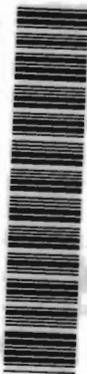


✓

**APLICAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO MCT E DA TÉCNICA DE
ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO A SOLOS DA CIDADE
DE SALVADOR (BA)**

DEDALUS - Acervo - EESC



31100007008

Paulo Cesar Burgos

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Geotecnia

ORIENTADOR: Prof. Dr. Orencio Monje Vilar



São Carlos

1997

Classe.	TESE
Crit.	1308
Tombo	T 0066198

311 0000 7008

5/5 944077

B957a

Burgos, Paulo Cesar
Aplicação da Classificação MCT e da Técnica de
Adsorção de Azul de Metileno a Solos da cidade de
Salvador-BA.
Paulo Cesar Burgos. São Carlos, 1997.

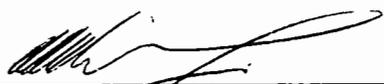
Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia
de São Carlos - Universidade de São Paulo, 1997.
Orientador: Prof. Dr. Orencio Monje Vilar

1. Classificação MCT.
 2. Azul de Metileno.
 3. Solos Lateríticos.
 4. Solos Saprolíticos.
 5. Atividade.
 6. Massapê.
 7. Erodibilidade.
- I. Título

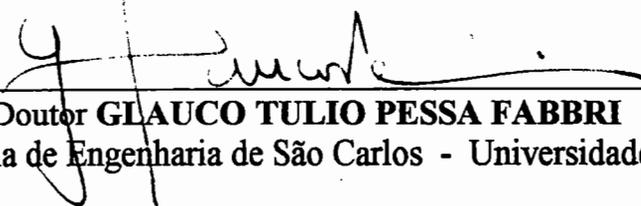
FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Licenciado **PAULO CESAR BURGOS**

Dissertação defendida e aprovada em 19-12-1997
pela Comissão Julgadora:



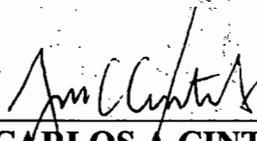
Prof. Associado **ORENCIO MONJE VILAR (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Prof. Doutor **GLAUCO TULIO PESSA FABBRI**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Prof. Associado **MANOEL HENRIQUE ALBA SÓRIA**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



JOSÉ CARLOS A CINTRA
Coordenador da Área de Geotecnia e
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

Ao meu pai Joel e a minha mãe Deny (in memorian);

Às minhas tias Consuelo, Corália, Nice, Carmen e Coly;

Aos meus irmãos Jerry, Ana Paula e Ana Carla;

Às minhas sobrinhas Letícia e Tatiana

e a Evandro Burgos.

Dedico este trabalho

Agradecimentos

Ao Professor Doutor Orencio Monje Vilar, orientador e amigo, pela paciência, compreensão, confiança, dedicação e empenho dados a mim para realização deste trabalho.

Ao Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos, pela oportunidade da realização do curso de Pós-Graduação.

Aos Professores Doutores Glauco Tulio Pessa Fabbri e Manoel Henrique Alba Sória, pelas sugestões e esclarecimentos, fundamentais à esta dissertação.

Aos professores do Departamento de Geotecnia da EESC-USP, pelos conhecimentos transmitidos e pela saudável convivência.

Aos Professores Doutores Nilson Gandolfi, João Baptista Nogueira, Antenor Braga Paraguassu, José Eduardo Rodrigues e Benedito de Souza Bueno, pela excelente convivência, apoio e amizade.

Aos funcionários do Departamento de Geotecnia, em especial a Herivelto Moreira dos Santos, pelo constante auxílio na parte computacional e a *Seu* Antônio pela colaboração constante.

Ao Professor Luis Edmundo Prado de Campos meu guru e amigo.

Ao Professor Evangelista Cardoso Fonseca, pelo constante estímulo e incentivo à realização do curso de Pós-Graduação.

Ao Professor Hernani Sávio Sobral, minha sincera gratidão e admiração.

Ao Professor Lucedino Ribeiro, pela colaboração inestimável nos trabalhos de campo e na área de Pedologia.

Aos Professores Ademir Santos, Cid Gesteira, Erundino Presa, Geraldo Sobral, João Augusto Rocha, João Batista (China), Luís Aníbal Santos, Luís Carlos Fontes e Roberto Guimarães pelo incentivo ao desenvolvimento deste trabalho.

Aos técnicos do Laboratório de Geotecnia da EPUFBA: Bessa, José Renato, Reginaldo, Armando, Mariana e Júlio, pela colaboração nos trabalhos de campo e laboratório.

À Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, por permitir o meu afastamento para a realização do curso de Pós-Graduação.

À todos os demais colegas do Departamento de Ciência e Tecnologia dos Materiais da EPUFBA.

Aos engenheiros civis: Anibal Coelho, Carmine Di Tullio, Clauder Frederico Ponte, Paulo Burgos Duarte, Paulo Peixoto e Sérgio Barroso pelo estímulo à realização deste trabalho.

Ao Professor Moacyr Schwab Menezes, que em muito contribuiu para a realização da presente dissertação.

A Oscar Marback e Célia Burgos Marback, pelo carinho e amor sempre presentes.

À família São Mateus, pela preocupação sempre presente que veio demonstrar, nesse momento difícil, a amizade e o carinho que nunca me faltou.

Ao Grupo OS PODI, pela sólida amizade e excelentes momentos de convivência.

Aos colegas de Pós-Graduação, "Os Espadas": Marcelo Alcântara, Tony Costa, Marcos Malta, Ronaldo Gomes, Benedito Carneiro, Antônio Belicanta, Nilton Campelo, Eduardo Collares, José Carlos Fernandes, Paulo Lins e Paulo Lodi que se tornaram grandes amigos.

A Carina Collares, Patrícia Boix, Mônica Aleixo, Cibele Claúver, Sandra Keila, Letícia Bachion, Juliane Marques, Mírian Carvalho e Silvana Brandão pela compreensão e amizade.

À engenheira química Sílvia Helena Prado Bettini, pela atenção, interesse e esclarecimentos na parte química, além da amizade e carinho transmitido.

Ao Laboratório de Tecnologia de Pavimentação da EPUSP, representado pelos professores Job Shuji Nogami, Liedi Bernucci e o geólogo Helder de Godoy.

À CAPES-PICDT, pela bolsa de estudos concedida.

À Fundação Escola Politécnica - UFBA, pela auxílio financeiro recebido.

Aos demais colegas do Departamento de Geotecnia da EESC/USP, pela convivência e amizade.

À minha família, pelo esforço e dedicação para a minha educação e formação, sem os quais nada seria possível.

E a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

"o meu muito obrigado"

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	iv
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Introdução	4
2.2 Solos Tropicais	4
2.2.1 Conceituação	5
2.2.1.1 Solo	6
2.2.1.2 Solo Tropical	7
2.2.1.3 Solo Superficial ou Pedogenético	7
2.2.1.4 Solo Laterítico	10
2.2.1.5 Solo Saprólítico	11
2.3 Clima	12
2.3.1 Clima Tropical Úmido	12
2.4 Gênese	13
2.4.1 Características Peculiares dos Solos Lateríticos	16
2.4.1.1 Posição no Perfil e Espessura	16
2.4.1.2 Estrutura da Camada	16
2.4.1.3 Drenagem	16
2.4.1.4 Cor	16
2.4.1.5 Macrofábrica	17
2.4.1.6 Microfábrica	17
2.4.1.7 Mineralogia	18
2.4.2 Características Peculiares dos Solos Saprólíticos	19
2.4.2.1 Posição no Perfil e Espessura	19
2.4.2.2 Estrutura da Camada	19
2.4.2.3 Drenagem	20
2.4.2.4 Cor	20
2.4.2.5 Macrofábrica	20

2.4.2.6 Microfábrica	20
2.4.2.7 Mineralogia	21
2.5 Massapê	24
2.5.1 Formação da Bacia Sedimentar	25
2.5.2 Caracterização e Propriedades Geotécnicas Representativas	26
2.5.2.1 Generalidades	26
2.5.2.2 Argilo-minerais	27
2.5.2.3 Aspectos Geotécnicos	27
2.6 Procedimentos para Avaliação de Solos Tropicais	28
2.6.1 Equivalente de Umidade de Campo	28
2.6.2 Expansibilidade	29
2.6.3 Atividade Coloidal	29
2.6.4 Adsorção de Azul de Metileno	30
2.6.4.1 Aplicação aos Solos Tropicais	31
2.7 Classificação Geotécnica MCT (Miniatura, Compactado, Tropical)	32
2.7.1 Introdução	32
2.7.2 Principais Características	37
2.7.3 Generalidades da Classificação MCT	37
2.7.4 Procedimentos de Compactação	38
2.7.4.1 Compactação Segundo Mini-Proctor	38
2.7.4.2 Compactação Segundo Mini-MCV	39
2.7.5 Perda de Massa Por Imersão	41
2.7.6 Coeficiente e'	43
2.7.7 Classificação MCT (Procedimento das Pastilhas - IV Aproximação)	45
2.7.8 Infiltração Vertical	46
2.7.8.1 Generalidades	46
2.7.8.2 Erosão Hídrica	47
2.7.8.3 Método de NOGAMI & VILLIBOR (1979)	48
2.7.9 Classificação MCT e Algumas Correlações	48
3 CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS DOS LOCAIS DE OBTENÇÃO DAS AMOSTRAS	51
3.1 Geologia	51
3.2 Clima	53
3.3 Relevo	53

3.4 Vegetação	54
4 MATERIAIS E MÉTODOS	55
4.1 Método Tradicional	56
4.2 Método MCT (Miniatura, Compactado, Tropical)	56
4.2.1 Procedimento de Compactação Mini-MCV	56
4.2.2 Perda de Massa por Imersão	57
4.2.3 Procedimento das Pastilha (IV Aproximação)	57
4.3 Ensaio de Adsorção de Azul de Metileno	60
4.3.1 Procedimento de PEJON (1992)	61
4.3.1.1 Preparação da Solução de Azul de Metileno	61
4.3.1.2 Preparação da Amostra	61
4.3.1.3 Aparelhagem e Materiais	62
4.3.1.4 Execução do Ensaio	62
4.3.1.5 Capacidade de Troca de Cátions (CTC)	63
4.3.1.6 Superfície Específica (SE)	63
4.3.1.7 Valor de Azul de Metileno Adsorvido (VB)	64
4.3.1.8 Índice de Atividade da Fração Argilosa (Acb)	66
4.3.2 Procedimento de FABBRI (1994)	67
4.3.2.1 Preparação da Amostra	67
4.3.2.2 Aparelhagem e Materiais	67
4.3.2.3 Execução do Ensaio	68
4.3.2.4 Valor de Azul (Va)	69
4.3.2.5 Coeficiente de Atividade (CA)	70
4.3.2.6 Valor de Azul (Va) versus Percentagem de Argila (fração < 0,005)	70
4.4 Potencial Hidrogeniônico (pH)	73
4.5 Capacidade de Troca de Cátions (CTC)	74
4.6 Método de NOGAMI & VILLIBOR (1979)	75
4.6.1 Ensaio de Absorção (Infiltrabilidade)	75
4.6.2 Ensaio de Perda de Massa por Imersão	75
4.6.3 Índice de Erodibilidade (E)	76
5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	78
6 CONCLUSÕES	104
7 ANEXOS	106
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	170

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Formação de Solos	15
Figura 2.2	Designação genética geral das camadas de solo, nas regiões tropicais	15
Figura 2.3	Microfábrica de solo laterítico	18
Figura 2.4	Microfábrica de solo saprolítico	21
Figura 2.5	Curvas de afundamento, perda de massa por imersão e umidade de compactação versus número de golpes	43
Figura 2.6	Família de curvas de compactação	43
Figura 2.7	Gráfico da classificação MCT	44
Figura 2.8	Dados qualitativos das propriedades mais significativas da classificação MCT	45
Figura 4.1	Minipenetrômetro (MCT - Pastilhas)	58
Figura 4.2	Contração diametral das pastilhas	58
Figura 4.3	Pastilhas de solo submetidas à infiltração de água	59
Figura 4.4	Penetração nas pastilhas com uso do minipenetrômetro	59
Figura 4.5	Gráfico da classificação MCT (Pastilhas)	60
Figura 4.6	Influência da mineralogia das argilas sobre a adsorção de azul de metileno	65
Figura 4.7	Diagrama de atividade das argilas pelo método de azul de metileno	66
Figura 4.8	Equipamentos utilizados na execução do ensaio de azul de metileno pelo método da mancha	68
Figura 4.9	Equipamento do ensaio de absorção de água	75
Figura 4.10	Ensaio de perda de massa por imersão	76
Figura 5.1	Curva de compactação de um solo laterítico	78
Figura 5.2	Curva de compactação de um solo saprolítico	79
Figura 5.3	Curvas de deformabilidade e de perda de massa por imersão do ensaio de Mini-MCV de um solo laterítico	80
Figura 5.4	Família de curvas de compactação de um solo laterítico	80
Figura 5.5	Curvas de deformabilidade e de perda de massa por imersão do ensaio de Mini-MCV de um solo saprolítico	81
Figura 5.6	Família de curvas de compactação de um solo não laterítico	81

Figura 5.7	Carta da classificação MCT	88
Figura 5.8	Índice c' versus percentagem de argila ($D < 0,005$ mm)	90
Figura 5.9	Índice c' versus contração diametral das pastilhas	91
Figura 5.10	Índice e' versus penetração	91
Figura 5.11	Limite de Liquidez versus teor de umidade de moldagem das pastilhas	92
Figura 5.12	Teor de umidade ótimo (Mini-MCV) versus teor de umidade de moldagem das pastilhas	92
Figura 5.13	Relação entre as massas específicas aparentes secas máximas dos procedimentos de Mini-MCV e Proctor Normal	93
Figura 5.14	Relação entre os teores de umidade ótimos pelos procedimentos de Mini-MCV e Proctor Normal	93
Figura 5.15	Carta de atividade para a fração de solo menor que 0,005 mm	94
Figura 5.16	Índice VB versus percentagem de argila	96
Figura 5.17	Índice A_{cb} versus percentagem de argila	97
Figura 5.18	Coefficientes de atividade (CA) para as frações de solo inferiores a 0,005 mm e 0,002 mm	99
Figura 5.19	Carta de atividade para a fração de solo menor que 0,002 mm	99
Figura 5.20	Carta de Plasticidade	100
Figura 5.21	Carta de atividade de Skempton	101
Figura 5.22	Gráfico da atividade coloidal de Skempton (AC) versus coeficiente de atividade (CA) de FABRI (1994)	102
Figura 5.23	Infiltrabilidade versus perda de massa por imersão	103

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1	Resumo das características peculiares dos solos lateríticos e saprolíticos	23
TABELA 4.1	Provável mineralogia das argilas sobre a adsorção de azul de metileno.	65
TABELA 4.2	Valores de azul (Va) e coeficiente de atividade (CA), em função da superfície específica medida pelo método do azul de metileno.	71
TABELA 5.1	Resumo dos dados de campo	82
TABELA 5.2	Resumo dos ensaios	84
TABELA 5.3	Resultados de contração e penetração do método alternativo das pastilhas	86
TABELA 5.4	Resultados dos ensaios da MCT (Mini-MCV) e MCT (Pastilhas)	87
TABELA 5.5	Previsão de comportamento (MCT) e graus de atividade (Azul de metileno)	95
TABELA 5.6	Coeficientes de atividade (CA) para as frações de solo inferiores a 0,005 mm e 0,002 mm.	98

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

- AASHO - American Association of State Highway Officials
- AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials
- ABMS - Associação Brasileira de Mecânica dos Solos
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- AC - Atividade Coloidal
- Acb - Quantidade de azul de metileno adsorvida por 100 g de argila
- ACS - Arfield Classification System
- ASTM - American Society for Testing and Materials
- BS - British Standard
- C - Concentração da solução padrão de azul de metileno (Normalidade)
- c' - Coeficiente de deformabilidade da classificação MCT
- CA - Coeficiente de Atividade
- CBR - California Bearing Ratio
- CTC - Capacidade de Troca Catiônica
- D - Dispersibilidade
- d' - Coeficiente que caracteriza o ramo seco da curva de compactação (12 golpes)
obtida pelo método MCT
- Das - Densidade Aparente Seca
- E - Índice de Erodibilidade
- e' - Índice da classificação MCT, calculado em função de P_i e d'
- e' _{mod} - Índice proposto por Ignatius, calculado em função de D e d'
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias
- FME - Field Moisture Equivalent
- HRB - Highway Research Board
- IG - Índice de Grupo
- IP - Índice de Plasticidade
- ISC - Índice de Suporte Califórnia
- ISSMFE - International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering
- k - Coeficiente de Permeabilidade
- L - Índice de Laterização
- LC - Limite de Contração
- LCPC - Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, França

LL - Limite de Liquidez

LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal

LP - Limite de Plasticidade

MCT - Miniatura, Compactado, Tropical

MCV - Moisture Condition Value

pH - Potencial Hidrogeniônico

Pi - Coeficiente que caracteriza a Perda de Massa por Imersão, na classificação

MCT

P - Perda de Massa por Imersão do Ensaio de Erodibilidade

S - Absorção de Água do Ensaio de Erodibilidade

SE - Superfície Específica

TRRL - Transport and Road Research Laboratory

USCS - Unified Soil Classification System

V - Volume de Solução Padrão de Azul de Metileno Consumida

Va - Valor de Azul

VB - Valor de Azul de Metileno Consumido por 100 g de solo

w - Teor de Umidade

w_n - Teor de Umidade Natural

w_{ot} - Teor de Umidade Ótimo

RESUMO

BURGOS, P. C. (1997). *Aplicação da Classificação MCT e da Técnica de Adsorção de Azul de Metileno a Solos da Cidade de Salvador (BA)*. São Carlos, 1997. 198 p. *Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.*

Este trabalho apresenta a caracterização e a classificação de solos da cidade de Salvador através da aplicação do Método MCT (Miniatura, Compactado, Tropical), incluindo-se o seu Método Alternativo (Procedimento das Pastilhas) e o Ensaio de Adsorção de Azul de Metileno. Observou-se a compatibilidade da classificação MCT com a origem pedológica e/ou geológica dos materiais. Constatou-se que a atividade medida pela técnica do azul de metileno proposta por FABBRI (1994) e os grupos da classificação MCT apresentaram uma significativa relação. O Método Alternativo quando comparado com o Procedimento de Mini-MCV, mostrou resultados satisfatórios. Também é feita uma análise comparativa com as classificações tradicionais objetivando um maior conhecimento das propriedades geotécnicas desses solos para projetos e obras civis. (Informações sobre a Capacidade de Troca de Cátions (CTC) e o Potencial Hidrognônico (pH) auxiliaram na interpretação dos resultados.) *

Palavras-chave: Classificação MCT; Azul de Metileno; Solos Lateríticos; Solos Saprólíticos; Atividade; Massapê e Erodibilidade.

ABSTRACT

BURGOS, P. C. (1997). *Aplication of MCT Classification System and Methylene Blue Method to soils from Salvador (BA). São Carlos, 1997. 198 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.*

This dissertation presents the classification and characterization of Salvador city soils using the MCT Classification System, including the Alternative Method (Pastile) and the Methylene Blue Method. Pedological origin and MCT classification were found to be highly related. It was also shown that the activity measured through methylene blue method was related to MCT classification system groups. Alternative Method has classified soils in the same group as MCT conventional Method, although some deviation has occurred. Comparative analysis with Traditional Classification Methods have been carried out to get a better knowledge about the geotechnical properties of this soils to be used in design and construction. Information about Cation Change Capacity and Hydrogenionic Potential helped on results interpretation.

Keywords: Classification System MCT; Methylene Blue Method; Lateritic Soils; Saprolitic Soils; Activity; Expansive Soils; Erodibility.

1 INTRODUÇÃO.

Desde a sua fundação, a cidade de Salvador vem se modificando de maneira acelerada e, nesse processo, as formas de ocupação do meio físico foram fatores determinantes das transformações econômicas e por consequência, políticas e sociais. Vários são os problemas decorrentes da ocupação desordenada, pretende-se observar por exemplo, o acelerado processo degradativo (deslizamentos, erosões, etc) que os solos vêm sofrendo, principalmente, por ações antrópicas.

Os solos tropicais, os quais podem ser de natureza laterítica, residual, transportado e/ou saprolítica, encontram-se, comumente, em regiões do globo onde situam-se os países em desenvolvimento, como o Brasil. Os solos tropicais têm sido pouco estudados nos países de regiões temperadas onde a Mecânica dos Solos foi inicialmente desenvolvida, tornando-se assim, de fundamental importância pesquisas sistemáticas sobre os mesmos.

A classificação desenvolvida por NOGAMI & VILLIBOR (1981), denominada de MCT, constitui o exemplo mais bem sucedido das novas propostas que procuram dar um enfoque mais adequado às características e peculiaridades dos solos desenvolvidos em ambiente de clima tropical.

Nas palavras de COZZOLINO & NOGAMI (1993):" a identificação e classificação dos solos tropicais, através do método MCT (Miniatura, Compactado, Tropical), justifica-se pelas limitações dos procedimentos tradicionais (USCS e HRB) a essa finalidade. A aplicabilidade dessa classificação foi consideravelmente expandida, sobretudo para utilizações não especificamente viárias, com o recente desenvolvimento do procedimento das Pastilhas, o qual permite identificar os

grupos da classificação MCT. Obtêm-se assim, resultados mais rapidamente, com menor custo e, eventualmente mais efetivos do que aqueles obtidos com o uso de procedimentos tradicionais de objetivos similares”.

Uma alternativa promissora de classificar os solos tropicais, é a técnica de Adsorção de Azul de Metileno, muito difundida no exterior, principalmente na França, mas, ainda pouco utilizada em nosso meio técnico. Os trabalhos de CASANOVA (1986) tratando-se da determinação da Capacidade de Troca de Cátions (CTC) de solos lateríticos, os estudos de FABBRI & SÓRIA (1991), PEJON (1992) e FABBRI (1994) confrontando-se com os resultados da classificação MCT e a pesquisa de BARROSO & FABBRI (1996b) buscando prever algumas propriedades tecnológicas dos solos traduzem os principais estudos.

A necessidade de se estudar e aprimorar técnicas adequadas e aplicáveis aos solos de regiões tropicais, têm estimulado pesquisadores a buscarem novas tecnologias e redução de custos.

Atualmente, as classificações de solos mais utilizadas são: o Sistema Unificado de Classificação de Solos (USCS) e o Sistema Highway Research Board (HRB), ambos apoiados na granulometria e na plasticidade da fração do solo menor que 0,42 mm.

As classificações citadas foram desenvolvidas com base nos solos de regiões temperadas, onde a mineralogia e a estrutura são menos complexas quando comparadas à dos solos tropicais.

Frequentemente, quando da utilização desses métodos tradicionais no meio tropical, têm-se constatado considerável inadequabilidade desses procedimentos, em função das peculiaridades genéticas de muitos dos nossos solos. Com isso, certos solos de reconhecida qualidade, quanto ao seu comportamento geotécnico, são classificados como inadequados para diversas finalidades, com consequências em geral anti-econômicas.

