados de rochas básicas. Empresa Brasileira de Pesquisa agropecuária. Rio de Janeiro, 1997. 14p.

APÊNDICE A.

1.0. Análise granulométrica pôr sedimentação do solo no estado natural.

(Figura A.1)

solo	silte argiloso micáceo
WL	45,8%
WP	não plástico
γ_s	2,65 g/cm ³

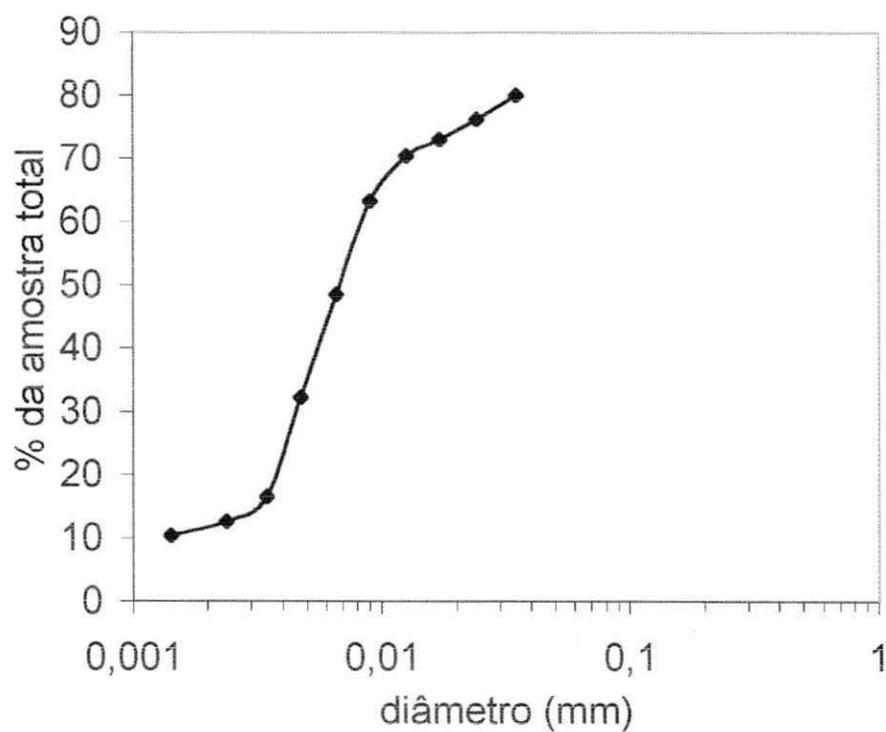


Figura A.1. Curva de granulometria por sedimentação de solo natural.