Há indicações, de que o problema se deve a que muitos dos solos tropicais ocorrem na natureza com suas partículas reunidas em agregados que são destruídos à medida que se eleva o nível de tensões aplicadas e o teor de umidade (IGNATIUS, 1988), como quando do manuseio da amostra em ensaios de caracterização, principalmente, nos Limites de Atterberg.

Em situações, onde os solos estão sujeitos a pequenas tensões confinantes ou mesmo em ausência desse confinamento e expostos a ciclos de molhagem e secagem, como em obras de assentamentos urbanos, estradas, taludes e problemas de erosão, a estrutura e a mineralogia do solo assumem fundamental importância, devido a sua alta complexidade.

Normalmente, essas obras envolvem extensas áreas, podendo abranger diversas formações de solos, exigindo recursos de identificação e caracterização que atendam às particularidades existentes.

No presente trabalho, pretende-se acrescentar ao acervo de dados de solos já classificados pelo método MCT, resultados de solos provenientes do embasamento cristalino (fície granulítica), da Formação Barreiras (extratos arenosos, siltosos e argilosos) e do Grupo Ilhas (solos expansivos), pouco pesquisados segundo a classificação MCT. Almeja-se ainda, ressaltar a sua compatibilidade com a origem geológica e/ou pedológica dos solos. Em paralelo, a técnica de adsorção de azul de metileno é aplicada para caracterizar esses solos, de modo a obter informações complementares que permitam melhor compreender os resultados alcançados no método MCT.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.

2.1 Introdução.

A caracterização e classificação geotécnica dos solos, visa agrupar solos de propriedades e comportamentos semelhantes em um mesmo grupo. Entretanto, face as peculiaridades dos solos tropicais, os sistemas considerados tradicionais de classificação (USCS e HRB), não são eficientes quando aplicados a tais solos, sendo comum, encontrarem-se em um mesmo grupo solos lateríticos e saprolíticos, possuidores quase sempre de propriedades e comportamentos distintos.

2.2 Solos Tropicais.

Devido às muitas conceituações encontradas na literatura técnica brasileira, como também na estrangeira, tivemos a necessidade de adotar uma terminologia que julgamos ser a mais apropriada no momento.

O conceito de solo tropical, aqui adotado, segue as propostas de NOGAMI & VILLIBOR (1995), que por sua vez são compatíveis com aqueles utilizados pelo Committee on Tropical Soils da International Society for Soils Mechanics and Foundation Engineering, período 1982-1985.

A geotecnia de solos tropicais, no que se refere a identificação e classificação, tem como instrumento de grande valia a Pedologia, conquanto a integração do meio físico, onde o clima, a geologia, o relevo, a vegetação e a fauna são fatores determinantes dos processos pedogenéticos.

Somente nos últimos trinta a quarenta anos, projetos de grandes obras de engenharia, nas regiões tropicais, exigiram do meio técnico um enfoque mais especializado e amplo, condicionando assim, um nível de desenvolvimento a esses países.

Em função da extensão e da profundidade dos níveis de alteração que se desenvolve nas regiões tropicais, e desde que se encontre mais expressivamente solos residuais do que solos transportados e redepositados, faz-se necessário, que os conceitos de propriedades e comportamentos, sejam cuidadosamente examinados antes de sua aplicação direta (MITCHELL & SITAR, 1982).

Segundo SOUZA & ZUQUETTE (1991) nos solos residuais, mais do que nos transportados, ocorrem níveis de alteração extensos e profundos, daí a necessidade do estudo das propriedades, do comportamento e dos processos de formação, considerando a mineralogia, a textura e a estrutura do solo antes de sua aplicação.

2.2.1 Conceituação.

A região tropical, é definida comumente, pelas faixas compreendidas pelos trópicos de Câncer e de Capricórnio, respectivamente latitude 23°27' Norte e Sul.

Segundo NOGAMI (1985) há muitos solos encontrados nas áreas climáticas tropicais que não apresentam peculiaridades relativamente a solos que ocorrem em outras áreas climáticas. Como exemplo, pode-se citar os solos recentemente depositados ao longo das várzeas fluviais ou ao longo das praias litorâneas. De outro lado, solos como aqueles conhecidos como vermelhos dos trópicos ou lateríticos, só têm sido encontrados nas áreas bem drenadas de região climática tropical úmida. Explica ainda, que ocorrem muitos tipos de solos, que apresentam graus variados de influência do clima tropical, dando motivo a controvérsias e, até o presente momento, desconhece-se critérios quantitativos que

permitam fixar facilmente os limites de um solo tipicamente tropical de outro não tropical ou pouco tropical.

A ausência de uma terminologia consagrada ao meio, evidencia dificuldades conceituais e, por muitas vezes termos iguais são normalmente aplicados para significar materiais distintos e por outras vezes materiais iguais recebem várias definições.

Em virtude das muitas dificuldades existentes no que se refere a solo tropical, o Committee on Tropical Soils of ISSMFE, 1982/85, patrocinado pela Associação Brasileira de Mecânica dos Solos (ABMS), decidiu, por considerar apenas, os dois principais grupos de solos tropicais: os Lateríticos e os Saprolíticos, solos esses frequentes nas áreas climáticas tropicais úmidas.

A ênfase dada aos solos lateríticos e saprolíticos, é plenamente justificável, devido a sua forma de ocorrência em nosso país, normalmente se manifestando num mesmo perfil de solo, entretanto, possuindo quase sempre propriedades e comportamentos bem distintos.

As definições que se seguem foram transcritas de NOGAMI (1985) e NOGAMI & VILIBOR (1995):

2.2.1.1 Solo.

“Material natural não consolidado, isto é, constituído de grãos separáveis por processos mecânicos e hidráulicos relativamente suaves, como dispersão em água com o uso de aparelho dispersor de laboratório, e que podem ser escavados com equipamentos comuns de terraplanagem. Constitui a parte mais superficial da crosta terrestre. De uma maneira geral, os materiais constituintes da crosta terrestre que não satisfizerem a condição de solo serão considerados como rocha, mesmo que isso contrarie as conceituações geralmente adotadas em geologia e em pedologia”.

2.2.1.2 Solo Tropical.

Aquele que apresenta peculiaridades de propriedades e de comportamento, relativamente aos solos não tropicais, em decorrência da atuação no mesmo de processos geológicos e/ou pedológicos, típicos de regiões tropicais úmidas (Committee on Tropical Soils of ISSMFE, 1982/85). Consequentemente, para que um solo possa ser considerado como tropical, não basta que tenha sido formado na faixa geográfica tropical ou em região de clima tropical úmido. É indispensável que possua peculiaridades de interesse geotécnico. Essa definição é essencialmente tecnológica, portanto, não necessariamente científica. Dentre os solos tropicais, destacam-se duas grandes classes: os solos lateríticos e os solos saprolíticos.

Os solos tropicais não são simplesmente os que se encontram nos trópicos, mas são considerados como sendo, somente aqueles que mostram algum comportamento particular quando utilizado como material de engenharia (VARGAS, 1985).

Os processos de formação dos solos residuais incluem a incorporação do húmus, intemperismo físico e químico, lixiviação dos materiais insolúveis, acumulação de resíduos insolúveis e movimentação descendente das partículas finas. Agindo individualmente ou juntos, eles produzem uma sucessão de camadas mais ou menos distintas, aproximadamente paralelas à superfície do terreno, que podem estar em desacordo com a estrutura da rocha. A sequência das camadas em qualquer local constituem o perfil do solo (HAWKINS, 1990).

2.2.1.3 Solo Superficial ou Pedogenético.

“Aquele que apresenta peculiaridades decorrentes da atuação de processos pedogenéticos. Constitui, em suas condições naturais, camadas designadas horizontes pedológicos A e B, com uso de índices para designar as suas diversas partes. Sendo portanto, considerado verdadeiro solo em pedologia e, nessas condições, constitui o objeto principal dessa ciência. Mesmo que o solo

tenha estrutura profundamente alterada pelas operações construtivas, como misturação, umedecimento e compactação, se originariamente integrava a parte do perfil natural referido, será ele considerado superficial ou pedogenético. Cabe observar, contudo, que muitas vezes, pelo exame do solo modificado pelas operações construtivas, não se pode assegurar sua origem pedogenética. Com o intemperismo as rochas se transformam em um material friável no qual surgem as plantas, cujos restos vão se decompondo e formando o húmus. As argilas também se formam, concomitantemente com esses processos, e as águas que se infiltram no terreno podem arrastá-las, fazendo com que se desloquem de uma profundidade para outra. Assim, pouco a pouco, sob a ação de um conjunto de fenômenos biológicos, físicos e químicos, o solo começa a formar-se, organizando-se em camadas de aspecto e constituição diferentes, aproximadamente paralelas à superfície, que são denominadas horizontes" (LEPSCH, 1976).

Os solos superficiais lateríticos constituem perfis naturais que geralmente caracterizam-se por possuírem horizonte B. Esse horizonte, situa-se abaixo do horizonte A, desde que não tenha sido exposto à superfície pela erosão e, é definido por LEPSCH (1976), como aquele que apresenta máximo desenvolvimento de cor, estrutura e/ou o que possui acumulação de materiais translocados do horizonte A, que é a camada mineral mais próxima da superfície, apresentando como característica fundamental o acúmulo de matéria orgânica em decomposição (húmus) e ou a perda de materiais sólidos, incluindo-se ferro e alumínio para o horizonte B.

No sistema de classificação dos solos brasileiros, do ponto de vista pedológico, os solos lateríticos são representados, principalmente, pelos latossolos, solos esses caracterizados por serem profundos, com pouca diferenciação entre os horizontes, bastante intemperizados, apresentando portanto, argila de baixa atividade.

De interesse geotécnico, conforme observações de NOGAMI & VILLIBOR (1995), são sobretudo importantes os latossolos, os solos podzólicos e as terras roxas estruturadas, cujos, processos e características são descritos a seguir:

Latolização:

“Essa classe de processos consiste basicamente na mobilização de sílica e de bases do perfil, após transformação (intemperismo) dos minerais constituintes. Praticamente não há translocação de material para o horizonte B como no caso da podzolização. Os solos formados por esta classe de processos são aqueles com horizontes B latossólicos. São os mais desenvolvidos (velhos) da crosta terrestre, ocupando, portanto, as partes há muito tempo expostas da paisagem. Em geral ocupam as superfícies mais elevadas (planaltos) em relação à paisagem circundante” (RESENDE *et al.*, 1995).

Os latossolos são solos profundos, com pequena diferenciação de horizontes, inclusive o horizonte vegetal ou orgânico; predominam as cores vermelha, amarela e marrom; possuem elevada porosidade aparente; são bem permeáveis; com agregação bem desenvolvida (torrões bem distintos); granulometria varia desde argila até areia argilosa e os seus principais grupos pedológicos são: latossolo amarelo, latossolo vermelho amarelo, latossolo vermelho escuro e latossolo roxo.

Podzolização:

Segundo RESENDE *et al.* (1995) essa classe de processos consiste essencialmente na translocação de material do horizonte A, acumulando-se no horizonte B. Se o material translocado é matéria orgânica e óxidos de Fe e de Al, o que geralmente acontece quando o material de origem é pobre em argila (quartzito, arenito pobre ou sedimentos quartzosos) e a drenagem é deficiente, têm-se um solo com B podzol. Se o material translocado é argila silicatada (material de origem geralmente mais argiloso) que se deposita nas superfícies dos agregados do horizonte B e forma a cerosidade (filmes de argila), têm-se um solo com B textural.

Os mesmos autores, explicam que solos com horizonte B podzol, são bastante ácidos e pobres, visto que a vegetação, quando se decompõe, imprime grande acidez ao solo e o material de origem é muito pobre. Já os solos com horizonte B textural, são mais férteis que os anteriores, apresentando mais argila

no horizonte B do que no horizonte A. Tanto os solos com B podzol como B textural, se estão em relevo movimentado, tendem a ser facilmente erodíveis, por causa do material arenoso e menos estruturado do que se apresentam no horizonte A. Normalmente, no caso dos solos com B textural, principalmente, a diferença de textura entre os horizontes A e B dificulta a infiltração de água, imediatamente abaixo do A, o que favorece o processo de erosão. Exceção feita a alguns solos com horizonte B, essencialmente argilosos, como, por exemplo, a terra roxa estruturada e parte dos podzólicos vermelho-escuros.

Os solos podzólicos possuem horizontes bem diferenciados, devido ao processo de translocação de material; predomina as cores vermelha e amarela no horizonte B; a drenagem é frequentemente prejudicada pela presença do horizonte argiloso; granulometria variada, desde variedades arenosas a argilosas; seus principais grupos pedológicos são: podzólico amarelo, podzólico vermelho-amarelo, podzólico vermelho-escuro e podzólico bruno-acinzentado.

A terra roxa estruturada, pertence a classe pedológica de solos que possuem horizonte B textural não hidromórfico. É proveniente de rochas máficas, caracterizadas por possuir mineral de cor escura como os silicatos ferromagnesianos (biotita, anfibólio, piroxênio, etc).

2.2.1.4 Solo Laterítico.

Os solos lateríticos são aqui considerados como resultantes da atuação de processos pedológicos, em condições bem drenadas em clima tropical úmido, apresentando características macroscópicas e de constituição discriminadas no item 2.4.1.

A correlação detalhada entre os solos assim conceituados com aqueles considerados em pedologia é bastante complexa, cabendo lembrar que a designação solo laterítico, já não é mais utilizada nas classificações pedológicas adotadas atualmente (usam-se termos de significado similar, tais como latossol, oxisol, ferralsol, kaolisol, etc). Do ponto de vista geotécnico, cabe ainda acrescentar

que uma camada poderá ter comportamento tipicamente laterítico apesar de não pertencer a um perfil pedológico laterítico. Assim, muitos solos podzólicos e hidromórficos podem ter comportamento laterítico, apesar de pedologicamente não haver unanimidade quanto a sua natureza laterítica.

Será considerado como significando solo laterítico, aquele caracterizado por possuir uma série de propriedades que levam a classificá-lo como de “comportamento laterítico”, segundo a classificação MCT. Cabe observar que o conceito de solo laterítico geralmente adotado difere bastante daquele anteriormente definido. Pedologicamente, o solo laterítico é uma variedade de solo superficial pedogenético, típico das partes bem drenadas das regiões tropicais úmidas.

2.2.1.5 Solo Saprolítico.

Aquele que resulta da decomposição e/ou desagregação “in situ” da rocha (considerada material consolidado da crosta terrestre), mantendo ainda, de maneira nítida, a estrutura (ou fábrica) da rocha que lhe deu origem (Committee on Tropical Soils of ISSMFE, 1982/85). É, portanto, um solo genuinamente residual, razão pela qual é frequentemente designado “residual” ou, mais especificamente, “solo residual jovem”.

Para a sua identificação é indispensável que a rocha matriz seja também identificável, através sobretudo do exame de sua macroestrutura e constituição mineralógica, herdadas ou requilares. Se essas feições não forem possíveis de serem devidamente apreciadas, dar o nome saprolítico poderá ser um erro, como aconteceu frequentemente no passado. Onde, considerou-se efetivamente, como solo residual, muitos solos que não tinham rocha matriz.

2.3 Clima.

A distribuição dos solos lateríticos na superfície do planeta, evidencia a íntima relação com as condições climáticas atuantes nas áreas de ocorrência ou na fase em que se deu a sua evolução. Podendo-se encontrar, atualmente, solos tropicais em áreas de clima tipicamente não tropical. Estando esse solo, portanto, em fase de adaptação às novas condições climáticas vigentes. Fato esse explicado pela ocorrência de condições tropicais pretéritas.

2.3.1. Clima Tropical Úmido.

As altas temperaturas médias anuais, normalmente superiores a 20° C, sem ocorrência de congelamento do subsolo, e a elevada pluviosidade, geralmente superior a 1000 mm/ano, caracteriza o clima tropical úmido.

Uma das classificações climáticas mais adotadas é a de Köppen, bastante antiga, 1931 e, muito simples. Segundo NOGAMI & VILLIBOR (1995), para a finalidade em vista, essa classificação é muito precária, sobretudo quando se consideram os tipos climáticos prevalentes em latitudes maiores que aquelas dos trópicos de Câncer e Capricórnio. Assim, por exemplo, nessa classificação, regiões nitidamente tropicais, onde não ocorre o congelamento do subsolo, como acontece na região de Washington, E.U.A., onde por cerca de um mês o mesmo permanece congelado, apresentam a mesma classificação. Daí, a necessidade de se utilizar, para a finalidade em vista, classificações climáticas mais apropriadas, como aquelas utilizadas em pedologia. Entretanto, essas classificações são demasiadamente complexas. Logo, a caracterização climática, mediante o uso das classificações disponíveis, pouco contribuiria para o desenvolvimento de critérios geotécnicos mais apropriados às regiões tropicais.

2.4 Gênese.

O meio tropical é caracterizado por apresentar elevada temperatura e precipitações atmosféricas volumosas. Portanto, os processos químicos, aí instalados, são muitos ativos e, conseqüentemente, as reações químicas ocorrem de forma pronunciada (rápida) que em latitudes mais frias.

“A alta temperatura tem um papel essencial na alteração das rochas, pois vai definir as características físico-químicas das soluções de alteração. A evolução da matéria orgânica é de fundamental importância para o intemperismo. Ao contrário do que acontece nas regiões frias e temperadas, onde a lenta evolução da matéria orgânica permite a formação de compostos orgânicos que tem um papel fundamental nas características complexantes e ácidas das soluções de alteração, as altas temperaturas, encontradas nas regiões tropicais, promove a rápida degradação da matéria orgânica, que é totalmente mineralizada, dando origem a água e gás carbônico” (MELFI, 1994).

O mesmo autor, enfatiza que as soluções de alteração que ocorrem nos meios tropicais são caracterizadas por uma certa carga em CO_2 , que confere a essas soluções características levemente ácidas ($\text{pH} \sim 5,5 - 6,0$). Esse parâmetro é fundamental para a alteração, pelo fato de controlar de forma específica o comportamento dos principais elementos constituintes dos minerais formadores das rochas (alumínio, sílica, ferro, alcalinos e alcalino-terrosos). Assim, nessas condições de pH , o alumínio e o ferro são praticamente insolúveis, acumulando-se na forma de óxidos e/ou hidróxidos. Os elementos alcalinos (Na^+ e K^+) e alcalinos terrosos (Ca^{+2} e Mg^{+2}), são totalmente lixiviados, enquanto que a sílica é também mobilizada, porém com velocidade mais baixa do que os alcalinos, havendo possibilidade, em certas situações, de recombinação de parte dessa sílica com o alumínio que permanece “in situ”, gerando argilo-minerais.

Segundo NOGUEIRA JÚNIOR (1985) a evolução dos perfis lateríticos, é função da mobilidade dos íons de ferro e/ou alumínio no perfil do solo. Os mecanismos de remoção e deposição de íons dependem, portanto,

fundamentalmente, da quantidade de água presente no solo e das condições de drenagem.

SOUZA & ZUQUETTE (1991) enfatizam que sob as condições climáticas e ambientais das regiões tropicais o intemperismo das rochas é mais intenso. O processo de alteração que aí se instala é frequentemente denominado laterização. Caracterizando-se pela rápida decomposição dos feldspatos e minerais ferromagnesianos, a remoção da sílica e das bases e a concentração de óxidos de alumínio e ferro.

A reconstituição da História pedológica de uma região é extremamente difícil, pois, os processos de laterização, hoje em andamento, foram desencadeadas por fatores já desaparecidos, ocorridos no passado. Os perfis de solo devem, no entanto, registrar muitos desses processos, cabendo aos pesquisadores reconhecê-los e interpretá-los (NOGUEIRA JÚNIOR, 1985).

Todo solo é resultante dos processos de intemperização da rocha. Esses processos podem ser: intemperismo físico (expansão por alívio de tensões, crescimento de cristais, contração-expansão pela variação de temperatura e ação de organismos) o qual provoca a desintegração da rocha em sedimentos de menor tamanho, mantendo a sua composição mineralógica; e intemperismo químico (hidrólise, hidratação, oxidação, carbonatação, troca de bases e queilação) que provoca a decomposição da rocha transformando os minerais. Assim são formados os solos ditos residuais. Se por um processo geológico qualquer, os sedimentos forem depositados em outros locais, esses originarão os solos transportados. Tanto os solos residuais, como os transportados, sob condições climáticas particulares de clima tropical, poderão sofrer os processos pedogenéticos, resultando em solos mais evoluídos e com características peculiares, que denominamos de solos tropicais. Observemos que alguns solos transportados, podem não sofrer a evolução pedogênica.

A Figura 2.1 esquematiza a formação dos solos nas áreas tropicais. Enquanto, a Figura 2.2 refere-se a designação genética das camadas de solos nas regiões tropicais.

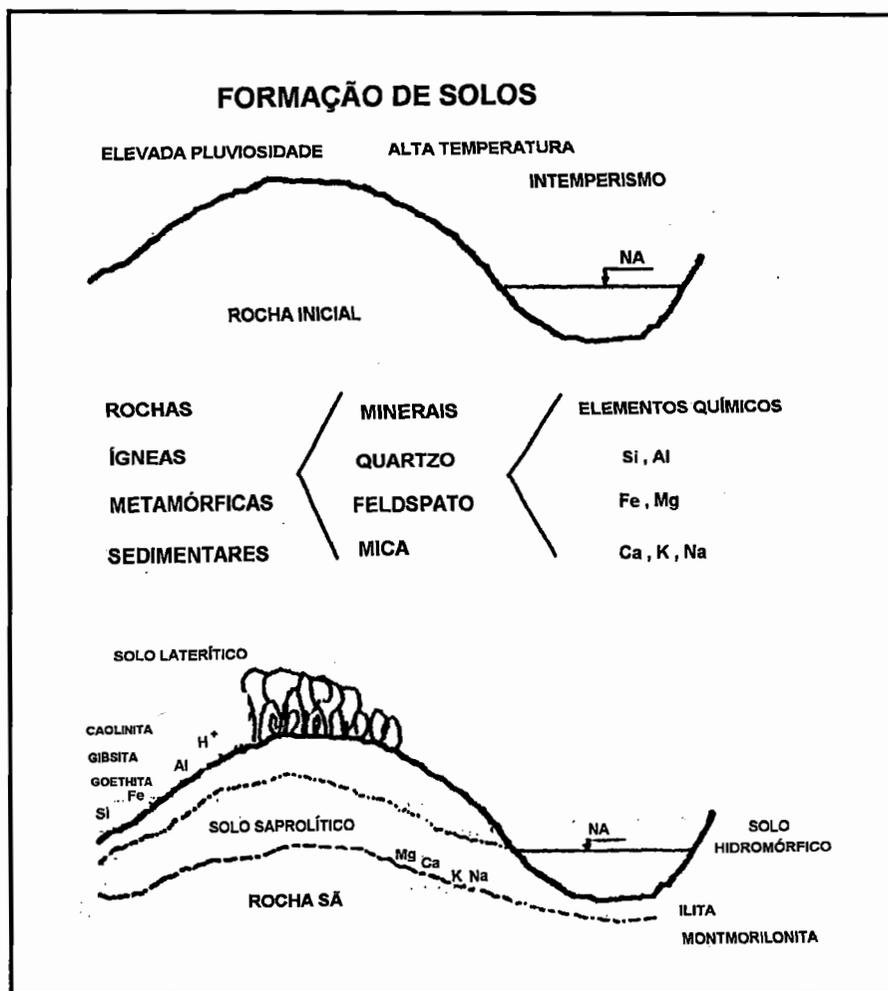


Figura 2.1: Formação de Solos.