2.0. Análise granulométrica por sedimentação do solo compactado com energia normal sem reuso. (Figura A.2)

WL 44,4%

WP não plástico

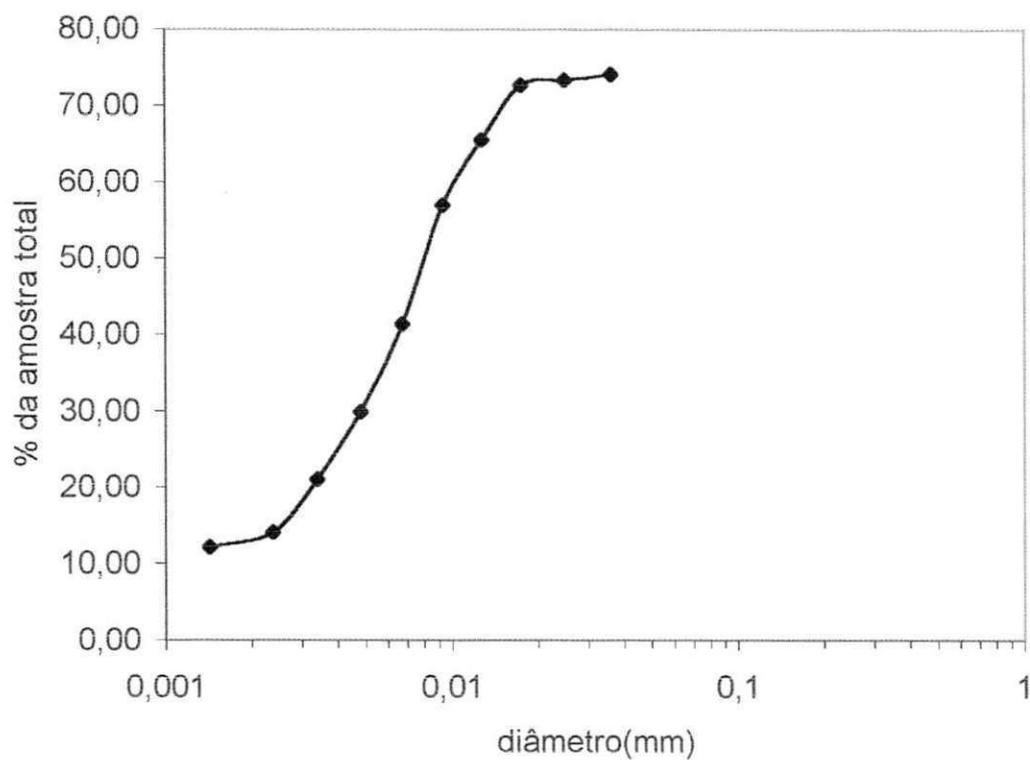


Figura A.2. Curva de granulometria por sedimentação do solo compactado com energia normal sem reuso.

3.0. Análise granulométrica por sedimentação do solo compactado com energia intermediária sem reuso. (Figura A.3)

WL 46,10%
WP não plástico

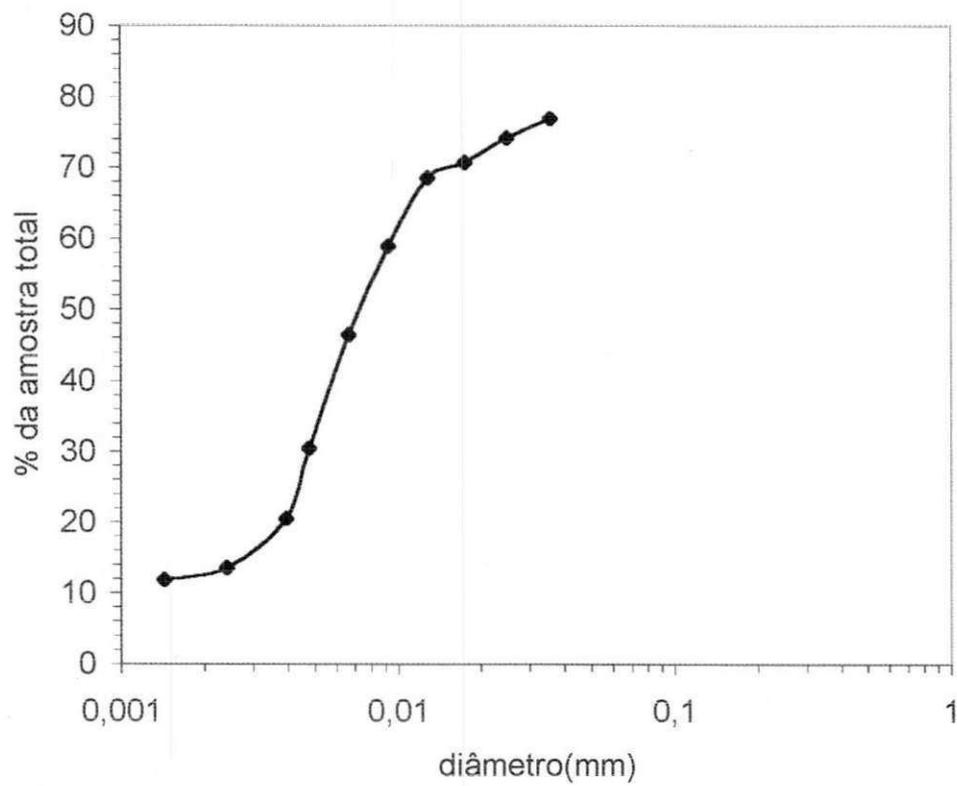


Figura A 3. Curva de granulometria por sedimentação de solo compactado com energia intermediária.

4.0. Análise granulométrica por sedimentação do solo compactado com energia modificada sem reuso.(Figura A. 4).

WL..... 46,0%

WP..... não plástico

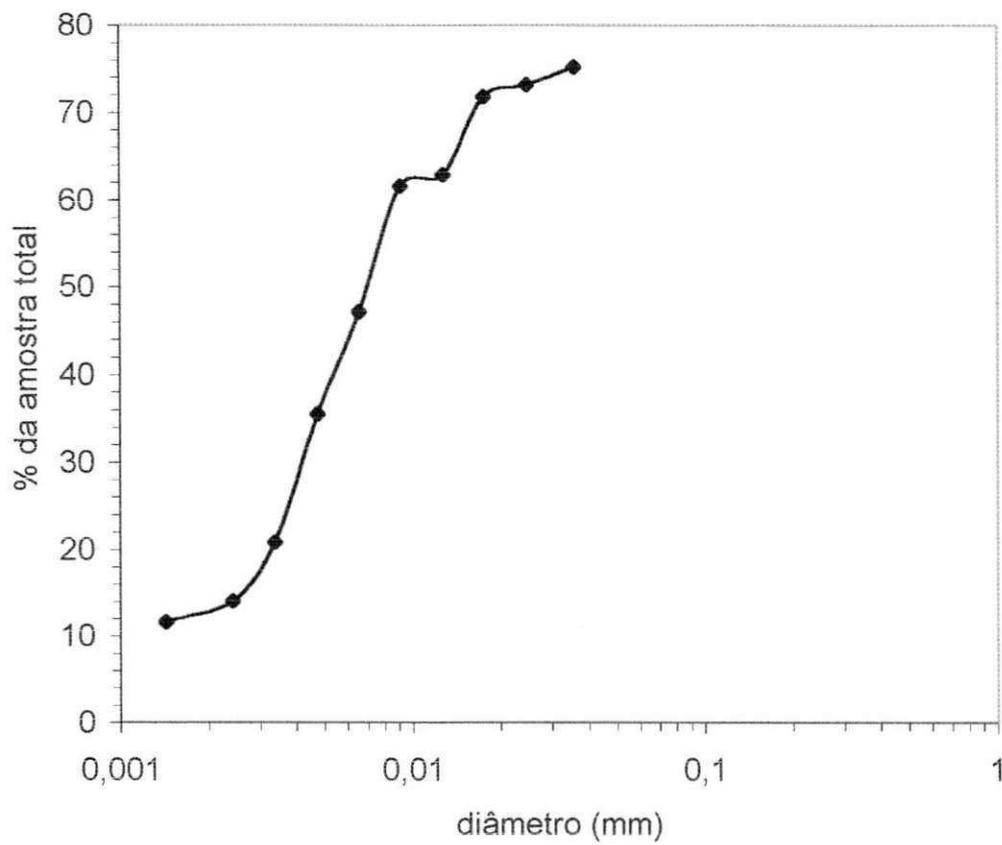


Figura A 4. Curva de granulometria por sedimentação de solo compactado com energia modificada.

APÊNDICE B

B.1. Ensaio de compactação com energia normal sem reuso com operador 2.