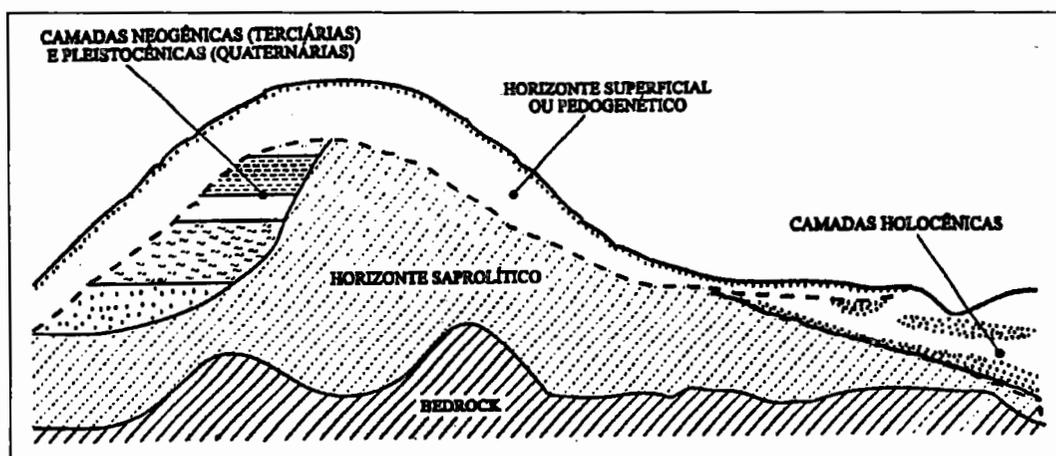


Figura 2.2: Designação genética geral das camadas de solos, nas regiões tropicais (NOGAMI & VILLIBOR, 1995).

2.4.1 Características Peculiares dos Solos Lateríticos.

2.4.1.1 Posição no Perfil e Espessura.

Os solos lateríticos ocupam a parte mais superficial, como os demais solos de origem pedológica, constituindo o que os pedólogos designam de “solum” ou a soma dos horizontes A e B. Estes solos constituem camadas de cerca de 1 m a vários metros, atingindo só excepcionalmente mais de uma dezena de metros.

2.4.1.2 Estrutura da Camada.

Os solos lateríticos constituem camadas que acompanham aproximadamente a superfície do terreno. Essas camadas podem ser compostas por outras, facilmente distinguíveis ou não. Em muitos perfis lateríticos a distinção entre os horizontes pedológicos A e B é difícil de ser feita.

2.4.1.3 Drenagem.

As condições de drenagem dos solos lateríticos são muito boas, de maneira que só excepcionalmente podem conter temporariamente nível d'água suspenso, após chuva muito intensa.

2.4.1.4 Cor.

Possuem geralmente cores características em que apresentam nítida contribuição dos matizes vermelho e amarelo. Nesses solos, só com muito cuidado distinguem-se, eventualmente, partes com cores diferentes.

2.4.1.5 Macrofábrica.

O termo estrutura também tem sido usado para essa característica dos solos, porém, atualmente este termo vem sendo mais usado com significado mais amplo, abrangendo também outros aspectos, tais como o tipo de ligação entre os constituintes e a natureza dos mesmos (MITCHELL, 1993).

Os solos lateríticos, apresentam-se normalmente com macrofábrica homogênea e a sua peculiaridade mais característica é a aglomeração, formando torrões razoavelmente resistentes, mesmo quando imersos n'água. Possui macroporos facilmente distinguíveis, portanto, com elevada porosidade aparente e permeabilidade. Podem apresentar o fenômeno do colapso (diminuição brusca de volume), quando carregados e submetidos a variação do teor de umidade, em estado natural, ou seja, na condição não saturada e, seguidamente imersos n'água. Sua misturação é relativamente fácil, independentemente do teor de umidade, o que facilita a sua homogeneização, quando da compactação e misturação de aditivos estabilizantes.

2.4.1.6 Microfábrica.

Os grãos de argila não individualizados, na maioria das vezes aparecem ligados a outros e revestidos por uma massa amorfa de alumínio e ferro dando o aspecto esponjoso, comumente designado de "pipoca".

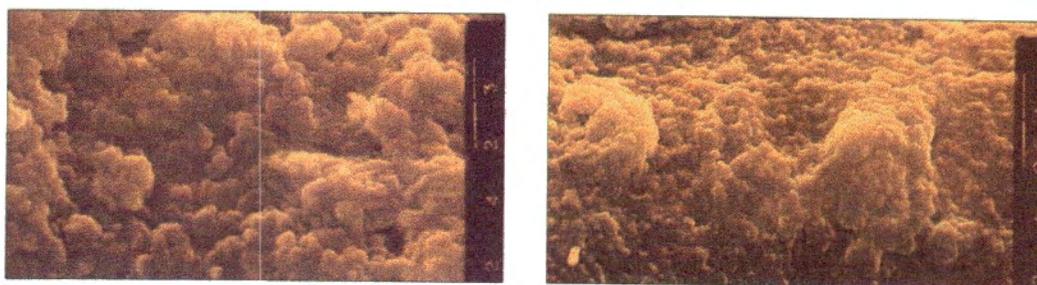


Figura 2.3: Microfábrica de solo laterítico
(NOGAMI & VILLIBOR, 1995).

2.4.1.7 Mineralogia.

“Provavelmente, as variações mineralógicas constatadas nos solos tropicais são muito maiores que nos solos de outras regiões. Além disso, muitos dos comportamentos peculiares dos solos tropicais podem ser explicados pela sua constituição mineralógica. Daí, a importância de se considerar essa característica, no estudo geotécnico desses solos” NOGAMI & VILLIBOR (1995).

Os solos lateríticos, caracterizam-se por apresentar uma constituição mineralógica com um número reduzido de minerais. Sendo que esses são resistentes e estáveis à ação das intempéries tropicais.

NOGAMI & VILLIBOR (1983, 1995) destacam que a fração areia é constituída de quartzo e de outros minerais resistentes tanto às intempéries como mecanicamente, tais como magnetita, ilmenita, turmalina, zircão, etc.

Frequentemente, nessa fração e na fração pedregulho podem ocorrer quantidades variadas de concreções ferruginosas e/ou aluminosas, conhecidas como lateritas, de resistência mecânica nitidamente inferior à dos minerais há pouco referidos. A fração argila é constituída de argilo-minerais da família da caulinita e óxidos hidratados de ferro e/ou alumínio. Esses óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, mais frequentes e comuns na fração argilosa dos solos tropicais, são a goethita, $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$ e a gibsita, $\text{Al}(\text{OH})_3$ que envolvem os argilo-minerais, resultando numa microfábrica esponjosa ou de “pipoca”, muito característica,

conforme Figura 2.3. Os elementos que constituem essa microfábrica são predominantemente muito pequenos, normalmente apresentando diâmetro inferior a 2 μm , porém, devido a cimentação entre esses elementos a granulometria resultante dos ensaios padronizados pode acusar elevada percentagem de grãos maiores nas frações silte e areia. A caulinita, é o membro da família dos argilo-minerais menos ativo coloidalmente e, essa atividade é ainda reduzida quando se associa aos óxidos e hidróxidos de ferro e/ou de alumínio. A fração silte tem predominância do quartzo, podendo ocorrer a magnetita e a ilmenita, principalmente quando a rocha matriz for de basalto. Quanto a eventual contribuição das substâncias orgânicas, que ocorrem sob a forma de húmus, na fração argila, tem pouca ou nenhuma influência nas características mecânicas e hidráulicas, pelo fato dessa substância ocorrer em pequena percentagem, porém pode influir sobretudo na estabilização de solos com a adição de substâncias químicas como cal e cimento Portland.

2.4.2 Características Peculiares dos Solos Saprolíticos.

2.4.2.1 Posição no Perfil e Espessura.

Os solos saprolíticos encontram-se, em suas condições naturais, sempre subjacentes a uma camada de outro tipo genético de solo, tais como: solo laterítico, solo podzólico, solo orgânico, solo transportado, etc. Quanto a espessura, os limites usuais são muito amplos, variando desde centímetros a várias dezenas de metros.

2.4.2.2 Estrutura da Camada.

Frequentemente, constitui camadas de estrutura e forma complexas, herdadas da rocha matriz ou desenvolvidas pelo intemperismo. Nesses solos, ocorre com frequência anisotropias provenientes da rocha de origem, como xistosidades, estratificações e ainda pode conter partes ainda não transformadas totalmente em solos.

2.4.2.3 Drenagem.

Comumente, encontra-se nível d'água freático suspenso ou confinado. Entretanto, muitos desses solos se encontram também com boas condições drenantes.

2.4.2.4 Cor.

É frequente a presença de manchas, listas, mosqueamentos e outras heterogeneidades de cor com feições herdadas da rocha matriz ou desenvolvidas no processo de intemperismo. Só raramente, apresentam-se com cor única ou com pequena diferenciação entre as suas diversas partes. As cores dominantes nesses solos são muito variadas, como: branco, cinza, verde, rosa, roxo, preto, etc.

2.4.2.5 Macrofábrica.

Geralmente, apresentam macrofábrica herdada da rocha matriz. Logo, de macrofábrica não homogênea com características próprias e destacadas de heterogeneidades e anisotropias que influem nas propriedades e comportamentos (estratificação, xistosidade, vesículas, manchas herdadas, etc). A estrutura "porosa" decorrente das formações dos torrões não ocorre nos solos saprolíticos, contudo pode ocorrer a formação de pseudo-torrões, nas superfícies expostas às intempéries, devido ao processo de molhagem e secagem sucessivas, conforme observação de NOGAMI & VILLIBOR (1983).

2.4.2.6 Microfábrica.

Presença de cristais perfeitamente distinguíveis. Porém, essa característica, também pode ocorrer na maioria dos solos transportados ou sedimentares. Em situações especiais, é que a microfábrica apresenta a real natureza saprolítica, quando da associação de cristais que indicam a sua origem

neoformada, além das formas pseudomorfos e presença de formas de corrosão e dissolução.



Figura 2.4: Microfábrica de solo saprolítico
(NOGAMI & VILLIBOR, 1995).

2.4.2.7 Mineralogia.

Segundo NOGAMI & VILLIBOR (1983, 1995) os solos saprolíticos possuem composição mineralógica muito variada, podendo apresentar-se desde excepcionalmente simples até extremamente complexa, dependendo do tipo de rocha matriz e do seu grau de intemperização. Na fração areia, podem ocorrer minerais não estáveis ao intemperismo tropical como micas e feldspatos. Os fragmentos de rochas, também podem ser encontrados nessa fração. Isso não exclui a possibilidade do quartzo ser o mineral predominante ou exclusivo em muitos dos solos saprolíticos. A fração argila é geralmente composta de muitos argilo-minerais, como a caulinita, ilita, e o grupo da esmectita, que inclui montmorilonita, nontronita e, caracterizados por serem expansivos com unidades estruturais ligadas apenas por forças de Van der Waals, permitindo a penetração de moléculas de água na sua estrutura. De maneira similar à fração areia, os siltes apresentam constituição mineralógica muito variada, contendo o quartzo que é um mineral muito comum na fração silte desses solos, além da caulinita e das micas.

Os autores referidos acima, observam que a caulinita, apesar de ser um argilo-mineral, tido como constituinte normal da fração argila dos solos, quando da sua presença na fração silte imprime propriedades e comportamentos peculiares a muitos dos solos saprolíticos. Há indícios de que esse mineral contribui de maneira diferente do quartzo, no LL e ainda colabora para o

desenvolvimento da coesão. Já as micas, possuem características de expansibilidade, porém com baixa pressão de expansão; baixa capacidade de suporte tanto em condição de imersão em água ou sem imersão e contração por pequena variação de decréscimo do teor de umidade.

A Tabela 2.1, apresenta um resumo das características peculiares dos solos lateríticos e saprolíticos, referentes a posição no perfil e espessura, estrutura, drenagem, cor, macrofábrica, microfábrica e mineralogia.

Tabela 2.1 - Resumo das características peculiares dos solos lateríticos e saprolíticos.

Características	Solo Laterítico	Solo Saprolítico
Posição no Perfil e Espessura	Camadas Superficiais. Pedologia: "Solum" (A+B) de 1m a vários m (>10m excepcionalmente).	Subjacente a outro tipo genético de solo (SL, SP, ST, SO, etc.) de cm a dezenas de m.
Estrutura da Camada	Horizonte pedológico, acompanha aproximadamente a superfície do terreno.	Complexa, herdada da rocha matriz ou desenvolvida pelo intemperismo.
Drenagem	Boa (excepcionalmente NA).	Boa (comum NA).
Cor	Nítida contribuição dos matizes vermelho e amarelo (Homogeneidade).	Manchas, mosqueamentos (Heterogeneidade).
Macrofábrica	Aparentemente homogênea e isotrópica. Aglomeração (torrões). Elevada porosidade e permeabilidade. Pode ser colapsível. Misturação fácil.	Heterogênea e anisotrópica (estratificação, xistosidade, vesículas relacionadas com a rocha matriz).
Microfábrica	Grãos de argila não individualizados envolvidos por óxidos/hidróxidos de Fe e Al (pipocas).	Presença de cristais perfeitamente distinguíveis.
Mineralogia	Reduzido número de minerais resistentes ou estáveis ao intemperismo tropical.	Muito variada dependendo do tipo de rocha matriz e do grau de intemperização.
Fração Areia	Quartzo e outros minerais resistentes (magnetita, ilmenita, etc.). Podem ocorrer concreções de Al e Fe.	Mica, feldspato, fragmentos de rocha e quartzo.
Fração Silte	Quartzo, magnetita, ilmenita, etc.	Constituição variada, destacando-se os argilo-minerais (sobretudo "sanfonas" de caulinita), micas, quartzo, magnetita e ilmenita.
Fração Argila	Caulinita, óxidos e/ou hidróxidos de Fe e Al.	Minerais dos grupos da illita e smectita.

SL = Solo laterítico

SP = Solo podzólico

ST = Solo transportado

SO = Solo orgânico

2.5 Massapê.

Os solos altamente expansivos do Recôncavo Baiano, regionalmente, são conhecidos como massapê. Esses ocupam uma área de aproximadamente 20% do total da área da Bacia Sedimentar do Recôncavo Baiano, constituindo-se na maior ocorrência de solos expansivos em nosso país.

Pedologicamente, esses solos são denominados de vertissolos, que apresenta a sequência de horizontes (perfil) do tipo A-C, sem diferença significativa no teor de argila entre a parte superficial e a subsuperficial. É caracterizado por possuir argila de atividade muito elevada, evidenciando-se os fenômenos de expansão e contração pronunciados com o umedecimento e secagem, logo, problemático à engenharia geotécnica.

As principais formações expansivas ocorrentes no Brasil são integrantes das Bacias Sedimentares do Recôncavo Baiano, do Paraná e do Rio Grande do Sul. Dentre elas, as mais conhecidas e importantes pelas suas características são Formações dos Grupos Ilhas e Santo Amaro e o Membro Médio da Formação São Sebastião, na Bahia e de acordo com COSTA NUNES¹ *apud* SIMÕES (1987), a Formação Taubaté em São Paulo, Formação Guabirotuba no Paraná, Formação Morro Pelado em Santa Catarina e Formações Rosário do Sul e Estrada Nova no Rio Grande do Sul.

No exterior, os materiais expansivos têm registros em alguns países: África do Sul, Argentina, Austrália, Canadá, Cuba, Espanha, Estados Unidos, Etiópia, Ghana, Índia, México, Rússia e outros.

Muitas dificuldades são encontradas, quando da implantação de obras de Engenharia Civil, sobre solos e rochas expansivas. É comum nesses materiais o aparecimento de trincas e rachaduras, danos nos pavimentos, ruptura de aterros, taludes e destruição de obras de contenção, levantamentos em adutoras e distorções em linhas de transmissão (SIMÕES, 1987).

¹ COSTA NUNES, J.A. (1979). Foundations on Expansive Rocks in Brazil. In : IV ICSMFE. Montreaux, Suíça. Proceedings. s.n.t., vol.1 p. 99-195.

As magníficas qualidades agrícolas dos massapês, que sustentam lavouras anos a fio, sem que seja preciso adubá-los é citada por SOBRAL (1956), acrescentando ainda, as muitas dificuldades e problemas, através da experiência da Engenharia Civil com esses solos.

Conforme observação de SOBRAL (1956) os massapês despertaram a atenção dos pedologistas pela fertilidade que possuem, em plena zona tropical, contrastando com a pobreza dos solos lateríticos.

Os massapês constituem-se predominantemente de argilas, sendo essas de elevada plasticidade e apresentam-se com colorações marrom, esverdeada, acinzentada, preta, etc.

2.5.1 Formação da Bacia Sedimentar.

Segundo SOBRAL (1956) a formação dos solos expansivos do Recôncavo Baiano, especificamente os massapês, caracteriza um fenômeno que se reveste de maior complexidade em face à necessidade do problema ser abordado em duas fases: a primeira refere-se a origem dos sedimentos e condições de deposição; enquanto, a segunda diz respeito às modificações sofridas no tempo pelas camadas sedimentares. Os sedimentos do Recôncavo tiveram origem nas rochas de seus arredores e nas estruturas de suporte ou de proteção de plantas e animais que se depositaram num ambiente lacustre. As deposições se processaram numa bacia fechada, intracontinental, com pouca probabilidade de ter sido ligada ao mar e o elemento transportador foi, por excelência a água. As intempéries passaram, então, a agir diretamente sobre os folhelhos, argilitos e siltitos que constituem as formações cretáceas e, em vista dessas rochas se originarem da consolidação em camadas de siltes, argilas e partículas calcáreas, decompõe facilmente em lâminas finas. Formaram-se os massapês.

Os solos expansivos da região do Recôncavo Baiano são provenientes da intemperização das rochas do Super Grupo Bahia, que são compostas pelos Grupos Ilhas e Santo Amaro e a Formação São Sebastião. Essas unidades

consistem de camadas alternadas de arenito, folhelhos, argilitos e alguns siltitos, conglomerados e calcáreos, variando quanto à sua coloração, composição e espessura (COSTA FILHO & SIMÕES, 1981).

2.5.2 Caracterização e Propriedades Geotécnicas Representativas.

2.5.2.1 Generalidades.

“... os massapês são solos de difícil trabalhabilidade, nos trouxe inúmeras dificuldades, obrigando-nos a despende muito tempo na sua desagregação e na repetição de várias operações, pela imprecisão dos resultados. Verificavam-se, no laboratório, as mesmas dificuldades do campo. É por demais conhecida a resistência à escavação dos massapês quando secos e também a dificuldade com que neles se locomovem e operam as máquinas de terraplanagem, quando saturados” (SOBRAL, 1956).

SIMÕES (1987) observa que quando submetidos à ação do sol, os massapês apresentam um reticulado intenso de trincas de retração que facilitam a infiltração de água. Em períodos chuvosos tornam-se altamente plásticos e pegajosos, impossibilitando o tráfego de veículos e dificultando o acesso de homens e até de animais. São excelentes para a agricultura devido à capacidade de reter umidade.

“Os massapês quando compactados ainda apresentam características geotécnicas desfavoráveis para utilização como material de construção” (COSTA FILHO & SIMÕES, 1981).

Quanto as propriedades químicas, os massapês (vertissolos) possuem alta capacidade de troca de cátions, alta saturação de bases (principalmente Ca e Mg) e são moderadamente ácidos e moderadamente alcalinos. Podem apresentar teores variáveis de carbonatos (PROJETO RADAMBRASIL - FOLHA SD-24, 1991).

2.5.2.2 Argilo-minerais.

Segundo SOBRAL (1956) o argilo-mineral mais importante dos massapês é, sem dúvida, a montmorilonita e, as pequeníssimas partículas desse argilo-mineral possuem intensa atividade superficial, determinando elevada permuta catiônica e grande capacidade de adsorção de água. De acordo com as condições de drenagem, a base trocável é o cálcio ou o magnésio, o que atenua as propriedades expansivas e a capacidade de adsorção de água no referido mineral.

Em trabalho mais recente, SIMÕES (1987) verificou nos massapês, de forma generalizada, a presença significativa de montmorilonita, fato esse, também comprovado por SOBRAL (1956) e de camadas mistas (interestratificadas) de illita-montmorilonita, constituindo-se assim nos principais responsáveis pelo fenômeno da expansão. As rochas matrizes (folhelhos, argilitos e alguns siltitos) que originam os massapês, já contém nas suas estruturas os citados argilo-minerais expansivos, conforme comprovado nas análises mineralógicas efetuadas nessas rochas.

2.5.2.3 Aspectos Geotécnicos.

Descrevemos aqui, de maneira resumida alguns comentários feitos por SIMÕES (1987) no que se refere a aspectos geotécnicos dos massapês.

Esses materiais apresentam percentagem de material passando na peneira de abertura nominal de 0,074 mm (#200) geralmente superior a 80%. A elevada plasticidade verificada é decorrente do alto teor de argila e dos tipos de argilo-minerais presentes. Os ensaios de compactação (Proctor Normal), apresentam umidade ótima elevada, geralmente superior a 25% e densidade seca máxima em torno de 14,20 kN/m³. Sobre amostras compactadas nas condições ótimas, utilizando essa mesma energia, foram realizados ensaios de CBR, expansão livre, pressão de expansão e resistência à compressão simples. A expansão medida no ensaio CBR é geralmente superior a 7% e o valor do CBR em torno de 1,7%, em alguns casos até inferior a 1%. As expansões livres atingiram valores em torno de 20% e as pressões de expansão, valores médios de 140 kPa. Os ensaios de compressão simples foram executados em amostras na umidade

ótima de moldagem e em amostras submetidas a 4 dias de imersão em água, havendo, portanto, em função disso, uma redução em torno de 90% da sua resistência em relação as condições iniciais motivadas pela elevação do grau de saturação das amostras.

Em amostras indeformadas foram realizados ensaios de permeabilidade, adensamento oedométrico, cisalhamento direto e compressão triaxial.

Constatou-se em laboratório, ter o massapê coeficiente de permeabilidade na faixa de 10^{-8} a 10^{-11} cm/s; em ensaios de campo, o massapê e o folhelho, devido principalmente à influência do fissuramento e descontinuidades, apresentaram valores de k de 10^{-5} a 10^{-7} cm/s. As pressões de pré-adensamento estão na faixa de 150 kPa. Houve uma correspondência bastante razoável entre as envoltórias obtidas pelos diversos ensaios de resistência ao cisalhamento, tendo esse material uma elevada coesão e um baixo ângulo de atrito.

2.6 Procedimentos para a Avaliação de Solos Tropicais.

Tendo em vista às limitações dos procedimentos tradicionais, muitas sugestões têm sido feitas com o intuito de contornar as mesmas. Mas, lamentavelmente, as soluções não são inteiramente satisfatórias. Segue-se algumas propostas visando a solução do problema, como também possibilitando o desenvolvimento de outras.