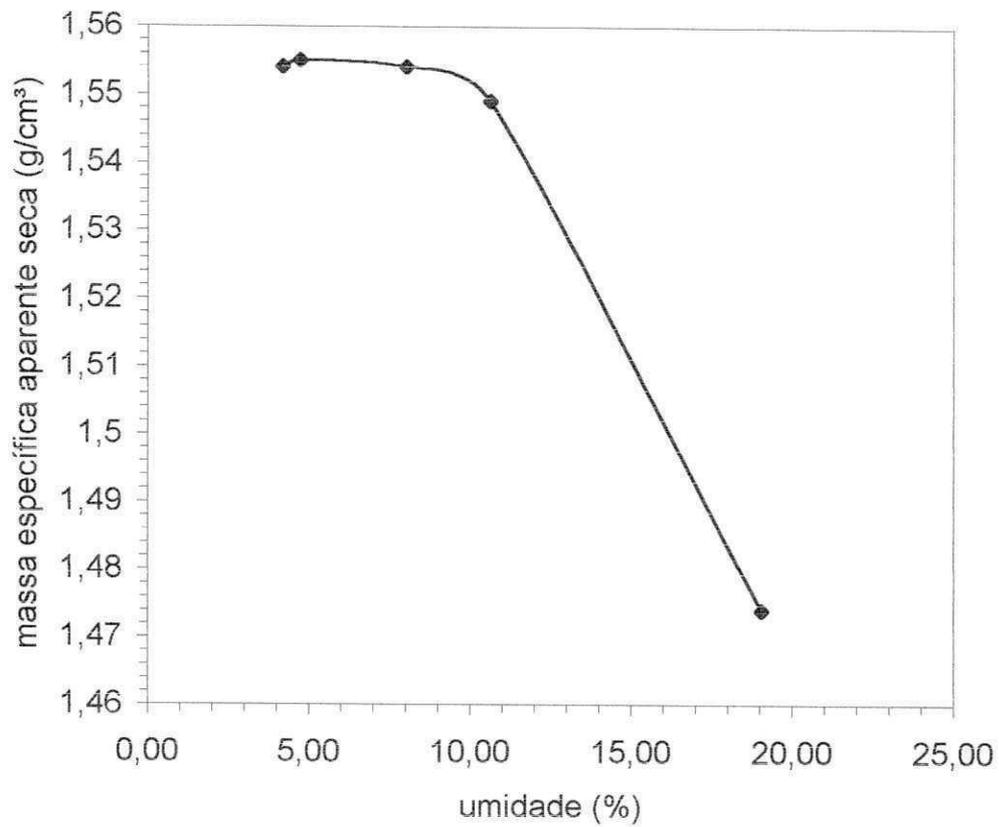


Figura B.1. Curva de compactação com energia normal ,op. 2

B.2. Ensaio de compactação com energia intermediária sem reuso com operador 2.

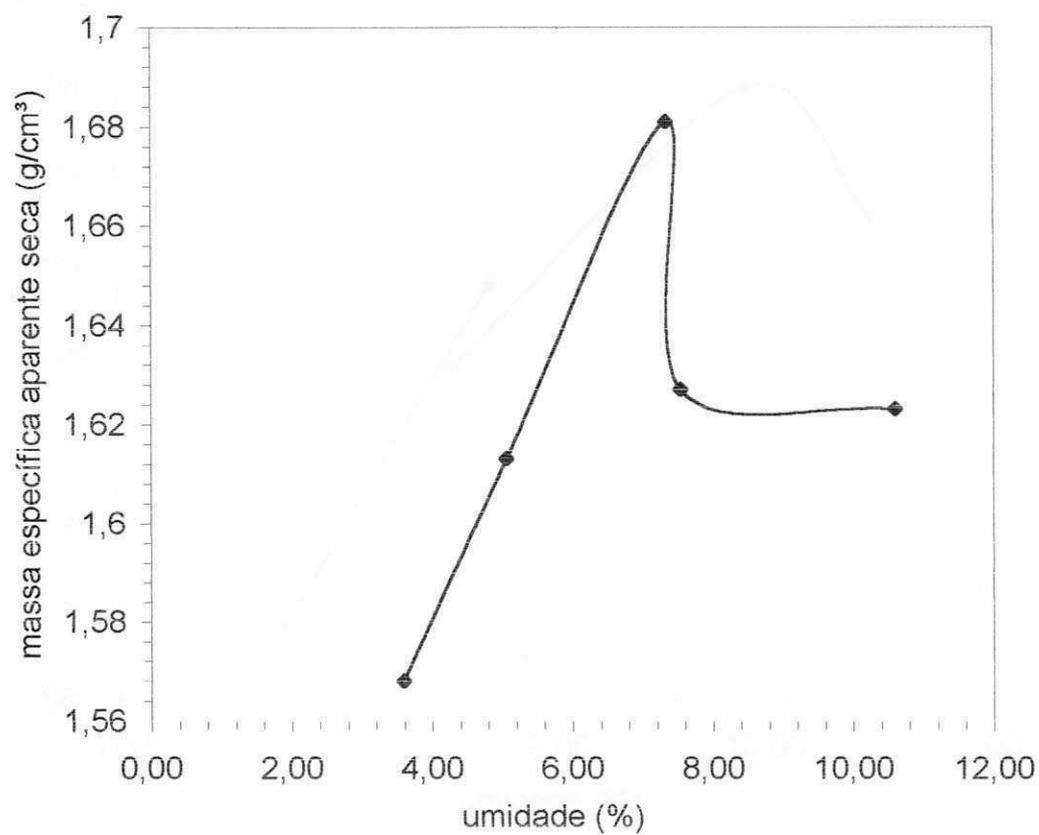


Figura B.2. Curva de compactação com energia intermediária sem reuso, op.2

B.3. Ensaio de compactação com energia modificada sem reuso com operador 2.

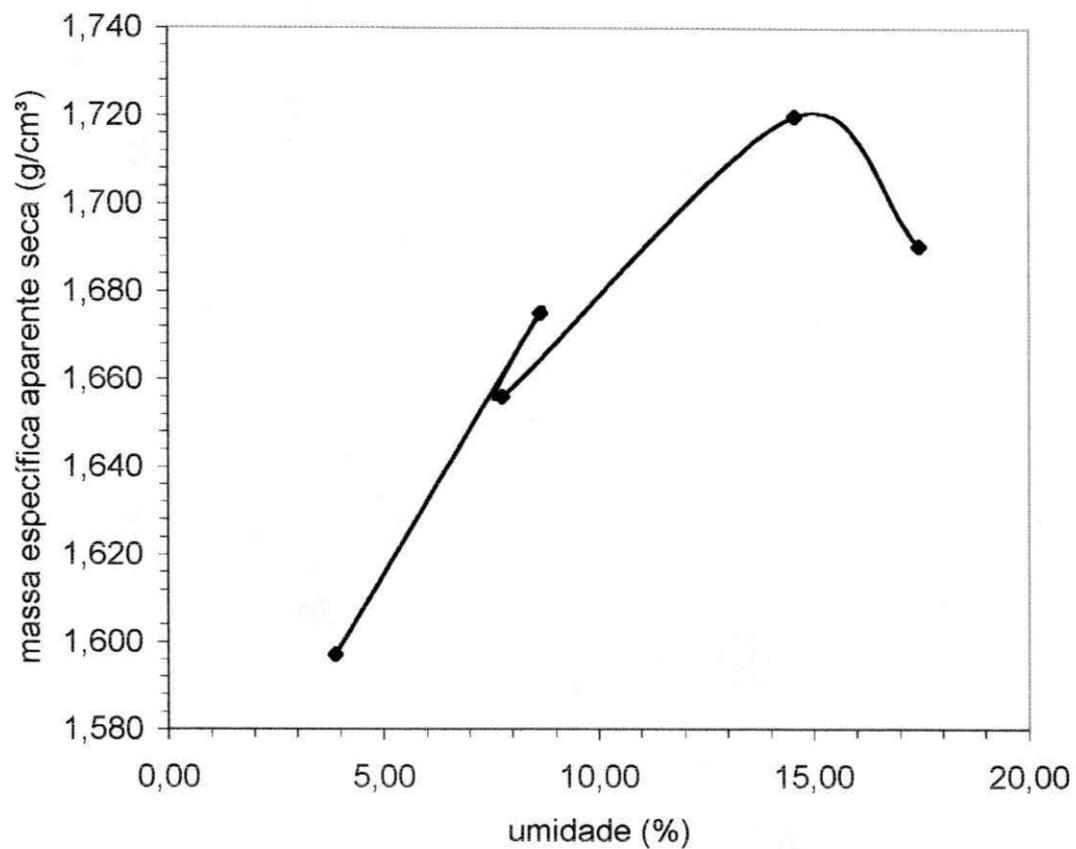


Figura B.3. Curva de compactação com energia modificada sem reuso, op.2

B.4. Ensaio de compactação com energia normal com reuso da mistura dos ensaios padronizado com operador 2.