2.6.1 Equivalente de Umidade de Campo.

Em 1954, WOOLTORTON² *apud* NOGAMI & VILLIBOR (1995) através do FME (Field Moisture Equivalent), procurou justificar o comportamento peculiar dos solos lateríticos utilizando um novo índice obtido da diferença do LL com o FME. Proposta essa, fundamentada no fato de que nas áreas tropicais, é possível utilizar bases de pavimentos com IP bem acima do tradicional 6%. As

² WOOLTORTON, F. L. D. (1954). *The Scientific Basis of Road Design*. Arnold. London, UK.

dificuldades práticas dessa proposta consiste na falta de reprodutibilidade do ensaio de determinação do FME e de comprovação prática desse novo índice.

2.6.2 Expansibilidade.

Segundo NASCIMENTO (1974) o LNEC com os Laboratórios de Angola e Moçambique em 1959, constataram que os solos lateríticos, mesmo excedendo os limites de plasticidade especificados apresentavam comportamento satisfatório e, que tal anomalia consistia na baixa expansibilidade da fração fina do solo, devido a ser constituída essencialmente por caulinita, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. Para identificar essa característica utilizou-se de um ensaio de expansibilidade e, que posteriormente foi aperfeiçoado e, com base nele, desde que a expansão não exceda 10%, o Limite de Liquidez pode ser igual até a 40% e o Índice de Plasticidade até 15%.

NOGAMI & VILLIBOR (1995) observa que esse ensaio de expansão do Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Lisboa, efetuados em corpos de prova de dimensões reduzidas (60 mm de diâmetro e 15 mm de altura) é apropriado a misturas estabilizadas com lateritas, mas a sua extensão para outros solos tropicais apresenta alguns problemas, como no caso de solos de comportamento saprolítico com razão sílica/sesquióxidos ≤ 2 e, também há muitos solos de comportamento não laterítico com expansibilidade inferior a 10% para as misturas estabilizadas com lateritas.

2.6.3 Atividade Coloidal.

VARGAS (1982) sugere que a classificação dos solos tropicais finos para fins de engenharia, baseada no gráfico de plasticidade, seja completada pelo gráfico de atividade, introduzindo-se assim um ítem referente à natureza mineralógica da fração argila presente, o que é ausente tanto na classificação USCS como na HRB.

A Atividade Coloidal (AC), foi definida por SKEMPTON (1953), como a relação entre o Índice de Plasticidade e percentagem de argila (grãos de diâmetro inferior a 0,002 mm):

$$AC = \frac{IP}{\% < 0.002} \quad (01)$$

Esse índice mede a influência do argilo-mineral nas propriedades de uma argila e, sendo classificadas segundo o autor como argilas inativas $AC < 0,75$; argilas normais quando $0,75 < AC < 1,25$ e argilas ativas para $AC > 1,25$. A representação da atividade coloidal, é feita pelo "gráfico de atividade": um gráfico que em abscissas coloca-se a percentagem de argila ($< 0,002$ mm) e em ordenadas o Índice de Plasticidade. Sendo o mesmo dividido em três zonas de atividade da fração argila, conforme descrito acima.

2.6.4 Adsorção de Azul de Metileno.

Segundo FABBRI (1994) na década de 30 começou-se a utilizar corantes para a determinação da superfície específica e capacidade de troca de cátions dos solos.

O Azul de Metileno é um corante orgânico que é adsorvido pelo solo, quando em meio aquoso, formando uma camada mono-molecular quase que completa sobre sua superfície. Permite avaliar a troca catiônica (CTC) dos argilo-minerais presentes no solo, uma vez que a superfície específica (SE) é inversamente proporcional ao diâmetro equivalente e que a contribuição das frações granulométricas de dimensões superiores às da argila, em termos de SE, é muito pequena (FABBRI & SÓRIA, 1994b).

No ano de 1977, LAN, do Laboratories des Ponts et Chaussées, considerou promissor o ensaio de mancha de azul de metileno para a caracterização de solos. A partir desse trabalho inicial as pesquisas nesse laboratório evoluíram, transformando-o em uma ferramenta de caracterização de

materiais para a construção em geral e, particularmente, para a pavimentação. Inclusive, fixando em 1979, o procedimento de ensaio e índices a serem determinados (FABBRI, 1994).

PEJON (1992) determinou a capacidade de troca de cátions por meio do método químico, utilizado pelo Instituto Agrônomo de Campinas e pelo método da adsorção de azul de metileno. Constatando uma significativa correlação entre ambos e enfatizando a validade de se utilizar o método do azul de metileno, considerando que o mesmo é muito mais rápido e simples que o método tradicional.

2.6.4.1 Aplicação aos Solos Tropicais.

Uma alternativa promissora de classificar os solos tropicais é a técnica de adsorção de azul de metileno, muito difundida no exterior, principalmente, na França, mas, ainda pouco utilizada em nosso meio técnico. Os trabalhos de CASANOVA (1986) tratando-se da determinação da Capacidade de Troca Catiônica (CTC) de solos lateríticos, os estudos de FABBRI & SÓRIA (1991), PEJON (1992) e FABBRI (1994) confrontando-se com os resultados da classificação MCT e a pesquisa de BARROSO & FABBRI (1996b) buscando prever algumas propriedades tecnológicas dos solos traduzem os principais estudos.

CASANOVA (1986) afirmou que a matéria orgânica humificada não absorve ou absorve muito pouco azul de metileno e, que os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio também não absorvem esse corante orgânico, resultando, portanto, que a capacidade de troca de cátions determinada, refere-se somente aos argilo-minerais, condição essa positiva quando o objetivo é justamente o de caracterizar a fração argilosa do solo.

Utilizando-se do ensaio de adsorção de azul de metileno, que é simples e rápido de executar, PEJON (1992) distingue o comportamento laterítico ou não laterítico dos materiais analisados, com uma probabilidade de 85% de acerto.

Sabe-se que os argilo-minerais deletérios (grupos das esmectitas, micas, etc) têm superfície específica considerável e que esses mesmos argilo-minerais aparecem em proporções muito pequenas nos solos laterizados, quando aparecem. A superfície específica de um solo laterizado pode ser elevada, comparável até a de um solo não laterizado que contenha argilo-minerais deletérios (FABBRI & SÓRIA, 1994a).

Por outro lado, segundo FABBRI & SÓRIA (1994b) sabe-se também que não há uma completa adsorção do azul de metileno pela matéria orgânica humificada, que os materiais paracristalinos e amorfos adsorvem pequena quantidade de azul de metileno e que não há adsorção do corante pelos óxidos e hidróxidos livres de ferro e alumínio. Assim, o que parece um defeito de ensaio de adsorção de azul de metileno pode ser transformado em vantagens, pois o azul de metileno mede efetivamente a superfície específica dos argilo-minerais dos solos, possibilitando a diferenciação dos solos que sofreram processo de evolução pedogenética acentuada daqueles pouco evoluídos sob esse ponto de vista.

2.7 Classificação Geotécnica MCT (Miniatura, Compactado, Tropical).

A classificação MCT, surgiu em virtude das limitações dos procedimentos tradicionais de caracterização e classificação, no tocante aos solos tropicais, destacando-se a granulometria, plasticidade, equivalente de areia, resistência dos grãos, capacidade de suporte e índice de grupo.

2.7.1 Introdução.

Os critérios tradicionais adotam faixas granulométricas, cujos limites aproximam-se das curvas granulométricas de máxima densidade preconizadas pelas condições estabelecidas tradicionalmente por Fuller e Talbot. Entretanto, face aos materiais disponíveis nas regiões tropicais úmidas têm-se constatado frequentemente que as granulações que afastam-se das tradicionais apresentam

normalmente misturas de comportamento satisfatório quando usadas em sub-bases e bases de pavimento.

Segundo NOGAMI & VILLIBOR (1995) os motivos que justificam o comportamento diferenciado desses materiais, residem principalmente que os finos lateríticos compensam as deficiências granulométricas. Assim é possível utilizar materiais de granulação fina, mal graduados e de grãos arredondados, contra indicados pelos critérios tradicionais; e devido à fragmentação parcial dos grãos durante os trabalhos de compactação, o que propicia um elevado grau de entrosamento à camada compactada.

“Tradicionalmente, tanto o Limite de Liquidez como o Índice de Plasticidade, vêm sendo usados para avaliar a variação de volume dos solos compactados, conseqüente à variação do seu teor de umidade por secagem (contração) ou por imersão em água (expansão), bem como para a classificação geotécnica dos solos” (NOGAMI & VILLIBOR, 1995).

A variação de volume dos solos nas camadas constituintes de um pavimento, é fato não desejável. Daí, tradicionalmente, limitar-se os valores do LL e do IP. Os limites utilizados pelos critérios tradicionais para a finalidade em vista, adota um máximo de 25% para o LL e 6% para o IP. Entretanto, foi observado por NOGAMI & VILLIBOR (1995), tanto em laboratório como em campo, que no caso de solos e condições ambientais tropicais, esses limites não mais se aplicam. Como exemplo da inaplicabilidade dos limites anteriormente referidos, os mesmos autores constataram que é possível a existência de solos com o mesmo LL e mesmo IP, porém, com expansibilidade completamente diferentes. Ao mesmo tempo em que solos com LL elevados (acima de 50%), que não se expandem ou expandem muito pouco, quando compactados. Isso tem acontecido, sobretudo, nos solos que se classificam pedologicamente como podzólicos e latossolos. Por outro lado, existem solos que apesar de possuírem LL e IP dentro dos limites tradicionais expandem-se bastante quando compactados, isso acontece normalmente nos solos saprolíticos ricos em siltes caulíníficos e/ou micáceos.

VARGAS (1982) apresenta a idéia de que os Limites de Atterberg, são “propriedades índices” para a determinação e classificação da “natureza” dos solos. Eles nada dizem sobre os “estados” em que esses solos podem apresentar-se. Portanto, para executá-los corretamente é preciso destruir, primeiramente, nas amostras qualquer característica de “estado”, tais como: estrutura, compactidade, dispersão dos grãos, etc.

Normalmente os solos arenosos finos lateríticos não satisfazem as condições mínimas do ensaio de Equivalente de Areia exigidas. Logo, tais materiais são descartados apesar de seu desempenho satisfatório.

Os métodos tradicionais admitem que os grãos de diâmetro nominal superior a 2,0 mm, possuam resistência mecânica suficiente para não alterar a granulometria durante os processos construtivos e sob a ação de cargas. Nas regiões tropicais, os grãos de pedregulho (concreções e seixos), normalmente apresentam resistência baixa, devido ao intenso intemperismo. Logo sendo esses solos descartados pelo critério de resistência, devido à fragmentação intensa, sobretudo, após as operações construtivas, contudo apresentado suporte adequado.

A capacidade de suporte de um pavimento é determinada normalmente através do ensaio de CBR, para dimensionamento de suas camadas. Atualmente, está havendo uma tendência de dimensionamento dos pavimentos flexíveis considerando as propriedade resilientes das camadas envolvidas (NOGAMI & VILLIBOR, 1995).

O Índice de Grupo (IG) é calculado considerando-se os valores de LL, IP e percentagem de solo inferior a 0,074 mm. Segundo o procedimento originariamente proposto, o valor máximo do IG é 20. Em 1966, foi proposto um novo critério em que o IG pode ultrapassar esse limite, mas no Brasil, ainda prevalece o critério primitivo, que foi abandonado pela AASHTO e ASTM. Nos solos de países de clima temperado o IG correlacionou-se bem com o CBR, razão pela qual tem sido usado para a avaliação da capacidade de suporte do pavimento. Já

para os solos tropicais, quando correlaciona-se o IG e o CBR encontra-se grande dispersão.

Isso sugere o abandono do índice considerado para solos tropicais na avaliação da capacidade de suporte (NOGAMI & VILLIBOR, 1995),

Como se sabe, o método MCT foi desenvolvido especificamente para fins rodoviários, entretanto, sua utilização em outras áreas da engenharia de solos, geologia de engenharia e geologia, tornou-se promissor, principalmente pelo recente desenvolvimento do método das pastilhas de classificação.

O método de caracterização e classificação gerais de solos para pavimentação, apesar de ter sido introduzido entre nós há mais de quatro décadas, praticamente não evoluiu. Essa situação tem prevalecido, não obstante desde cedo terem sido constatadas sérias deficiências na sua aplicação aos solos tropicais e condições brasileiras.

Esse método, já tradicional entre nós, baseia-se nas determinações da granulometria, Limite de Liquidez e do Índice de Plasticidade, completada rotineiramente pela classificação do solo segundo grupos da classificação HRB-AASTHO (NOGAMI & VILLIBOR, 1980).

“A ambiguidade da classificação USCS quando aplicada aos solos tropicais vem sendo constantemente denunciada por vários autores, destacando-se Villibor e Nogami” (VARGAS, 1982).

“Lamentavelmente, os métodos tradicionais de classificação de solos desenvolvidos no estrangeiro, não tem sido satisfatórios quando aplicados aos nossos solos tropicais, pois, com frequência as recomendações nelas baseadas não coincidem com o comportamento de muitos de nossos solos nas rodovias” (NOGAMI & VILLIBOR, 1981).

Preocupados com o problema, os autores citados anteriormente buscaram alternativas à procura de uma solução. Das várias alternativas tentadas,

optou-se pela adoção da determinação de propriedades básicas dos solos com o uso de corpos de prova de dimensões reduzidas (5 cm de diâmetro de 5 cm de altura), compactados dinamicamente em equipamento miniatura desenvolvido na Iowa State University em 1960 e divulgado entre nós pelo engenheiro Carlos Souza Pinto no ano de 1965.

Os professores e pesquisadores Job Shuji Nogami e Douglas Fadul Villibor, ambos da USP, desenvolveram a classificação geotécnica MCT, em virtude das propostas surgidas para corrigir as discrepâncias dos índices tradicionais, no tocante aos solos tropicais, não serem satisfatórias.

O método MCT foi iniciado com o ensaio Mini-CBR, em 1972 por Nogami, baseado no procedimento desenvolvido em Iowa conforme NOGAMI & VILLIBOR (1995) e adaptado para se correlacionar com os resultados obtidos com o CBR, realizado de acordo com o método adotado no Brasil. O procedimento para a determinação do Mini-CBR difere daquele seguido para a obtenção do CBR tradicional, sobretudo pelas dimensões reduzidas dos corpos de prova utilizados e pelo procedimento de compactação, que é feito com o uso de soquete de seção plena. Posteriormente, os corpos de prova eram moldados da maneira acima citada e passaram a ser ensaiados para a obtenção do Mini-CBR em outras condições, diferentes daquelas padronizadas (por exemplo, com sobrecargas menores, penetração sem imersão prévia n'água, etc) e também para obtenção de outras propriedades tais como contração, infiltrabilidade e permeabilidade.

A padronização do ensaio Mini-MCV, idealizado pelo Professor Nogami, a partir do ensaio MCV de PARSONS (1976), foi proposta por SÓRIA & FABRI (1980).

Segundo NOGAMI & VILLIBOR (1980, 1981) a adaptação do procedimento de compactação do MCV (Moisture Condition Value) desenvolvido em 1976 por Parsons, do Transport and Road Research Laboratory da Grã-Bretonha (caracterizado por possuir diâmetro interno de 100 mm, soquete de seção plena com massa de 7 Kg e altura de queda de 25 cm), e a introdução do ensaio de Perda de Massa por Imersão em água permitiram o desenvolvimento de uma

nova classificação geotécnica, mais tarde denominada classificação MCT. Em 1985, desenvolveu-se um procedimento subminiatura, com uso de corpos de prova de 26 mm de diâmetro e vários procedimentos para a determinação da capacidade de suporte Mini-CBR no campo.

2.7.2 Principais Características.

Os ensaios de compactação adotados no método MCT, caracterizam-se sobretudo por utilizar:

- moldes cilíndricos de 50 mm de diâmetro interno (26 mm na alternativa subminiatura), o que limita seu uso para solos que passam integralmente na peneira de 2,00 mm ou que possuem fração retida nessa peneira em quantidade tal que não interfira significativamente nas suas propriedades mecânicas e hidráulicas;
- soquetes de seção plena (diâmetro igual ao do molde) com massa variável (2270 g no tipo leve, 4500 g no tipo pesado) e queda livre de 30,5 cm. Esse tipo de soquete permite medir facilmente a altura do corpo de prova em compactação. Na subminiatura, utiliza-se soquete de 1000 g e altura de queda de 20 cm;
- base do tipo pistão, que permite a movimentação do molde durante a compactação, distribuindo melhor a energia aplicada pelo soquete;
- dispositivo manual, do tipo alavanca, que permite fácil extração do corpo de prova.

2.7.3 Generalidades da Classificação MCT.

A recente classificação foi designada MCT (Miniatura, Compactado, Tropical), devido ao fato de utilizar corpos de prova de dimensões reduzidas (Mini ou Subminiatura), compactados e destinados especialmente ao estudo de solos tropicais.

O presente método envolve dois conjuntos de ensaios, um para a classificação do solo quanto ao comportamento laterítico e não laterítico (Mini-MCV e associados) e o outro conjunto de ensaios para a determinação das propriedades mecânicas e hidráulicas (Mini-CBR e associados). Ela utiliza dois procedimentos diferentes de compactação dos corpos de prova: o método Mini-Proctor e o método Mini-MCV, que serão detalhados a seguir.

2.7.4 Procedimentos de Compactação.

2.7.4.1 Compactação Segundo Mini-Proctor.

Inicialmente, a amostra é seca ao ar, destorroada e, em seguida passada na peneira de abertura nominal de 2,00 mm, umidecida de acordo com o especificado por um período prévio de cerca de 10 horas.

Fixa-se a energia de compactação e, com essa energia (Normal ou Intermediária), compacta-se uma série de corpos de prova com diferentes teores de umidade.

Objetivando distribuir melhor a energia de compactação aplicada, o número de golpes do soquete é distribuído igualmente para cada lado do corpo de prova, mediante apropriada inversão do molde de compactação.

Adotam-se, geralmente, o tipo de soquete e o número de golpes, de acordo com o seguinte:

- Energia Normal: 5 golpes de soquete leve, de cada lado;
- Energia Intermediária: 6 golpes de soquete pesado, de cada lado.

Efetua-se após a compactação, leitura no extensômetro correspondente a altura do corpo de prova. Se a altura obtida for compreendida entre 50 ± 1 mm, a operação de compactação está encerrada, caso contrário, compactar outra amostra utilizando uma massa de solo corrigida até que satisfaça a condição de

altura do corpo de prova, descrita acima. O conjunto de ensaios que utiliza esse tipo de compactação é designado Mini-CBR e associados, que constituem o conjunto mais antigo, sendo composto por outros ensaios, tais como: capacidade de suporte (Mini-CBR), expansão, contração, infiltrabilidade, permeabilidade, etc.

Como se pode perceber, o procedimento Mini-Proctor é caracterizado por apresentar teor de umidade variando em torno do ótimo de compactação e energia constante (Normal ou Intermediária).

2.7.4.2 Compactação Segundo Mini-MCV.

Passa-se a amostra seca ao ar na peneira de 2,00 mm de abertura nominal, umedece-a em 5 porções com teores de umidades distintos compreendendo a suposta curva de compactação.

Toma-se a porção de solo com a maior umidade (w_1) e massa-se 200 g (30 g no S-MCV) da mesma, introduzindo-a no molde de compactação. Adapta-se o soquete sobre a amostra e dá-se o primeiro golpe ($n=1$). Determina-se a altura A_1 do corpo de prova, utilizando-se do dispositivo de medição. Repetem-se as operações de medida de altura após os golpes sucessivos seguintes: 2,3,4,6,8,12,16,... n ,... $4n$.

Pára-se de dar golpes quando:

- as medidas sucessivas derem diferença menor que 0,1 mm;
- $4n$ atingir 256 golpes (96 no S-MCV);
- exsudação de água (critério em estudo).

Repetir as operações para outros teores de umidade (no mínimo 4). Efetuando-se as medidas de altura (A_n) a cada golpe, obtém-se o afundamento do corpo de prova (a_n):

$$a_n = A_n - A_4 n \quad (02)$$

Representando graficamente o afundamento (a_n) em ordenadas e o número de golpes (n), em escala logarítmica na abcissas, obtém-se as curvas de deformabilidade (uma para cada teor de umidade). Determinando-se a interseção de cada curva com a ordenada $a_n=2$ mm ($a_n=1$ mm no caso S-MCV), que é paralela ao eixo das abcissas, obtém-se um valor de número de golpes (n_i) correspondente a um teor de umidade (w_i). O valor $10 \log n_i$ é o valor do Mini-MCV (ou S-MCV) correspondente.

Para um mesmo solo, o Mini-MCV aumenta com a diminuição do teor de umidade de compactação.

O Mini-MCV 10 (S-MCV 7), foi adotado para a determinação do coeficiente c' (c'' no S-MCV), que corresponde ao coeficiente angular da parte mais inclinada e retilínea da curva afundamento versus Mini-MCV (ou S-MCV). Raramente, a partir dos resultados dos ensaios, obtém-se uma curva que corresponda a um Mini-MCV igual a 10 (ou S-MCV igual a 7) e que permita o cálculo direto do valor de c' (ou de c''). Há, então, necessidade de se obter o valor mediante interpolação gráfica apropriada.

Esse coeficiente c' , está associado a distribuição granulométrica do solo:

- $c' > 1,5$ (argilas e solos argilosos);
- $1,0 < c' < 1,5$ (vários tipos granulométricos: areias siltosas, areias argilosas, argilas arenosas, argilas siltosas, etc);
- $c' < 1,0$ (areias e siltes não plásticos).

Com os valores de umidade e com os afundamentos (a_n) resultantes da compactação, calcula-se as massas específicas aparentes secas, traçando a família de curvas de compactação correspondente a cada número de golpes.

Tomando-se a inclinação da parte retilínea do ramo seco da curva de compactação de 12 golpes (próxima da energia normal), obtém-se o coeficiente d' ($\text{Kg}/\text{m}^3/\%$):

$$d' = \frac{\Delta\rho_d}{\Delta w} * 1000 \quad (03)$$

Onde:

d' = Inclinação da parte retilínea do ramo seco da curva de compactação, correspondente a 12 golpes no ensaio Mini-MCV ($\text{Kg}/\text{m}^3/\%$);

$\Delta\rho_d$ = Variação da massa específica aparente seca correspondente a variação do teor de umidade;

Δw = Variação do teor de umidade correspondente a variação da massa específica aparente seca.

Esse coeficiente está associado a natureza e gênese do solo. As argilas lateríticas possuem geralmente $d' > 20$.

2.7.5 Perda de Massa por Imersão.

Esse ensaio foi desenvolvido com o objetivo de distinguir os solos tropicais de comportamento laterítico dos não lateríticos.

Os corpos de prova, submetidos a esse ensaio, são obtidos pela compactação Mini-MCV (ou S-MCV), quando o objetivo do ensaio é a obtenção do coeficiente P_i a ser usado para fins classificatórios. Em seguida são parcialmente extraídos do molde de compactação, em aparelho apropriado, de modo que fiquem salientes 10 mm (5 mm no caso de S-MCV) e imerso em água por cerca de 20 horas. O material eventualmente despreendido é recolhido e seco em estufa a $105 - 110^\circ \text{C}$, a fim de obter-se o peso seco despreendido de cada corpo de prova.

A percentagem de Perda de Massa por Imersão (P_i) é obtida pela seguinte fórmula:

$$P_i = \frac{\text{PSD}}{\text{PSSI}} * 100 \quad (04)$$

Onde:

Pi = Perda de massa por imersão (%);

PSD = Peso seco despreendido (g);

PSSI = Peso seco saliente inicial (g).

O peso seco saliente inicial é obtido por cálculo para cada corpo de prova. Quando a parte despreendida mantiver a forma cilíndrica (bolacha), sem deformações apreciáveis, multiplicar o peso seco despreendido pelo fator 0,5.

Construir o gráfico de Pi em função do Mini-MCV e, obter o valor dessa perda por imersão usada na classificação MCT em função do Mini-MCV 10 ou Mini-MCV 15, conforme:

- solos com densidade baixa, $A_i > 48$ mm, utilizar Pi para Mini-MCV = 10;
- solos com densidade alta, $A_i < 48$ mm, utilizar Pi para Mini-MCV = 15.

Os solos saprolíticos apresentam valores de Pi bem superiores aos solos lateríticos. Essa peculiaridade é mais acentuada sobretudo nas variedades silteosas micáceas e/ou caulíníficas, em que os valores de Pi superiores a 250% tem sido constatados frequentemente.

A Figura 2.5, mostra as curvas de deformabilidade do solo em função do teor de umidade de compactação, a curva Mini-MCV versus esse mesmo teor de umidade e a perda de masa por imersão em função do Mini- MCV. Enquanto, a Figura 2.6, ilustra a família de curvas de compactação em função do número de golpes.

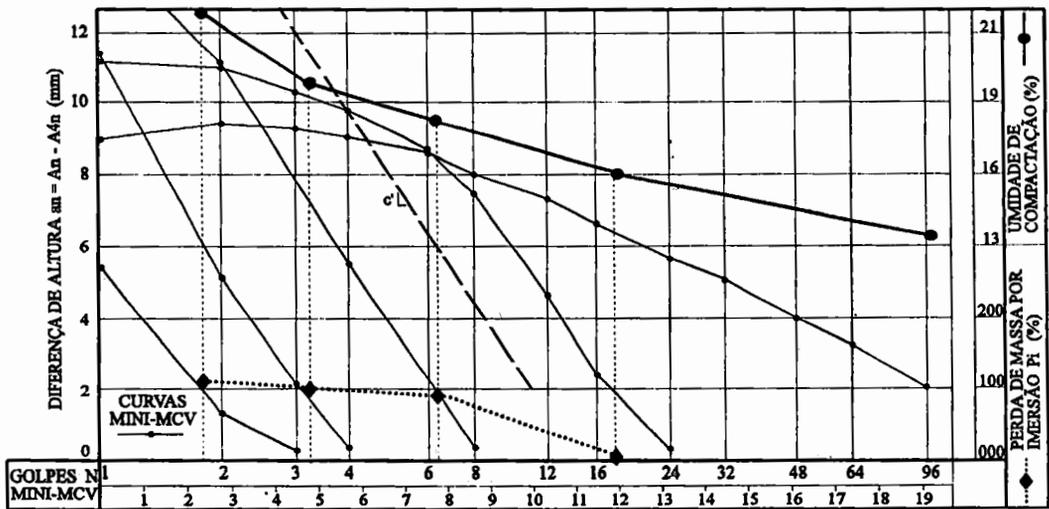


Figura 2.5: Curvas de afundamento, perda de massa por imersão e umidade de compactação versus número de golpes e Mini-MCV (NOGAMI & VILLIBOR, 1995).

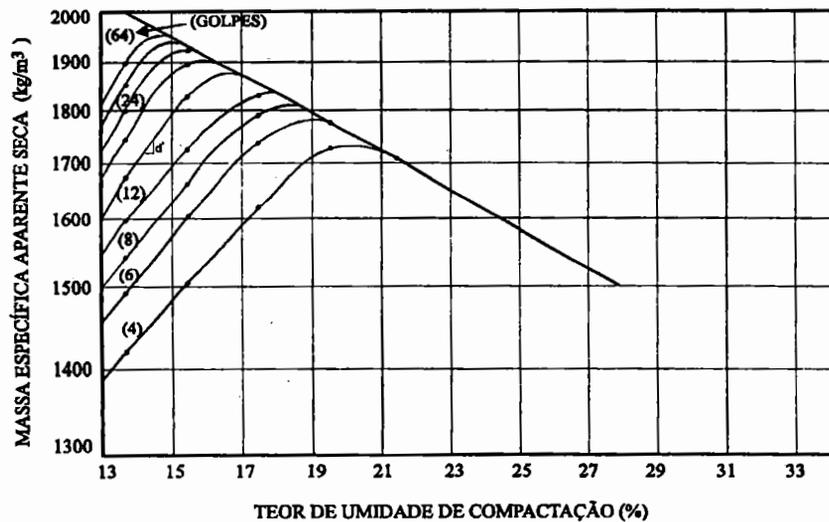


Figura 2.6: Família de curvas de compactação (NOGAMI & VILLIBOR, 1995).

2.7.6 Coeficiente e' .

Foi introduzido para indicar o comportamento laterítico ou não. Verificou-se que o comportamento laterítico começa a manifestar-se quando $d' >$

20 e $P_i < 100$, o que permitiu o estabelecimento da linha horizontal principal (tracejada) correspondente a $e' = 1,15$ que separa os solos de comportamento laterítico dos de comportamento não laterítico. Para os solos pobres em finos, a transição ocorre para valores mais altos de P_i , o que faz estabelecer a linha secundária $e' = 1,4$, constando na Figura 2.7

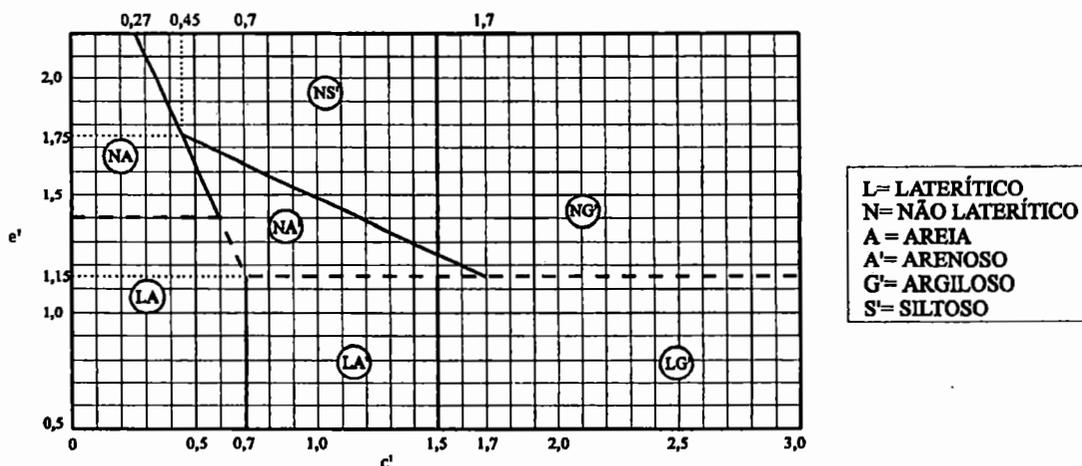


Figura 2.7: Gráfico da Classificação MCT (NOGAMI & VILLIBOR, 1995).

O uso da raiz cúbica na fórmula de cálculo do índice e' , objetivou distribuir os solos de comportamento laterítico e os de comportamento não laterítico, em áreas aproximadamente equivalentes.

$$e' = \sqrt[3]{\frac{P_i}{100} + \frac{20}{d'}} \quad (05)$$

Onde:

e' = Índice que diferencia os solos de comportamento laterítico dos de comportamento não laterítico segundo a classificação MCT;

P_i = Perda de massa por imersão (%);

d' = Coeficiente que caracteriza o ramo seco da curva de compactação de 12 golpes ($\text{Kg/m}^3 / \%$).

A Figura 2.8, mostra dados qualitativos sobre as propriedades mais significativas dos grupos de solos que compõem a classificação MCT.

GRANULOMETRIAS TÍPICAS			argilas siltos (q,s)	areias siltosas	siltos (k,m) siltos arenosos	argilas argilas arenosas argilas siltosas siltos argilosos	areias siltosas	areias argilosas	argilas argilas arenosas argilas siltosas siltos argilosos
k=caolínico s=sericítico	m=micáceo q=quartzoso								
COMPORTAMENTO			N = Não Laterítico				L = Laterítico		
GRUPO MCT			NA	NA'	NS'	NG'	LA	LA'	LG'
Propriedades	MINI-CBR (%)	sem imersão perda por imersão	M, E B, M	E B	M, E E	E E	E B	E, EE B	E B
	EXPANSÃO		B	B	E	M, E	B	B	B
	CONTRAÇÃO		B	B, M	M	M, E	B	B, M	M, E
	COEF. DE PERMEABILIDADE (k)		M, E	B	B, M	B, M	B, M	B	B
	COEFICIENTE DE SORÇÃO (s)		E	B, M	E	M, E	B	B	B
	Corpos de prova compactados na massa específica aparente seca máxima da energia normal		EE = Muito Elevado (a) E = Elevado (a)		M = Médio (a) B = Baixo (a)				
Utilização	Base de pavimento		n	4°	n	n	2°	1°	3°
	Reforço do subleito compactado		4°	5°	n	n	2°	1°	3°
	Subleito compactado		4°	5°	7°	6°	2°	1°	3°
	Aterro (corpo) compactado		4°	5°	6°	7°	2°	1°	3°
	Proteção à erosão		n	3°	n	n	n	2°	1°
	Revestimento primário		5°	3°	n	n	4°	1°	2°
n = não recomendado									
Grupos tradicionais obtidos de amostras que se classificam nos grupos MCT discriminados nos topos das colunas		USCS	SP SM	MS SC ML	SM, CL ML, MH	MH CH	SP SC	SC	MH ML CH
		AASHO	A - 2	A - 2 A - 4 A - 7	A - 4 A - 5 A - 7 - 5	A - 6 A - 7 - 5 A - 7 - 5	A - 2	A - 2 A - 4	A - 6 A - 7 - 5

Figura 2.8: Dados qualitativos das propriedades mais significativas da classificação MCT (NOGAMI & VILLIBOR, 1995).

2.7.7 Classificação MCT (Procedimento das Pastilhas - IV Aproximação).

“Esse método permite determinar os grupos da classificação geotécnica MCT, especialmente desenvolvida para os solos tropicais, de uma maneira expedita, utilizando-se de dados obtidos essencialmente em corpos de prova de 20 mm de diâmetro interno e 5 mm de espessura, pela moldagem de pasta da fração de solo que passa na peneira de 0,42 mm” (NOGAMI & VILLIBOR, 1994).

Ainda, segundo os mesmos autores, esse procedimento está na quarta aproximação, e as diversas etapas de desenvolvimento foram relatadas por: 1ª) NOGAMI & COZZOLINO (1985); 2ª) FORTES (1990); 3ª) FORTES & NOGAMI (1991); 4ª) desenvolvida, principalmente, em 1992, mas divulgada por NOGAMI & VILLIBOR (1994).

O procedimento alternativo das pastilhas baseia-se na relação que existe entre: 1) coeficiente c' com a contração diametral das pastilhas e 2) coeficiente e' com a consistência (penetração) das mesmas inicialmente secas e em seguida submetidas à infiltração de água (NOGAMI & VILLIBOR, 1996).

De maneira resumida, consiste o ensaio em determinar a contração das pastilhas de solo, preparadas de maneira padronizada e a consistência (penetração) das mesmas utilizando-se de um minipenetrômetro.

Com os valores de contração diametral e de penetração das pastilhas de solo, fazendo-se uso do gráfico da Figura 4.1, determina-se o grupo MCT.

2.7.8 Infiltração Vertical.

É o processo de entrada de água no solo, através de sua superfície. É o que acontece quando uma superfície de solo recebe água pela chuva, irrigação ou inundação, sendo que a água se movimenta no sentido vertical, de cima para baixo, indo molhar camadas mais profundas. Vê-se, portanto, que durante o processo de infiltração, a água distribui-se dentro do solo, movimento este que não pára, mesmo cessada a infiltração (REICHARDT, 1987).

2.7.8.1 Generalidades.

As características de infiltrabilidade para fins geotécnicos em regiões tropicais, têm sido muito pouco consideradas. Apesar de que nessas áreas, devido

à elevada taxa de evapotranspiração e boa capacidade de drenagem dos solos lateríticos, a infiltrabilidade ser mais representativa que a permeabilidade saturada.

Segundo NOGAMI & VILLIBOR (1995) isso se justifica porque nos climas frios e temperados, onde se desenvolveram os métodos tradicionais, a infiltrabilidade desempenha papel pouco importante, devido ao elevado grau de saturação das camadas dos solos.

Os mesmos autores, consideram que para a previsão da erosão nos taludes de cortes, há a necessidade de se determinar a infiltrabilidade e a erodibilidade específica dos solos. Enquanto, a infiltrabilidade trata da capacidade que a superfície tem de absorver água a erodibilidade específica representa a resistência à ação dinâmica da água em movimento.

A previsão da erodibilidade é analisada através do ensaio de Infiltrabilidade em conjunto com o ensaio de Perda de Massa por Imersão. (NOGAMI & VILLIBOR, 1979, 1995).

2.7.8.2 Erosão Hídrica.

“A erosão consiste em um conjunto de processos pelos quais os materiais da crosta terrestre são desagregados, dissolvidos ou desgastados e transportados de um ponto a outro pelos agentes erosivos, tais como as geleiras, os rios, os mares, o vento ou a chuva” (VILAR & PRANDI, 1993).

A erosão hídrica, fenômeno de estudo na presente pesquisa, é o destacamento do solo consequente da atuação das gotas das chuvas e do escoamento superficial resultante.

Sendo a erosão um fenômeno comum em muitos de nossos solos, torna-se de fundamental importância estudos que visem caracterizar e quantificar esse processo de desagregação e transporte de materiais da crosta terrestre, de

modo a obter-se correlações satisfatórias entre os ensaios de laboratório e a condição "in situ".

2.7.8.3 Método de NOGAMI & VILLIBOR (1979).

Consiste esse método em dois ensaios bastante simples: o de absorção de água (infiltrabilidade) e o de perda de massa por imersão. Onde pode-se utilizar amostras indeformadas ou compactadas.

Os resultados são apresentados em um gráfico cartesiano, tendo nas abcissas os valores de S (absorção d'água) e nas ordenadas os valores de Pi (perda de massa por imersão).

2.7.9 Classificação MCT e Algumas Correlações.

COSTA (1988) utilizou o método MCT em solos do interior do Estado da Bahia, visando caracterizar áreas com potencial e/ou características adequadas à pavimentos de baixo custo.

IGNATIUS (1990) propôs a adoção de um sistema classificatório que combine as classificações USCS e MCT.

Dentre as modificações, sugeridas têm-se: modificações na preparação da amostra para realização do LL (amostra é misturada em água destilada e colocada em dispersor modificado. Posteriormente, é seca até um teor de umidade acima do LL. Seguidamente o ensaio é feito por secamento da amostra. Dessa maneira, espera-se obter o LL "limite" do solo, que se pode considerar de natureza, livre de características de estado). No que se refere a diferenciação entre os solos de "comportamento laterítico" e os solos de "comportamento não laterítico", o mesmo acha próprio efetuar modificações na classificação MCT.

Essas modificações consistem na substituição do índice c' , pois o autor acredita que esse índice pode ser melhor representado pelos ensaios de granulometria e plasticidade; substituição também do P_i pelo índice D (dispersibilidade). Com a substituição do P_i , deixa de ser necessário a execução da família de curvas de compactação, o que facilitará o procedimento. Sendo necessário apenas obter a curva de compactação correspondente a 12 golpes para a determinação do índice d' . Agora, a diferenciação entre o “comportamento laterítico” e o “comportamento não laterítico” deverá ser feito por um índice “ e' modificado”, que será em função de D e d' , ao invés de P_i e d' , conforme a expressão:

$$e'(\text{mod}) = \sqrt[3]{\frac{(D - 4,94)}{26,6} + \frac{20}{d'}} \quad (06)$$

Onde:

$e'(\text{mod})$ = Índice proposto por Ignatius;

$D = 4,94 + 0,266P_i$

d' = Coeficiente que caracteriza o ramo seco da curva de compactação de 12 golpes.

PASTORE *et al.* (1990) com o objetivo de verificar as possíveis relações entre a Pedologia e a Mecânica dos Solos, em sua fase classificatória, realizou estudos na Região de Paraguaçu Paulista (SP), utilizando-se dos métodos de Classificação USCS, MCT e classificação Pedológica. Afirmam que é necessário a normatização da energia de manipulação para o ensaio de limite de liquidez.

Aplicando a classificação MCT, em solos da Região Amazônica, mais precisamente em obras de aeroportos, VERTAMATTI (1990) observou que a grande maioria desses solos posicionou-se ao longo da zona central do gráfico MCT (até então de definição genética não estabelecida), porém, com tendência inclinada em relação à orientação horizontal do mesmo. Desse modo, o autor afirma que foi possível criar um novo grupo genético denominado “Transicional”, em trabalho desenvolvido pelo próprio autor em 1988, alternando-se assim a estrutura do ábaco MCT.

IGNATIUS (1991) comparou curvas de compactação de solos não tropicais, de solos tropicais de comportamento laterítico e de solos tropicais de comportamento não laterítico e observou que os ensaios miniatura com 12 golpes e o proctor normal apresentam energias aproximadamente iguais. Mediante análises das diferenças entre as inclinações dos “ramos secos” das curvas num espaço normalizado pela massa específica seca máxima e teor de umidade ótimo, propôs o índice de laterização L, expresso por essa inclinação. Sugere que quando L for superior a 0,30, o solo apresenta comportamento laterítico.

Segundo FABBRI & SÓRIA (1994b) existe uma boa concordância entre os graus de atividade, determinados pela adsorção de azul de metileno e a previsão de comportamento dada pela classificação MCT.

GODOY *et al.* (1994) estudando solos associados a perfis de granitos e gnaisses, para obras viárias, afirmaram que os procedimentos tradicionais, fornecem, de um modo geral, informações menos efetivas do que as obtidas pelo uso do método MCT, evidenciando-se assim, discrepâncias de hierarquização para o uso dos solos.

BARROSO & FABBRI (1996a) utilizando solos artificiais, obtidos de uma mistura de uma mesma fração grossa (retida na peneira de abertura nominal de 0,074 mm) com três tipos de frações finas (passada na peneira de abertura nominal de 0,074 mm), constataram que o índice c' nem sempre traduziu a argilosidade dos solos e que o índice e' não apresentou valor constante para uma mesma fração fina das misturas.

3 CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS DOS LOCAIS DE OBTENÇÃO DAS AMOSTRAS.

3.1 Geologia.

Em termos Geológico-Geográficos, a cidade de Salvador é dividida em duas partes distintas pela escarpa de linhas da Falha de Salvador, que possui direção N30E, originando o que se acostumou chamar de cidade baixa e cidade alta (RIBEIRO, 1991).

Ainda, segundo o mesmo autor, a cidade baixa é a expressão morfológica da Falha de Salvador, limite Sul Oriental da parte emersa da Bacia Sedimentar do Recôncavo. Nos bairros da cidade baixa, afloram sedimentos da Formação Ilhas, membro superior, constituído de conglomerados, siltitos a folhelhos e, na cidade alta, rochas de elevado grau de metamorfismo de fácies granulito (básicos, ácidos, intermediários, diabásicos, metabásicos e pegmatitos), que constituem o embasamento oriental da Bacia, além da presença da Formação Barreiras, sedimentos dunares, alúvios e colúvios.

Segundo o PROJETO RADAMBRASIL - Folha SD 24 (1981) a Formação Ilhas, em 1971, foi elevada à categoria de Grupo, reunindo duas formações: Marfim e Pojuca. Nesse grupo, abundam os siltitos cinza-verde e cinza-amarelo, calcíferos micáceos; os carbonatos plaqueados, azulados ou amarelados, arenosos ou não, interstratificados nos siltitos e folhelhos.

PETRI & FÚLFARO (1983) descreve o Grupo Ilhas, caracterizando as Formações Marfim e Pojuca. Enquanto, a primeira é constituída de arenitos finos a silticos, raramente grossos, cinza-esbranquiçados a esverdeados, mal

selecionados, algumas vezes laminados, dotados de abundante matriz argilosa e com fragmentos dispersos de carvão e folhelho, a segunda é constituída de leitos intercalados de arenitos, siltitos, folhelhos e calcários. Sendo que os arenitos são muito finos a médios, às vezes silticos, bem selecionados, com pouca matriz argilosa e calcíferos; os siltitos são cinza-esbranquiçados a esverdeados, areno-argilosos e os calcários de coloração castanha, arenosos e argilosos.

As rochas metamórficas de grau forte, que fazem parte do embasamento cristalino da referida área, são de fácies granulítica. Rochas essas de interpretação controversa na literatura.

WINKLER (1977) afirma que há muita confusão com o emprego do termo granulito. Citando, inclusive, interpretações distintas para o mesmo. Reportamos, ainda, que na tentativa de se encontrar uma definição aceitável por petrologistas de muitos países, um grupo internacional propôs uma definição e caracterização para os granulitos. Entretanto, não atingindo o resultado esperado. YARDLEY (1994) define granulito como uma rocha caracterizada por possuir textura de grãos mais ou menos equidimensionais, de bordas retas (poligonais) e por apresentar uma mineralogia indicativa de metamorfismo de temperatura muito alta, muito próxima da mineralogia de rochas plutônicas cálcio-alcálicas básicas a moderadamente ácidas (feldspato, piroxênio, anfibólio). A suíte de charnockito constitui uma variedade distinta de granulitos, portadores de feldspato K e hiperstênio.

De acordo com o mesmo PROJETO RADAMBRASIL (1981) a Formação Barreiras se originou da designação comum "formação das barreiras", ou seja, dos terrígenos costeiros que formam mesas (tabuleiros), ao longo da costa, e que frequentemente são cortados em falésias junto a linha cotidal máxima. Sua constituição litológica, apesar da grande área que ocupa, se repete monotonamente, apresentando matriz de arenito com cores variadas, vermelha ou violeta, branca e amarela, conglomerados, seixos de granulitos, lamitos, etc.

PETRI & FÚLFARO (1983) reporta que a constituição típica da Formação Barreiras, na Bahia é de areias grossas, argilas azuis-avermelhadas,

roxas e amareladas e arenitos grossos e conglomeráticos, cinza-esbranquiçados, amarelados e avermelhados, mal consolidados e mal selecionados, com abundante matriz caolínica, com estratificações cruzadas de canais de preenchimento.

3.2 Clima.

O clima é tropical quente e úmido, com precipitação pluviométrica média anual de 1.950 mm, não apresentando estação seca e tendo os maiores índices pluviométricos nos meses de março a julho. É constatado que ocasionalmente podem ocorrer médias pluviométricas superiores a 3.000 mm/ano, como ocorreu nos anos de 1964 e 1989. As temperaturas médias oscilam entre 25 e 30 graus, enquanto, a umidade relativa do ar varia entre 75 e 90 % (RIBEIRO, 1991).