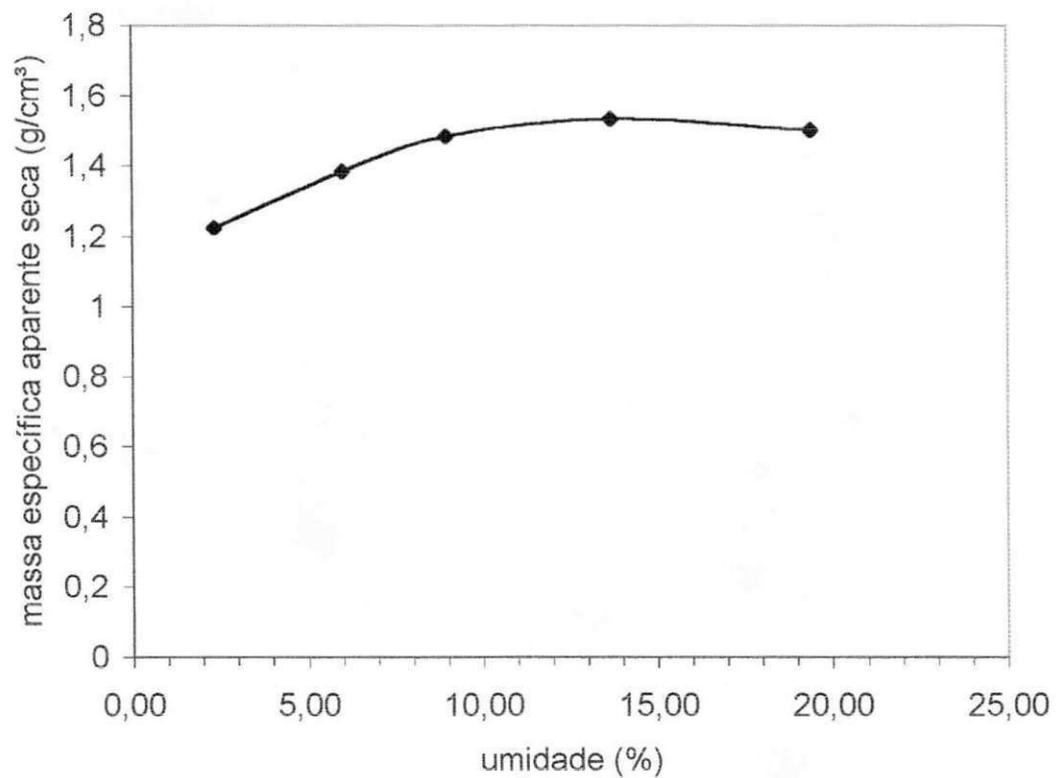


Figura B.4. Curva de compactação com energia normal e reuso da mistura dos ensaios padronizados, op.2.

B.5. Ensaio de compactação com energia normal e reuso do material do ensaio extra com operador 2.

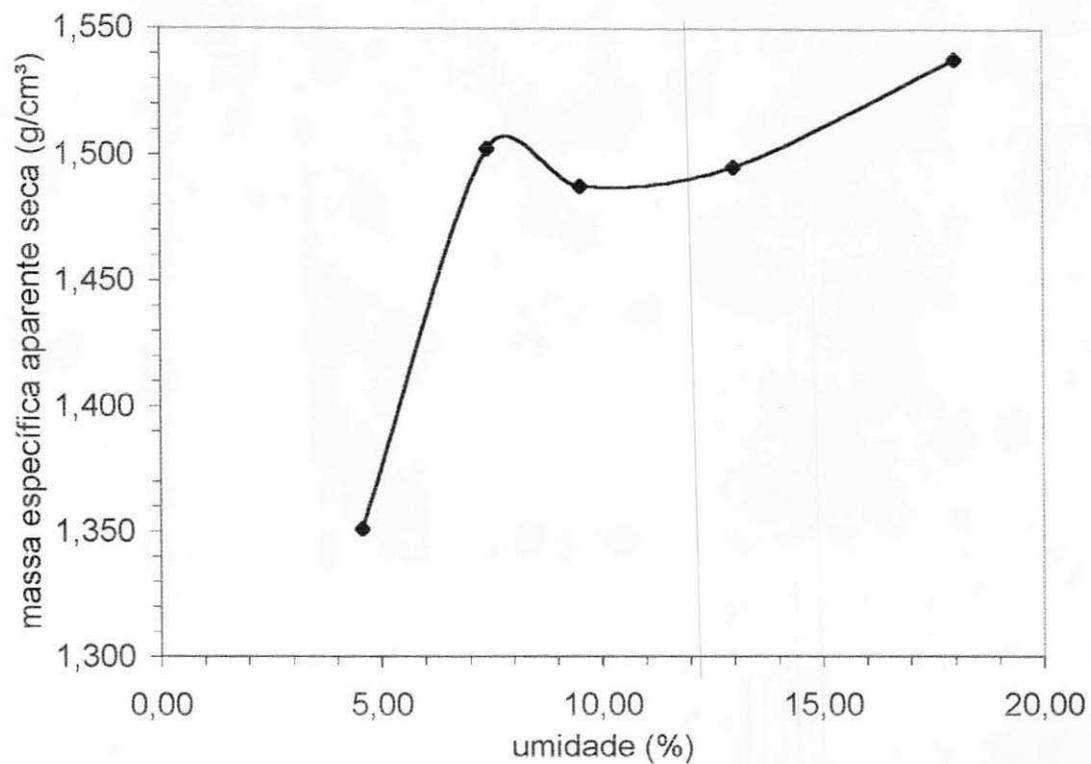


Figura B.5. Curva de compactação com energia normal e reuso do material do ensaio extra, op.2.