3.3 Relevo.

Segundo RIBEIRO (1991) Salvador apresenta dois tipos de paisagens topográficas: a faixa litorânea, compreendendo uma planície litorânea com largura variável, podendo chegar até um quilômetro de largura, e uma faixa continental representada por um platô dissecado do interior para o litoral, com altitude em torno de 70 m, com bordas caindo sobre vales entalhados com profundidade superior a 40 m. O relevo apresenta uma topografia com formas mamelonares, topos em forma de "meias laranjas", com encostas apresentando um padrão convexo, com algumas variações.

O referido autor, explica que os tabuleiros costeiros apresentam-se inclinados em direção ao mar, com intensa dissecação uniforme, escoamento difuso e concentrado, dando origem a ravinamentos intensos.

Cita também, a ocorrência em diversos pontos da orla marítima, de dunas de origem eólica, sendo que algumas tiveram várias etapas de formação,

como foi o caso das dunas da Lagoa do Abaeté. As mais antigas apresentam, às vezes, aspectos ferruginosos que se manifestam pela presença de dunas ocreas.

3.4 Vegetação.

A cidade de Salvador é caracterizada pelos seguintes tipos de vegetação: 1)a Floresta Ombrófila Densa (Mata Submontana Atlântica), ocupando os relevos dissecados e os planaltos com solos profundos; 2)a Vegetação Pioneira que é encontrada ao longo dos rios, praias, dunas, ao redor de lagoas e desembocaduras dos rios, caracterizada por sua formação ambiental de influência marinha (restingas), influência fluviomarinha (manguezais) e influência fluvial (arvoredos herbáceos e árvores) e 3)as inclusões de Cerrado (RIBEIRO, 1991).

Observa-se que vasta área dessas coberturas já foram destruídas e é contínuo o processo degradativo por falta de uma política de gerenciamento urbano de uso e ocupação do solo, principalmente, devido às pressões da expansão imobiliária, predominantemente desenvolvendo-se em locais inapropriados e gerando desorganização do meio físico.

4 MATERIAIS E MÉTODOS.

Visando a caracterização geotécnica da área em estudo, foram amostrados 32 pontos distintos abrangendo litologias diferentes (Tabela 5.1). Para tanto utilizou-se de trabalhos de campo e ensaios laboratoriais. A etapa de campo compreendeu as identificações pedológicas e/ou geológicas, como também as determinações das massas específicas aparentes naturais e o teor de umidade natural dos solos. Em laboratório, de modo a caracterizar os materiais, as amostras foram submetidas aos seguintes ensaios:

- Amostras de Solos-Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização: norma NBR 6457/86 da ABNT;

- Análise Granulométrica Conjunta: NBR 6502/80 da ABNT;

- Determinação do Limite de Liquidez: norma NBR 6459/84 da ABNT;

- Determinação do Limite de Plasticidade: norma NBR 7180/84 da ABNT;

- Grãos de Solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica: norma NBR 6508/84 da ABNT;

- Ensaio de Compactação: norma NBR 7182/86 da ABNT;

- Determinação do índice de vazios máximo de solos não coesivos: norma NBR 12004 - MB 3336/90;

- Determinação do índice de vazios mínimo de solos não coesivos: norma NBR 12051 - MB 3388/91;

- Ensaio Mini-MCV e Perda de Massa por Imersão: procedimento DER/SP - M197/88, M191/88 e M196/88;

- Procedimento das Pastilhas (MCT), conforme NOGAMI & VILLIBOR, 1996;

-Ensaio de Adsorção de Azul de Metileno, como sugerido por PEJON (1992);

-Ensaio de Adsorção de Azul de Metileno, como sugerido por FABBRI (1994);

-Determinação do Potencial Hidrogeniônico em água e em solução de cloreto de potássio: utilizando-se procedimento do Instituto Agronômico de Campinas, CAMARGO *et al.* (1989);

-Determinação da Capacidade de Troca de Cátions, conforme PEJON (1992);

-Ensaio de Infiltrabilidade e Perda de Massa, conforme NOGAMI & VILLIBOR (1979);

4.1 Método Tradicional.

Para se obter a caracterização dos materiais em estudo, foram realizados ensaios de granulometria conjunta, massa específica dos sólidos e Limites de Atterberg. Em adição à caracterização, efetuaram-se ensaios de compactação na energia normal e compacidade relativa.

4.2 Método MCT (Miniatura, Compactado, Tropical).

A classificação geotécnica para solos tropicais MCT (NOGAMI & VILLIBOR, 1981) hoje composta pelos procedimentos: de compactação Mini-MCV e Mini-Proctor (que utilizam a fração de solo que passa na peneira de 2,00 mm de abertura nominal) e das pastilhas (usando a fração passada na peneira de 0,42 mm de abertura nominal), é enfatizada na presente pesquisa.

4.2.1 Procedimento de Compactação Mini-MCV.

Os corpos de prova foram compactados em moldes de 50 mm de diâmetro interno, segundo o procedimento Mini-MCV de compactação

caracterizado por utilizar soquete de seção plena, energia e teor de umidade variáveis.

4.2.2 Perda de Massa por Imersão.

Finalizado o procedimento de compactação, os corpos de prova são parcialmente extraídos dos seus respectivos moldes, de maneira que fiquem salientes 10 mm e, em seguida imersos em água, em posição horizontal. Após 20 horas, a parte eventualmente despreendida é recolhida em recipiente, levada à estufa para a determinação de sua massa seca. A relação entre a massa seca assim obtida com a massa seca da parte inicialmente saliente do corpo de prova, expressa em percentagem é a perda de massa por imersão.

4.2.3 Procedimento das Pastilhas (IV Aproximação).

Segundo NOGAMI & VILLIBOR (1996) o procedimento das pastilhas baseia-se na correlação existente entre: 1) o coeficiente c' , obtido na curva de deformabilidade do solo no ensaio de compactação Mini-MCV com a contração diametral de corpos de prova (pastilhas) moldadas de pasta de solo preparados de maneira padronizada e em seguida secos; 2) do índice e' da classificação MCT, com a consistência (penetração) das pastilhas inicialmente secas e em seguida submetidas a infiltração capilar d'água.

O método requer aparelhagem simples e uma habilidade manual média do operador. De maneira resumida o procedimento é o seguinte: obter cerca de 30 g de fração de solo passada na peneira 0,42 mm; preparar a pasta e submetê-la a espatulação intensa; ajustar o teor de umidade para que se obtenha pasta com uma penetração de 1 mm, com o uso de um minipenetrômetro provido com agulha de ponta plana e circular de 1,3 mm de diâmetro e massa de 10 g, ilustrado pela Figura 4.1; moldar três pastilhas preenchendo os anéis de 20 mm de diâmetro interno e 5 mm de espessura; secar em estufa a 60° C; medir a contração diametral (distância máxima entre a borda interna do anel e a borda externa da pastilha),

utilizando-se de uma régua milimetrada e de uma lupa de cerca de 10x de aumento e/ou paquímetro (Figura 4.2); proceder à infiltração de água sobre uma pedra porosa saturada (Figura 4.3), determinar a penetração na pastilha embebida d'água, conforme a Figura 4.4; usar o gráfico da Figura 4.5 para obter o grupo MCT.

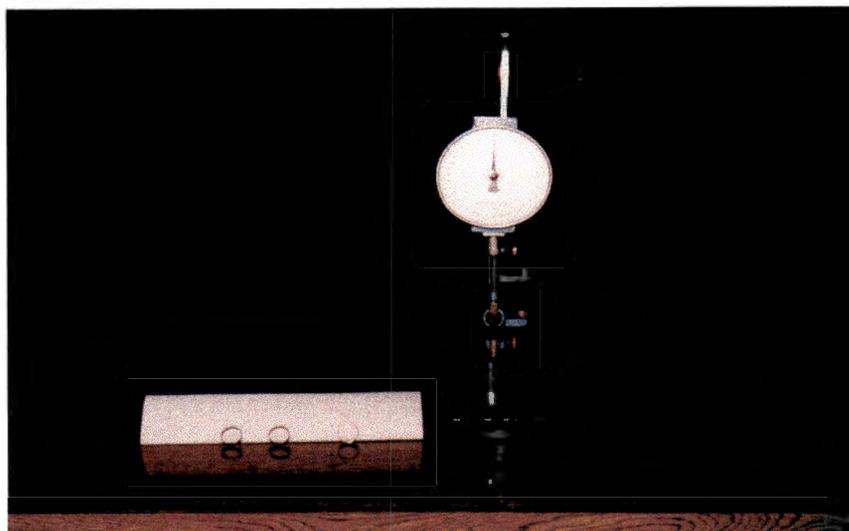


Figura 4.1: Minipenetrômetro do método MCT das Pastilhas
(altura do aparelho 40 cm).

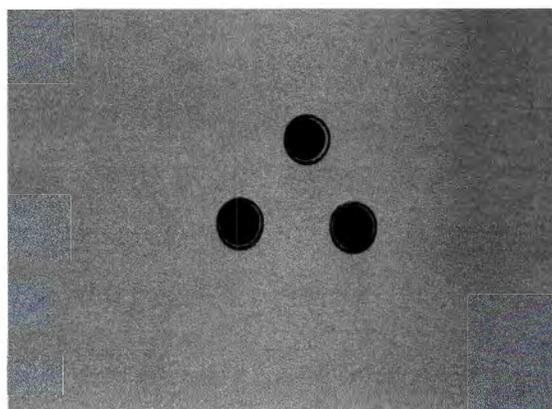


Figura 4.2: Contração diametral das pastilhas de solo (diâmetro 20 mm).



Figura 4.3: Pastilhas de solo submetidas à infiltração de água (diâmetro do molde 20 mm).



Figura 4.4: Penetração nas pastilhas de solo.

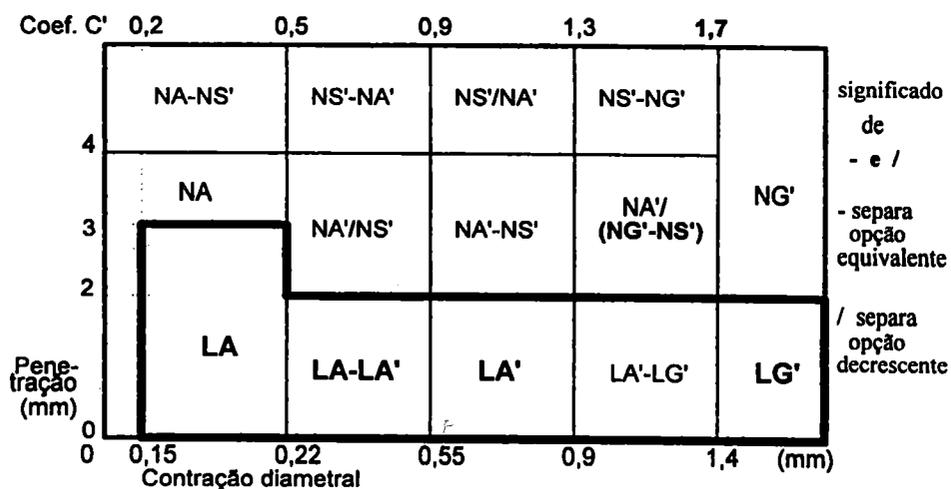


Figura 4.5: Gráfico da classificação MCT pelo método das pastilhas (NOGAMI & VILLIBOR, 1996).

O minipenetrômetro aqui utilizado, foi uma adaptação do aparelho do cone de penetração originalmente normalizado pela BS 1377:1975 de acordo com HEAD (1980) cujo objetivo inicial era a determinação do Limite de Liquidez.

4.3 Ensaio de Adsorção de Azul de Metileno.

Foram adotados, na presente pesquisa, os procedimentos de PEJON (1992) e FABBRI (1994), que diferem basicamente no diâmetro da fração e quantidade de solo utilizado, como também na concentração (Normalidade) da solução padrão de azul de metileno. Os procedimentos acima citados são descritos a seguir:

4.3.1 Procedimento de PEJON (1992).

Segundo PEJON (1992) o método baseia-se no procedimento descrito por LAN (1977, 1980) e BEAULIEU (1979). As modificações introduzidas dizem respeito à fração granulométrica utilizada para o ensaio e à concentração da solução de azul de metileno. Os autores citados, utilizam, para a realização do ensaio, amostras com partículas de dimensões inferiores a 0,50 mm. Enquanto, o presente procedimento faz uso da fração de solo que passa na peneira de abertura nominal de 2,00 mm, de maneira a permitir a obtenção de um índice de adsorção do azul de metileno global, simplificando o ensaio e evitando a necessidade de execução do ensaio de granulometria. Outra modificação efetuada refere-se à concentração da solução de azul de metileno, de 10 g/l para 1,5 g/l, pelo fato dos solos de regiões tropicais apresentarem a fração argilosa constituída predominantemente por minerais de baixa capacidade de adsorção, permitindo assim maior precisão nas determinações.

4.3.1.1 Preparação da Solução de Azul de Metileno.

- determinar a perda de água a 105^o C por aproximadamente 18 horas em estufa;
- tomar uma massa correspondente a 1,5 g de azul de metileno seco;
- dissolver em 1 litro de água destilada.

Obs.: não utilizar soluções preparadas há mais de três dias, devido aos problemas de polimerização e não secar em estufa o azul de metileno que será utilizado na solução.

4.3.1.2 Preparação da Amostra.

- passar a amostra na peneira de abertura nominal de 2,00 mm;
- determinar o teor de umidade;

- massar de 2 a 4 gramas de solo úmido;
- preparar uma suspensão com o solo e 10 ml de água destilada.

Obs.: não secar em estufa a amostra a ser ensaiada.

4.3.1.3 Aparelhagem e Materiais.

Para a execução do ensaio a aparelhagem necessária é muito simples, consistindo em um agitador magnético, uma bureta graduada, um becker, um bague de vidro, papel de filtro para cristais finos (Whatmann's 42 ou similar) e cronômetro. Que pode ser visualizado na Figura 4.8.

4.3.1.4 Execução do Ensaio.

PEJON (1992) explica que durante a realização do ensaio, a suspensão de solo deve ser mantida em constante agitação. Adiciona-se uma quantidade da solução de azul de metileno e após um intervalo de três minutos procede-se à retirada, com haste de vidro, de uma gota da suspensão (água+solo+azul), que é colocada sobre o papel de filtro. Se ocorrer somente uma mancha azul escura, o teste é considerado negativo e, caso apareça uma auréola azul clara em torno da mancha escura, o teste é positivo. No primeiro caso adiciona-se nova quantidade da solução de azul de metileno até obter-se um resultado positivo. Quando isso acontecer, aguarda-se um intervalo de mais três minutos e repete-se o teste. Se o resultado for positivo o ensaio está encerrado, caso contrário acrescenta-se metade da quantidade anteriormente adicionada, espera-se mais três minutos e o procedimento é repetido até obtenção de resultado positivo.

No início do ensaio, pode-se adicionar quantidades maiores de azul de metileno a cada vez, até o limite de 5 ml. No final do ensaio deve-se acrescentar de 1 em 1 ml, para melhor precisar o ponto de saturação.

4.3.1.5 Capacidade de Troca de Cátions (CTC).

A determinação da capacidade de troca catiônica pode ser obtida através da seguinte expressão (CHEN *et al.*, 1974):

$$CTC = \frac{V * C * 100}{M} \quad (07)$$

Onde:

CTC = Capacidade de Troca de Cátions (meq/100g);

V = Volume de azul de metileno consumido (ml);

C = Concentração da solução de azul de metileno - Normalidade;

M = Massa do solo seco (g).

4.3.1.6 Superfície Específica (SE).

Calcula-se a superfície (S) recoberta por 1 ml de azul de metileno na concentração utilizada (BEAULIEU, 1979), utilizando-se a equação 08:

$$S = \frac{A * N * m}{M_{am} * 1000} \quad (08)$$

Onde:

S = Superfície recoberta por 1 ml de azul de metileno na concentração utilizada (m²/ml);

A = Área da face da molécula de azul de metileno (130Å²);

N = Número de Avogadro (6,02 x 10²³);

m = Massa do azul de metileno seco (g);

M_{am} = Massa molecular do azul de metileno na forma anidra (319,9 g)

Agora, com o valor dessa superfície (S), determina-se a superfície específica (SE) do material ensaiado, através da seguinte expressão:

$$SE = \frac{3,67 * V}{M} \quad (09)$$

Onde:

SE = Superfície específica (m²/g);

V = Volume de azul de metileno consumido (ml);

M = Massa do solo seco (g).

4.3.1.7 Valor de Azul de Metileno Adsorvido (VB).

Este índice é definido como o sendo a massa de azul de metileno necessária para recobrir com uma camada monomolecular as partículas contidas em 100 gramas de solo. A Figura 4.6, mostra a influência dos argilo-minerais na adsorção do azul de metileno.

$$VB = \left(\frac{V * 1,5}{1000} \right) * \left(\frac{100}{Ms} \right) \quad (10)$$

Onde:

VB = Valor de azul de metileno adsorvido (g/100g de solo);

V = Volume de azul de metileno consumido (ml);

Ms = Massa do solo seco (g).

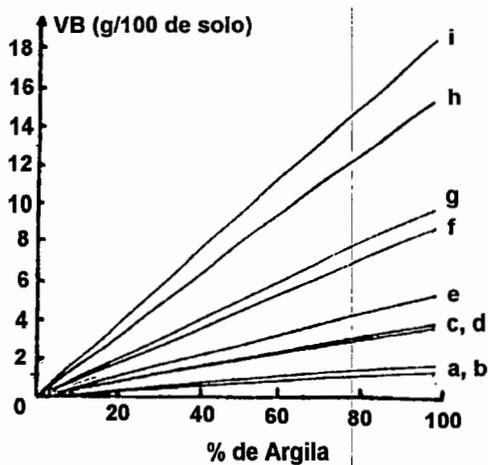


Figura 4.6: Influência da mineralogia das argilas sobre a adsorção de azul de metileno

Fonte: LAUTRIN (1987).

Segue-se na Tabela 4.1, a possível mineralogia dos solos de acordo com o trabalho de LAUTRIN (1987).

Tabela 4.1 - Provável mineralogia das argilas sobre a adsorção de azul de metileno.

Fonte: LAUTRIN (1987).

Inclinação das retas	Caulinita (%)	Ilita (%)	Montmorilonita (%)
a	100	0	0
b	95	5	0
c	95	0	5
d	0	100	0
e	80	0	20
f	10	45	45
g	0	98	2
h	15	0	85
i	10	0	90

4.3.1.8 Índice de Atividade da Fração Argilosa (Acb).

É a quantidade de azul de metileno adsorvida por 100 gramas de argila, que é determinada a partir do valor do VB, conforme a expressão seguinte:

$$Acb = \frac{100 * VB}{\% < 0,002} \quad (11)$$

Onde:

Acb = Índice de atividade da fração argilosa (g/100g de argila);

VB = Valor de azul de metileno adsorvido (g/100g de solo);

A Figura 4.7, mostra o diagrama de atividade pelo método do azul de metileno, baseado nesse ensaio e na identificação por raio x.

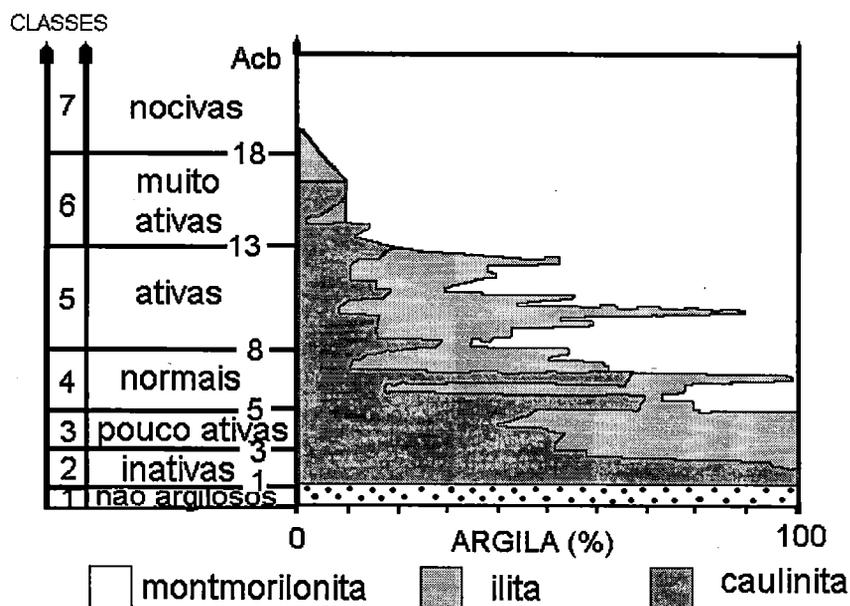


Figura 4.7: Diagrama de atividade das argilas pelo método do azul de metileno

Fonte: LAUTRIN (1989).

4.3.2 Procedimento de FABBRI (1994).

Consiste esse método na determinação do coeficiente de atividade (CA), cujo valor mede a atividade mineralógica dos solos.

O presente procedimento faz uso da fração de solo menor que 0,074 mm (1 grama), tendo a solução padrão a concentração de 1 g/l.

4.3.2.1 Preparação da Amostra.

O ensaio é realizado com a fração de solo que passa na peneira de malha quadrada de abertura equivalente a 0,074 mm (#200).

A amostra de solo deve ser seca ao ar, destorroada e peneirada a seco, na peneira #200. Após o peneiramento, determina-se o teor de umidade (w) dessa fração.

4.3.2.2 Aparelhagem e Materiais.

- peneiras de malha quadrada de 0,074 mm;
- equipamento para destorroamento de solos;
- agitador magnético para soluções aquosas, com possibilidade de regulagem do número de rotações;
- cronômetro, com resolução de segundos;
- bureta de vidro pirex de 50 ml de capacidade, graduada de 0,1 em 0,1 ml;
- suporte para bureta;
- baguete de vidro, com aproximadamente 8 mm de diâmetro e 250 mm de comprimento;
- becker de vidro pirex de 250 ml de capacidade;
- provetas de vidro pirex com capacidade de 100 e 1000 ml;

- papel de filtro circular, com diâmetro entre 120 e 150 mm, para microcristais, com teor de cinzas inferior a 0,01%, do tipo Reagen R-42, Whatman 42 ou similar;

- solução aquosa padrão de azul de metileno, com concentração de 1,00 g de sal anidro por litro de solução;

- água deslitada.

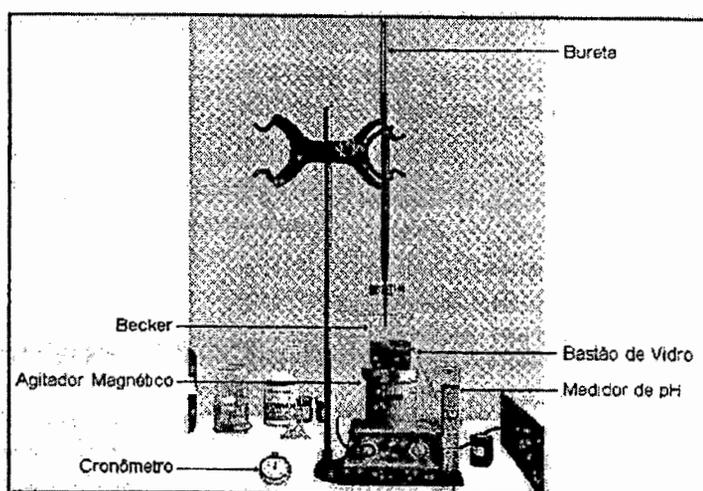


Figura 4.8 : Equipamentos utilizados na execução do ensaio de azul de metileno pelo método da mancha (FABBRI, 1994).

4.3.2.3 Execução do Ensaio.

O ensaio é realizado conforme a seguir (FABBRI, 1994) :

a) massar 1,00 g da fração de solo passada na peneira 0,074 mm, colocá-la no becker de 250 ml. Determine o teor de umidade dessa fração;

b) adicionar 100 ml de água destilada ao becker;

c) colocar o becker contendo a suspensão solo+água destilada no agitador magnético e ligá-lo;

d) adicionar ao becker, por meio da bureta graduada, 1,0 ml de solução padrão de azul de metileno e acionar o cronômetro;

e) aguardar 1 minuto;

f) introduzir o baguete de vidro na suspensão, sem desligar o agitador magnético e capturar uma gota de suspensão, pingando-a em uma folha de papel de filtro;

g) observar a difusão da gota no papel de filtro. Deverá aparecer uma mancha circular, composta de um núcleo escuro que contém as partículas sólidas da suspensão (solo), circundada por uma borda de cor mais clara, correspondente a fase líquida da suspensão filtrada pelo papel de filtro;

- se houver, após a difusão da água, o aparecimento de uma áura azulada ou esverdeada em torno da borda que circunda o núcleo escuro da mancha, esperar por mais 3 minutos e repetir os ítems f) e g).

- se a áura persistir, após passados os 3 minutos, significa que há excesso de corante na solução e o ponto de viragem foi atingido;

- se não houver o aparecimento da áura, ou esta desaparecer após os 3 minutos de espera, repetir a operação a partir do ítem d), até que o teste da mancha persista por 3 minutos ou mais, conforme observado acima;

h) anotar o volume de solução padrão de azul de metileno (V) correspondente ao ponto de viragem do teste da mancha.

4.3.2.4 Valor de Azul (Va).

De posse do volume de solução padrão de azul de metileno adicionado à suspensão (V), do teor de umidade da fração de solo ensaiada (w) e da percentagem que o solo possui na #200 (P_{200}), calcular o Valor de Azul (Va) para a amostra integral, conforme a expressão:

$$V_a = V * \frac{P_{200}}{100} * \left(1 + \frac{w}{100}\right) \quad (12)$$

Dessa forma, o Valor de Azul, correspondente à quantidade de azul de metileno consumida por 1 g de amostra de solo integral, cuja unidade pode ser expressa cm^3 de solução padrão por grama de solo, ou mais apropriadamente, por 10^{-3} g de azul de metileno por g de solo (10^{-3}g/g de solo).

4.3.2.5 Coeficiente de Atividade (CA).

O Coeficiente de Atividade (CA) de uma fração granulométrica de um solo, abaixo de um determinado diâmetro arbitrado, é definido por FABRI (1994), como sendo a razão entre o volume de azul de metileno consumido por 1 grama de solo (V_a) e a percentagem que o solo contém dessa fração (P_f):

$$CA = 100 * \frac{V_a}{P_f} \quad (13)$$

Conforme FABRI & SÓRIA (1994a) geralmente, o coeficiente de atividade é determinado para a fração considerada mais ativa do solo, correspondendo a fração argila (fração < 0,005 mm - ABNT). Isso também é feito pelo coeficiente de atividade de Skempton (AC), mas dessa outra forma, não possui os problemas decorrentes da utilização do ensaios de limites físicos. Ainda, contra o coeficiente de atividade de Skempton pesa o fato dos ensaios de limites serem realizados com a fração que passa na #0,42 mm, que possui, frequentemente, muito material inerte. Isso faz com que os resultados dos ensaios não reflitam a "atividade" do material fino presente no solo.

4.3.2.6 Valor de Azul (V_a) versus Percentagem de Argila (fração < 0,005 mm).

Segundo FABRI (1994) talvez a melhor forma de utilizar o valor de azul (V_a) seja consorciá-lo à quantidade de fração ativa (argila) presente no solo, em um gráfico cartesiano, de maneira semelhante às propostas por Magnan e Youssefian em 1989 e Pejon no ano de 1992.

Esse tipo de apresentação pode ainda ser enriquecido conforme observação de FABRI (1994), se for acrescido os valores de azul correspondentes aos principais tipos de argilo-minerais existentes. Isso pode ser feito através da transformação dos valores das superfícies específicas dos argilo-minerais apresentados na Tabela 4.2, em valores correspondentes de valor de azul

ou do coeficiente de atividade (inclinação da reta que passa pela origem). Essa transformação pode ser feita utilizando-se a expressão 14:

$$S = \frac{A \cdot N \cdot C}{M \cdot 1000} \quad (14)$$

Onde:

S = Superfície específica do argilo-mineral medida pelo método do azul de metileno, em m²/g ;

A = Área da face do azul de metileno que é adsorvida pelo argilo-mineral, igual a 130Å² ;

N = Número de Avogadro (6,02 x 10²³);

C = Concentração da solução padrão de azul de metileno - Normalidade;

M = Massa molecular do azul de metileno anidro (319,9 g).

Tabela 4.2 - Valores de Azul (Va) e Coeficiente de Atividade (CA), em função da Superfície Específica (SE) medida pelo método do Azul de Metileno. Valores retirados de Lan (1980).

Fonte: FABRI (1994).

Grupos de Argilo-Minerais	Superfície Específica (m ² /g)	CA (10 ⁻³ g/g%)	¹ Va (10 ⁻³ g/g)	Grau de Atividade
Montmorilonitas	860	350	350	MUITO ATIVO
² Vermiculitas	200	82	82	
Ilitas	74	30	30	ATIVO
Caolinitas	48	20	20	
³ Laterizados	27	11	11	POUCO ATIVO

1- Valores de azul para 1 g de fração argila.

2- Superfície específica segundo LCPC (1979)

3- Superfície específica para CA = 11

Através da expressão 14 tem-se que, para cada ml de solução padrão de azul de metileno consumida no ensaio, corresponde uma superfície específica (medida pelo azul de metileno) equivalente de 2,45 m². Portanto, basta dividir as superfícies específicas listadas na Tabela 4.2 pelo valor 2,45 para transformá-las em coeficiente de atividade. Se for considerado que o material a analisar é composto unicamente da fração argila (100 < 0,005 mm - ABNT), o valor de azul (Va) é numericamente igual ao coeficiente de atividade (CA), conforme FABBRI (1994).

Na Tabela 4.2, consta os valores dos coeficientes de atividade e os valores de azul, juntamente com os graus de atividade atribuídos por FABBRI (1994), aos grupos de argilo-minerais, através de adaptação que foi encontrado em LCPC (1979), Lan (1980), Lautrin (1987) e Magnani & Youssefian (1989).

O coeficiente de atividade (CA) igual a 11, foi arbitrado por FABBRI (1994), e corresponde a uma linha divisória, que separa os solos de comportamento laterítico dos de comportamento não laterítico, segundo a classificação MCT. Os de comportamento laterítico têm a tendência de se situarem abaixo dessa linha arbitrada (CA=11) e, os de comportamento não laterítico, acima dessa linha.

Os três graus de atividade para os grupos de argilo-minerais, foram definidos a partir dos dados apresentados na Tabela 4.2, segundo seus coeficientes de atividade, a saber: muito ativos (CA > 80), ativos (11 < CA < 80) e pouco ativos (CA < 11).

Os muito ativos, abrangem argilo-minerais dos grupos das montmorilonitas, vermiculitas, etc. Os ativos, argilo-minerais dos grupos das caulinita e/ou illitas, ou ainda combinações desses com os de grupos mais ativos e de grupos menos ativo, desde que em proporções compatíveis com o CA encontrado. Os pouco ativos abrangem desde materiais inertes até argilo-minerais laterizados ou ainda combinações entre esses e os de outros grupos mais ativos, desde que em proporções compatíveis, também, com o valor de CA (FABBRI & SÓRIA, 1994a).

Os mesmos autores constataram que existe uma boa concordância (em torno de 82%) entre os graus de atividade, determinados pela adsorção de azul de metileno e a previsão de comportamento dada pela classificação MCT e, observaram também, que normalmente, para os solos pouco ativos ($CA < 11$) correspondem solos de comportamento laterítico segundo a MCT; para os solos ativos ($11 < CA < 80$) e solos muito ativos ($CA > 80$) correspondem solos de comportamento não laterítico segundo a MCT. Finalizam, dizendo que não foram encontrados indícios de que a classificação MCT não seja adequada para a finalidade proposta originalmente pelos seus autores. No caso onde ela classifica solos lateríticos como não lateríticos ou vice-versa, existe embutido nos resultados a previsão de comportamento dos solos e não simplesmente o seu grau de evolução pedológica.

4.4 Potencial Hidrogeniônico (pH).

Por definição, o potencial hidrogeniônico é o logaritmo decimal do inverso da atividade do íon hidrogênio:

$$\text{pH} = \log \frac{1}{\text{H}^+} \quad (15)$$

Segundo MONIZ (1972) em qualquer solução aquosa a 25°C, o produto da concentração dos íons hidrogênio (H^+) pela dos íons hidroxila (OH^-) é igual a 10^{-14} . Numa solução neutra, essas concentrações são iguais, ou seja: concentração H^+ = concentração $\text{OH}^- = 10^{-7} = \text{pH } 7$. Portanto, pH menor que 7 representa acidez (ou predominância de íons H^+). Valores de pH acima de 7 expressam alcalinidade (ou predomínio de OH^-).

O balanço de cargas dos sistemas de troca iônica, indicam a Capacidade de Troca Aniônica (CTA) ou a Capacidade de Troca Catiônica (CTC), através da variação do potencial hidrogeniônico (ΔpH). Se o ΔpH for positivo o balanço de cargas do sistema será positivo (CTA). Se o ΔpH for negativo, o balanço de cargas do sistema será negativo (CTC).

O ΔpH é definido como sendo a diferença entre o pH em KCl e o pH em H_2O . Logo, o sinal do ΔpH corresponde ao sinal do balanço de cargas do coloíde.

Com o propósito de auxiliar na caracterização dos solos, utilizou-se dessa análise química, seguindo o procedimento do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), para a determinação do pH em água e em solução de cloreto de potássio 1 N, e que consiste em transferir 10 cm^3 de solo (fração passada na peneira de 2,00 mm) para cilindro plástico; adicionar, para a determinação do pH em H_2O , 25 cm^3 de água destilada e, separadamente, para o pH em KCl 1N, 25 cm^3 de solução de cloreto de potássio 1N; agitar mecanicamente por 15 minutos; esperar no mínimo por 30 minutos e proceder a leitura no medidor de pH provido de um eletrodo.

4.5 Capacidade de Troca de Cátions (CTC).

Na fração argila ocorrem muitos fenômenos, e um deles é a troca iônica, sintetizada no ítem 4.4.

A troca de íons, normalmente resulta em modificações nas propriedades físicas das argilas e, conseqüentemente, sobre as suas propriedades mecânicas, as quais interessam à engenharia (VARGAS, 1977).

Essa propriedade, é definida de forma simples, como o total da soma de cátions permutáveis que um solo é capaz de absorver (BRADY, 1989).

No intuito de estabelecer correlações desse parâmetro com outras propriedades dos solos em estudo, determinou-se a CTC, através do ensaio de adsorção de azul de metileno, conforme a expressão 07.

4.6 Método de NOGAMI & VILLIBOR (1979).

4.6.1 Ensaio de Absorção (Infiltrabilidade).

Consiste o ensaio, em medir o volume de água infiltrada no corpo de prova em intervalo de tempo, até que a água atinja o topo do mesmo.

Para a sua realização, utiliza-se de um recipiente cilíndrico (base), que possui as mesmas dimensões do corpo de prova, sendo essa base conectada a um tubo de vidro horizontal e graduado de forma que o sistema não apresente gradiente hidráulico. O conjunto (base cilíndrica + tubo de vidro) é preenchido com água e coloca-se sobre essa base uma pedra porosa saturada. Em seguida o corpo de prova previamente seco ao ar com o seu respectivo molde é assentado na pedra porosa dando início à contagem do tempo (Figura 4.9).

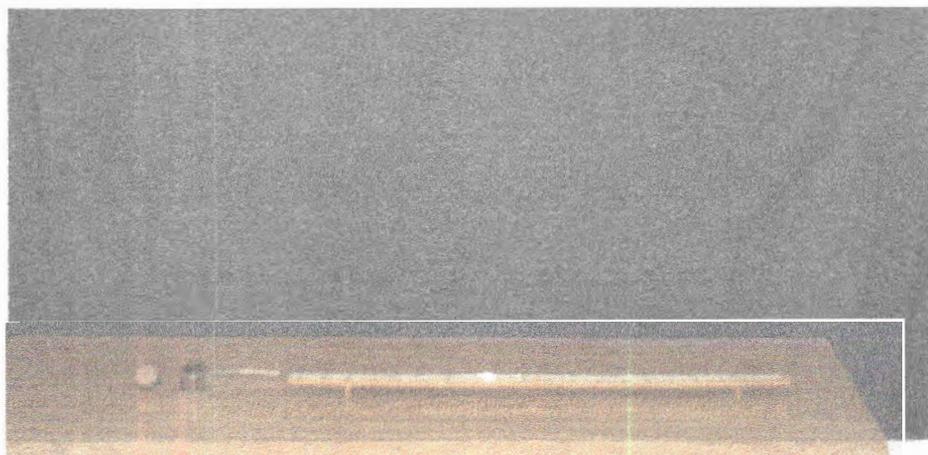


Figura 4.9: Equipamento do ensaio de absorção de água.

4.6.2 Ensaio de Perda de Massa por Imersão.

Após a realização do ensaio de absorção, fixa-se uma pedra porosa à base do molde contendo a amostra, imergindo o respectivo conjunto em um recipiente com água, de modo que o topo da amostra fique na posição horizontal e coberta por uma lâmina d'água, até que não se perceba heterogeneidade de cor

devido a variação de umidade na superfície da amostra. Seguidamente, gira-se o conjunto, imergindo-o de forma que a superfície livre da amostra fique na posição vertical, por um período de 24 horas. Recolhe-se em recipiente apropriado a massa eventualmente despreendida após esse período e determina-se a perda em função da massa seca inicial (Figura 4.10).

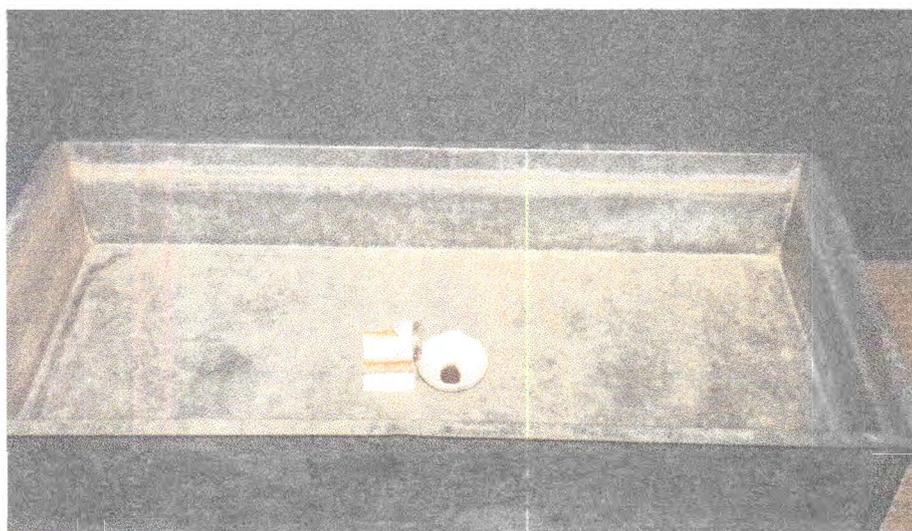


Figura 4.10: Ensaio de perda de massa por imersão.

4.6.3 Índice de Erodibilidade (E).

NOGAMI & VILLIBOR (1979) utilizando-se dos ensaios de infiltrabilidade e de perda de massa por imersão em água, em 80 amostras provenientes de taludes de cortes das rodovias do Estado de São Paulo, observaram que a equação $P = 52S$, separava os materiais com comportamentos distintos. Na sequência os autores verificaram que o índice de erodibilidade $E = 52S/P$, obtido através da relação entre a infiltrabilidade e perda de massa por imersão identificava os solos erodíveis para valores menor que a unidade.

$$E = \frac{52S}{P} \quad (16)$$

Onde:

E = Índice de Erodibilidade;

S = Absorção d'água (cm * t^{1/2});

P = Perda de Massa por Imersão (%).

Os resultados são apresentados em um gráfico cartesiano, tendo nas abcissas os valores de S (absorção d'água) e nas ordenadas os valores de P (perda de massa por imersão).

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.

Neste capítulo apresentam-se e discutem-se os diversos resultados obtidos neste trabalho. Vários dos ensaios são comumente apresentados e interpretados na literatura empregando-se gráficos e tabelas. Para não truncar em demasia o texto, e a título de ilustração, optou-se por apresentar apenas alguns dos gráficos correspondentes a determinadas amostras.

São mostradas nas Figuras 5.1 e 5.2, respectivamente, curvas de compactação na energia normal de um solo laterítico e de um solo saprolítico. Observa-se uma diferença de inclinação no ramo seco das curvas, tendo os solos lateríticos uma inclinação mais pronunciada.

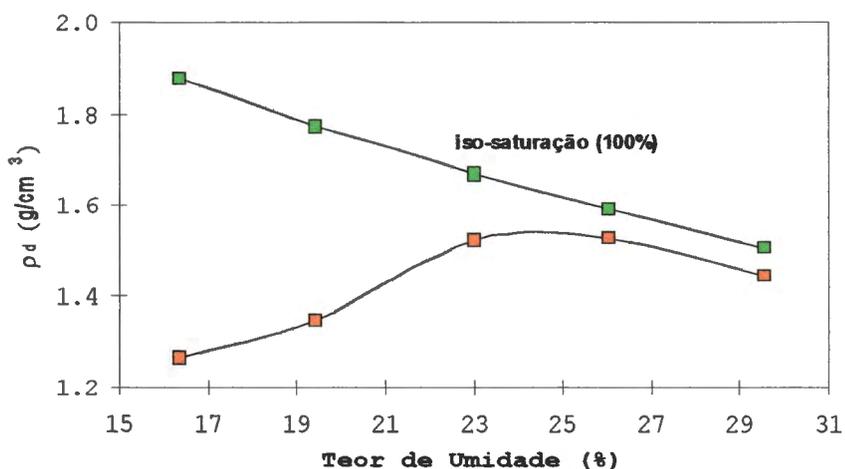


Figura 5.1: Curva de compactação de um solo laterítico (amostra 32).

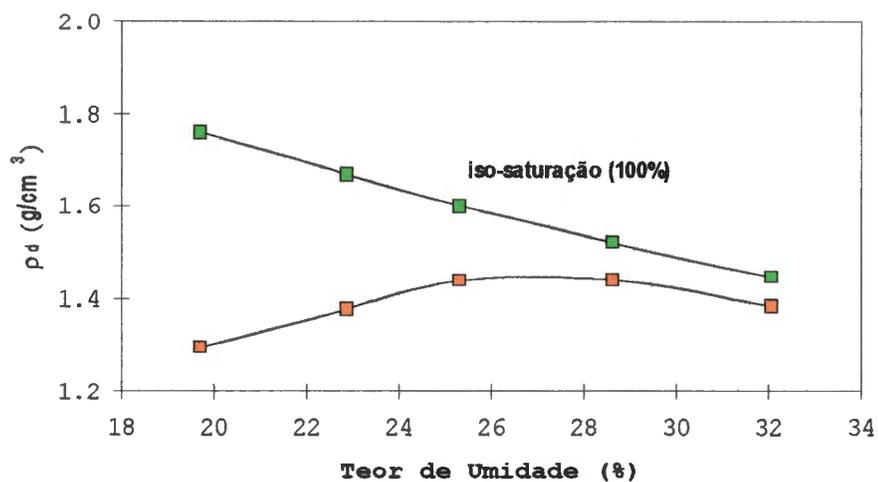


Figura 5.2: Curva de compactação de solo saprolítico (amostra 30).

Nas Figuras 5.3 e 5.4, ilustram-se, respectivamente, os resultados de ensaios de Mini-MCV e família de curvas de compactação de um solo de comportamento laterítico, enquanto que as Figuras 5.5 e 5.6 mostram os resultados de solo de comportamento não laterítico.

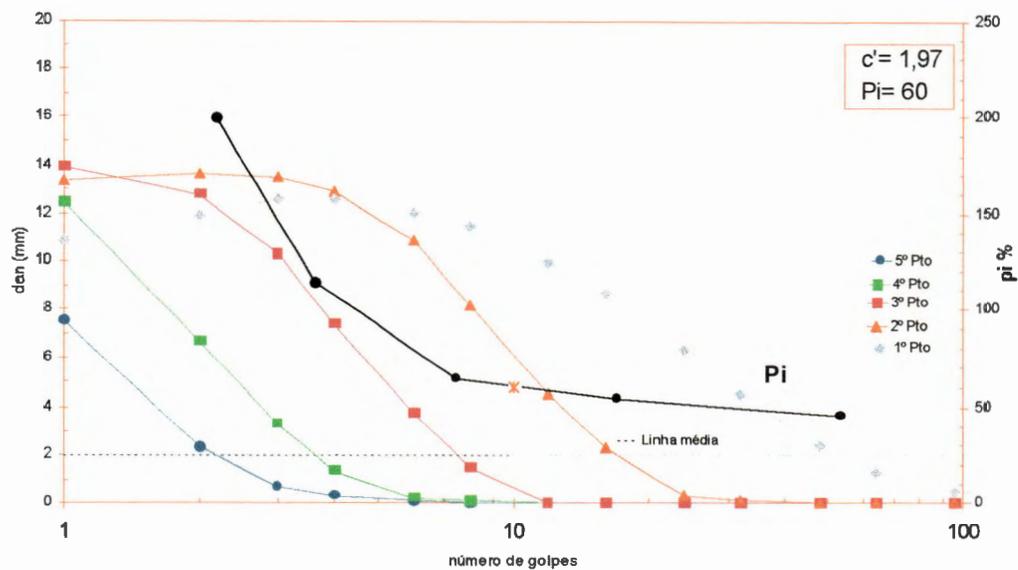


Figura 5.3: Curvas de deformabilidade e de perda de massa por imersão do ensaio de Mini-MCV de um solo laterítico (amostra 32).

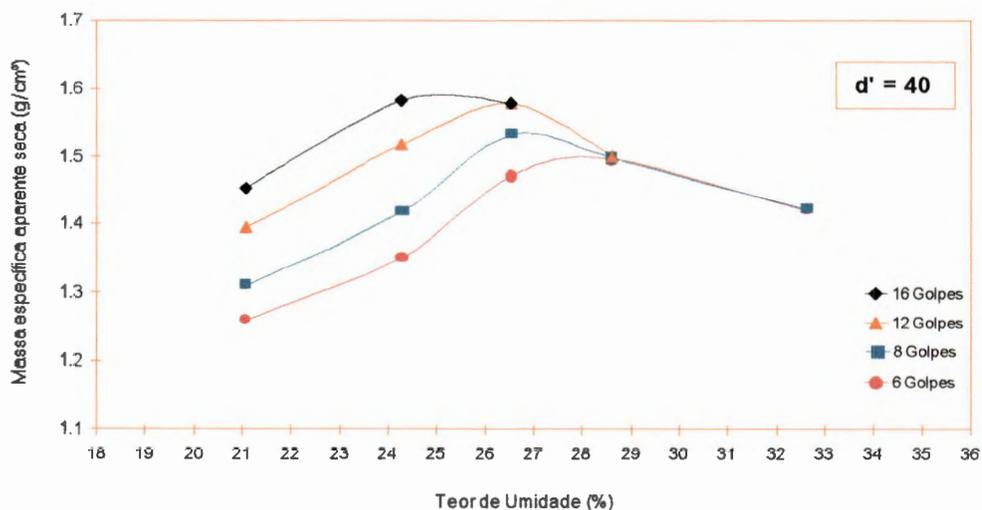


Figura 5.4: Família de curvas de compactação de um solo laterítico (amostra 32).

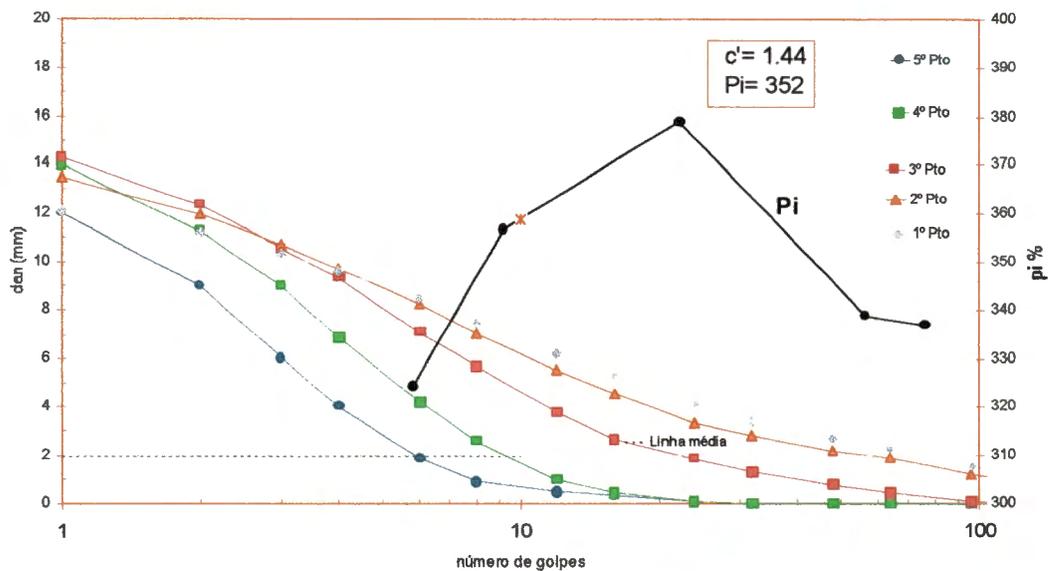


Figura 5.5: Curvas de deformabilidade e de perda de massa por imersão do ensaio de Mini-MCV de um solo não laterítico (amostra 30).

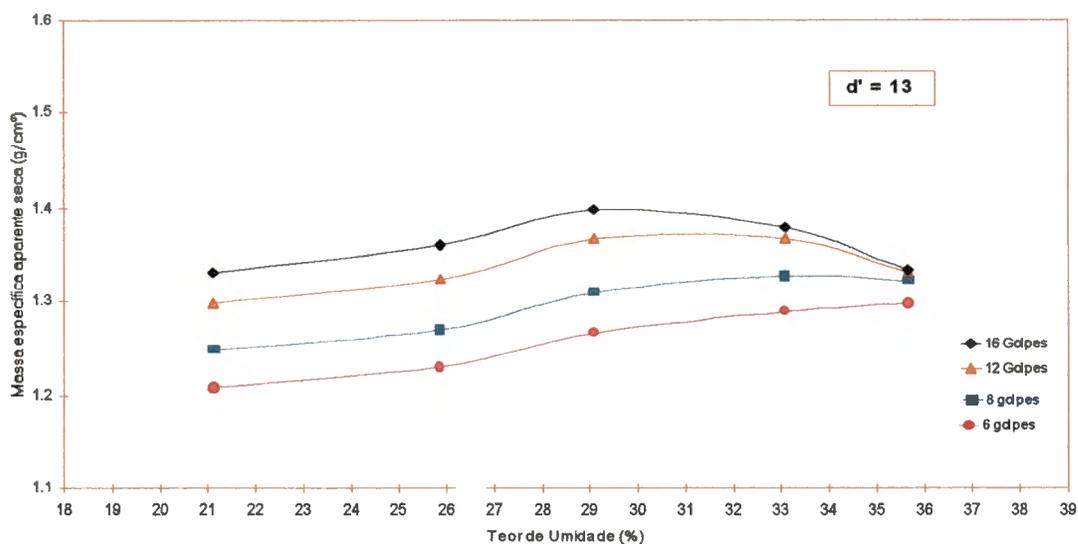


Figura 5.6: Família de curvas de compactação de um solo não laterítico (amostra 30).

Os gráficos e tabelas referentes à totalidade dos ensaios estão apresentados no Anexo 1.

A Tabela 5.1 mostra um resumo dos dados de campo, incluindo-se: litologia, profundidade de amostragem, identificação do horizonte, massa específica natural (ρ_n), teor de umidade natural (w_n) e seus respectivos índices de vazios (e_n) e grau de saturação (Sr_n).

Tabela 5.1 - Resumo dos dados de campo.

Amostra	Litologia	Prof. (m)	Horizonte	ρ_n (g/cm ³)	w_n (%)	e_n	Sr_n (%)
1	granulito	1.00	Compactado	1.853	27.47	0.92	83.39
2	granulito	1.00	Compactado	1.700	24.98	1.06	66.29
3	granulito	1.00	Compactado	1.700	24.89	1.03	66.98
4	granulito	0.50	B (podzólico)	1.692	29.36	1.08	74.07
5	granulito	0.50	B (podzólico)	1.850	28.28	0.80	91.87
6	granulito	8.00	C (saprolito)	1.619	29.49	1.17	68.33
7	granulito	5.00	B (jovem)	1.703	29.38	1.10	74.06
8	granulito	8.00	C (saprolito)	1.699	55.65	1.60	98.92
9	granulito	8.00	C (saprolito)	1.622	40.37	1.30	82.60
10	granulito	9.00	C (saprolito)	1.599	15.36	0.95	43.67
11	granulito	7.00	C (saprolito)	1.596	35.83	1.33	73.87
12	granulito	7.00	C (saprolito)	1.609	35.23	1.29	74.92
13	granulito	5.50	C (saprolito)	1.516	25.93	1.28	55.75
14	argilito	9.00	ext. argiloso	1.798	37.32	1.03	96.38
15	arenito	4.00	ext. arenoso	1.708	3.61	0.60	15.82
16	arenito	1.50	ext. arenoso	1.630	20.89	0.97	57.28
17	arenito	2.00	ext. arenoso	1.769	13.41	0.72	49.93
18	granulito	9.00	C (saprolito)	1.538	20.95	1.09	51.12
19	granulito	7.00	C (saprolito)	1.711	21.58	0.90	64.28
20	granulito	6.50	C (saprolito)	1.657	27.24	1.10	67.90
21	granulito	2.50	B (jovem)	1.711	25.09	1.02	67.94
22	arenito	0.50	B (latossólico)	1.838	7.28	0.55	35.08
23	arenito	0.80	B (latossólico)	1.731	7.47	0.64	30.81
24	arenito	2.50	ext. arenoso	1.729	9.29	0.68	36.20
25	siltito	3.00	ext. siltoso	1.919	17.17	0.59	75.63
26	granulito	0.50	Compactado	1.672	32.17	1.11	77.41
27	granulito	7.00	C (saprolito)	1.545	30.96	1.29	64.82
28	folhelho	0.50	C (vertissolo)	1.759	38.46	1.16	90.91
29	folhelho	0.50	C (vertissolo)	1.773	38.76	1.14	92.89
30	granulito	8.00	C (saprolito)	1.570	27.78	1.19	62.82
31	granulito	7.50	C (saprolito)	1.570	23.33	1.10	56.64
32	granulito	1.00	B (latossólico)	1.598	14.96	0.95	42.69

Consta na Tabela 5.2 um resumo dos ensaios de caracterização: granulometria conjunta, Limites de Atterberg, massa específica dos sólidos (ρ_s) e atividade coloidal de Skempton (AC). Estão também nesta tabela a massa específica aparente seca máxima ($\rho_{d_{máx}}$) e teor de umidade ótimo (w_{ot}) na energia normal; os parâmetros da classificação MCT: coeficiente de deformabilidade (c'), índice calculado em função de P_i e d' (e'), perda de massa por imersão (P_i), coeficiente que caracteriza o ramo seco da curva de compactação para 12 golpes (d'), massa específica aparente seca máxima ($\rho_{d_{máx}}$) e teor de umidade ótimo (w_{ot}) para a curva de 12 golpes; coeficiente de atividade (CA) medido pelo ensaio de azul de metileno proposto por FABRI (1994) para a fração de solo inferior a 0,005 mm; massa específica seca natural (ρ_{d_n}) e teor de umidade natural (w_n); a relação entre a massa específica seca natural e a massa específica aparente seca máxima ($\rho_{d_n}/\rho_{d_{máx}}$) correspondente a curva de 12 golpes; as classificações geotécnicas: USCS, HRB, MCT (Mini-MCV) e MCT (Pastilhas); ensaios químicos de potencial hidrogeniônico (pH) e capacidade de troca de cátions (CTC).

Tabela 5.2 - Resumo dos ensaios

Amostra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Profundidade (m)	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5	8.0	5.0	8.0	8.0	9.0	7.0	7.0	5.5	9.0	4.0	1.5	
Horizonte	Compact.	Compact.	Compact.	B	B	C	B (jovem)	C	C	C	C	C	C	Ext. arg.	Ext. aren.	Ext. aren.	
Granulometria ASTM	Areia (%)	26	23	39	18	19	33	25	42	45	48	34	31	29	12	81	41
	Silte (%)	37	36	28	20	21	46	48	36	42	34	40	53	43	27	11	28
	Argila (%)	33	34	31	58	57	20	27	15	8	17	24	16	28	60	7	29
ρ_s (g/cm ³)	2.793	2.813	2.762	2.722	2.599	2.711	2.773	2.844	2.660	2.701	2.742	2.722	2.752	2.660	2.630	2.660	
LL (%)	52	53	50	35	87	48	51	67	46	46	60	47	59	96	NL	42	
LP (%)	33	32	31	20	41	34	34	51	37	33	38	36	39	48	NP	30	
IP (%)	19	21	19	15	46	14	17	16	9	13	22	11	20	48	NP	12	
AC (Skempton)	0.57	0.62	0.61	0.26	0.81	0.70	0.63	1.07	1.12	0.76	0.92	0.69	0.71	0.80		0.41	
CA (10 ⁻³ g/g%)	23.57	19.60	18.00	11.74	19.53	43.80	37.99	98.45	71.46	27.24	29.68	70.93	26.88	25.00	15.83	17.81	
Campo	ρ_{dn} (g/cm ³)	1.454	1.360	1.361	1.308	1.442	1.250	1.316	1.091	1.155	1.386	1.175	1.190	1.204	1.309	1.648	1.348
	w _n (%)	27.47	24.98	24.89	29.36	28.28	29.49	29.38	55.65	40.37	15.36	35.83	35.23	25.93	37.32	3.61	20.89
Proctor Normal	$\rho_{d\text{máx}}$ (g/cm ³)	1.640	1.648	1.675	1.380	1.438	1.510	1.475	1.375	1.428	1.605	1.450	1.475	1.490	1.277	1.651*	1.587
	w _{ot} (%)	22.20	21.30	20.20	30.50	29.30	24.80	27.70	29.50	25.30	19.75	26.90	25.70	25.00	35.80		21.20
Mini-MCV 12 golpes	$\rho_{d\text{máx}}$ (g/cm ³)	1.710	1.725	1.730	1.450	1.490	1.550	1.510	1.357	1.410	1.648	1.520	1.485	1.545	1.317	1.797	1.630
	w _{ot} (%)	21.60	20.50	20.70	31.00	30.50	25.40	27.50	35.00	30.50	21.30	27.00	26.2	25.4	36.00	11.00	22.00
$\rho_{dn}/\rho_{d\text{máx}}$ (MCT) (%)	85.02	78.84	78.67	90.21	96.78	80.64	87.15	80.40	81.91	84.10	77.30	80.13	77.93	99.40	91.71	82.70	
c'	1.72	1.42	1.60	1.89	2.07	1.95	1.90	1.45	1.29	1.40	1.60	1.98	1.95	2.02	0.74	1.72	
e'	1.39	1.41	1.29	1.06	1.08	1.29	1.22	1.42	1.72	1.57	1.28	1.80	1.50	1.76	1.34	1.34	
Pi (%)	215	235	144	52	60	130	90	119	108	270	125	295	250	143	160	172	
d' (kg/m ³ %)	38	41	28	30	30	23	22	12	5	17	24	7	23	5	24	30	
Classificação	USCS	MH	MH	ML	CL	MH	ML	MH	MH	ML	ML	MH	ML	MH	MH	SM	ML
	AASHTO	A-7-5(11)	A-7-5(11)	A-7-5(8)	A-6(10)	A-7-5(20)	A-7-5(10)	A-7-5(13)	A-7-5(8)	A-5(4)	A-7-5(5)	A-7-5(13)	A-7-5(9)	A-7-5(14)	A-7-5(20)	A-2-4(0)	A-7-6(5)
	MCT	NG'	NS'	NG'	LG'	LG'	NG'	NG'	NS'	NS'	NS'	NG'	NG'	NG'	NG'	NS'	NG'
	MCT pastilhas	NG'	NG'	NG'	LG'	NG'	LG'	NG'	NG'	NG'	NG'	NG'	NS'-NG'	NA'-NS'	NG'-NS'	NA'-NS'	NG'-NS'
pH	H ₂ O	4.85	4.61	5.01	4.92	6.29	4.49	4.61	4.61	5.11	4.45	4.24	4.39	5.44	4.83	5.44	6.70
	KCl	4.30	4.10	4.58	4.04	5.79	3.78	3.90	3.75	3.84	3.95	3.79	3.63	5.38	3.89	4.53	5.95
Δ pH (KCl - H ₂ O)	-0.55	-0.51	-0.43	-0.88	-0.50	-0.71	-0.71	-0.86	-1.27	-0.50	-0.45	-0.76	-0.06	-0.94	-0.91	-0.75	
CTC (meq / 100g) Argila - FABBRI	12.06	10.03	10.60	4.76	7.91	19.52	14.82	56.88	42.88	16.35	14.70	31.17	12.16	8.76	38.00	9.58	

Obs.: *amostra 15 - refere-se a massa especifica aparente seca correspondente ao índice de vazios mínimo.

Areia: 0,06 < D < 2,00 mm Silte: 0,002 < D < 0,06 mm Argila: D < 0,002 mm

Tabela 5.2 - Resumo dos ensaios

Amostra		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Profundidade (m)		2.0	9.0	7.0	6.5	2.5	0.5	0.8	2.5	3.0	0.5	7.0	0.5	0.5	8.0	7.5	1.0
Horizonte		Ext. aren.	C	C	C	B (jovem)	B	B	Ext. aren.	Ext. silt.	Compact.	C	C	C	C	C	B
Granulometria ASTM	Areia (%)	59	48	25	31	19	66	61	78	37	23	29	10	16	33	38	27
	Silte (%)	12	31	51	43	42	16	21	6	32	37	50	26	26	48	47	20
	Argila (%)	23	17	20	22	38	16	16	16	29	31	20	64	57	18	13	45
ρ_s (g/cm ³)		2.681	2.660	2.681	2.742	2.762	2.650	2.640	2.650	2.599	2.671	2.701	2.742	2.732	2.691	2.671	2.711
LL (%)		27	38	51	61	71	20	20	NL	38	97	67	89	75	68	43	65
LP (%)		17	26	32	38	44	16	16	NP	20	48	44	36	32	50	34	33
IP (%)		10	12	19	23	27	4	4	NP	18	49	23	53	43	18	9	32
AC (Skempton)		0.43	0.70	0.95	1.04	0.71	0.25	0.25		0.62	1.58	1.15	0.83	0.75	1.00	0.69	0.71
CA (10 ⁻³ g/g%)		12.85	33.44	48.60	55.08	32.87	6.95	6.96	13.89	16.87	35.92	61.97	131.43	115.14	57.96	73.28	8.20
Campo	ρ_{dn} (g/cm ³)	1.560	1.271	1.407	1.302	1.368	1.713	1.611	1.582	1.638	1.265	1.180	1.270	1.278	1.229	1.273	1.390
	w _n (%)	13.41	20.95	21.58	27.24	25.09	7.28	7.47	9.29	17.17	32.17	30.96	38.46	38.76	27.78	23.33	14.96
Proctor Normal	$\rho_{d\text{máx}}$ (g/cm ³)	1.970	1.647	1.575	1.470	1.447	1.960	1.964	1.790	1.818	1.490	1.395			1.450	1.525	1.545
	w _{ot} (%)	11.10	19.50	23.00	26.50	28.50	10.50	10.30	13.60	15.00	27.20	29.60			27.20	24.70	24.50
Mini-MCV 12 golpes	$\rho_{d\text{máx}}$ (g/cm ³)	1.977	1.675	1.592	1.483	1.478	1.979	2.020	1.768	1.902	1.540	1.448			1.385	1.515	1.579
	w _{ot} (%)	11.60	19.50	22.00	27.60	28.80	11.00	10.60	12.30	14.90	26.20	29.00			31.00	26.70	26.50
$\rho_{dn}/\rho_{d\text{máx}}$ (MCT) (%)		78.91	75.88	88.38	87.79	92.56	86.56	79.75	89.48	86.12	82.14	81.49			88.74	84.03	88.03
c'		0.96	1.22	1.43	1.42	1.82	0.55	0.50	0.68	1.60	1.68	1.72			1.44	1.35	1.97
e'		1.16	1.20	1.57	1.51	1.41	1.12	1.13	1.15	1.35	1.21	1.27			1.72	1.31	1.03
Pi (%)		140	97	275	200	169	115	107	90	184	122	100			352	120	60
d' (kg/m ³ %)		108	26	18	14	18	77	55	32	33	36	19			13	19	40
Classificação	USCS	SC	SM	MH	MH	MH	SM	SM	SM	SC	MH	MH	CH	CH	MH	ML	MH
	AASHTO	A-2-4 (0)	A-6 (3)	A-7-5(13)	A-7-5(15)	A-7-5(19)	A-2-4 (0)	A-2-4 (0)	A-2-4 (0)	A-6 (5)	A-7-5(19)	A-7-5(16)	A-7-5(20)	A-7-5(20)	A-7-5(15)	A-5 (7)	A-7-5(16)
	MCT	NA'	NA'	NS'	NS'	NG'	LA	LA	LA	NG'	NG'	NG'			NS'	NA'	LG'
	MCT pastilhas	LA-LA'	NG'	NG'	NG'	NG'	LA	LA	LA-LG'	NA-NS'	NG'	NG'-NS'	NG'	NG'	NS'NA'	NG'-NS'	LG'
pH	H ₂ O	7.21	4.68	4.64	5.13	4.54	5.51	5.56	5.17	5.09	5.35	4.90	7.55	8.18	5.06	4.82	7.00
	KCl	6.16	3.86	3.83	4.40	3.93	4.67	4.65	4.09	4.25	5.15	3.91	6.27	6.86	4.48	3.94	6.56
Δ pH (KCl - H ₂ O)		-1.05	-0.82	-0.81	-0.73	-0.61	-0.84	-0.91	-1.08	-0.84	-0.20	-0.99	-1.28	-1.32	-0.58	-0.88	-0.44
CTC (meq / 100g) Argila - FABBRI		14.86	22.20	21.36	25.27	12.21	12.04	12.06	25.49	11.44	16.01	27.23	45.06	44.35	21.27	33.62	4.20

Obs.: Areia: 0,06 < D < 2,00 mm Silte: 0,002 < D < 0,06 mm Argila: D < 0,002 mm

Encontram-se na Tabela 5.3, os resultados de contração diametral e consistência (penetração) do método alternativo MCT (Pastilhas).

Tabela 5.3 - Resultados de contração e penetração.

Amostra	contração (mm)	penetração (mm)
1	1.87	2.30
2	1.80	2.10
3	1.88	2.40
4	1.77	0.50
5	1.75	3.90
6	1.80	1.80
7	1.79	3.80
8	1.83	3.40
9	1.91	5.00
10	1.88	4.80
11	1.56	4.05
12	1.28	7.10
13	0.74	3.95
14	1.04	2.95
15	0.00	5.10
16	0.95	2.40
17	0.24	0.50
18	1.90	2.50
19	1.85	4.40
20	1.46	4.50
21	1.51	5.45
22	0.20	0.00
23	0.17	0.00
24	0.92	1.35
25	0.63	2.30
26	2.48	2.15
27	1.35	2.35
28	2.68	3.90
29	2.83	5.45
30	0.84	6.10
31	1.20	2.20
32	1.73	0.00

Na Tabela 5.4, apresentam-se os resultados da classificação MCT pelos procedimentos de Mini-MCV e das Pastilhas.

Tabela 5.4 - Resultados dos ensaios do método MCT pelos procedimentos de Mini-MCV (compactado) e das Pastilhas (espatulado).

Amostra	MCT (Mini-MCV)	MCT (Pastilhas)
1	NG'	NG'
2	NS'	NG'
3	NG'	NG'
4	LG'	LG'
5	LG'	NG'
6	NG'	LG'
7	NG'	NG'
8	NS'	NG'
9	NS'	NG'
10	NS'	NG'
11	NG'	NG'
12	NG'	NS'-NG'
13	NG'	NA'-NS'
14	NG'	NA'/(NG'-NS')
15	NS'	NA'-NS'
16	NG'	NA'/(NG'-NS')
17	NA'	LA-LA'
18	NA'	NG'
19	NS'	NG'
20	NS'	NG'
21	NG'	NG'
22	LA	LA
23	LA	LA
24	LA	LA'-LG'
25	NG'	NA'-NS'
26	NG'	NG'
27	NG'	NA'/(NG'-NS')
28		NG'
29		NG'
30	NS'	NS'-NA'
31	NA'	NA'/(NG'-NS')
32	LG'	LG'

Dos dados da tabela 5.2, pode-se notar que através da classificação MCT (Mini-MCV), os solos residuais de granulito (horizonte C) apresentaram comportamento não laterítico, exceto as amostras 4, 5 e 32 pertencentes ao horizonte B (podzólico e latossólico).

Nos solos residuais da Formação Barreiras, as amostras 22 e 23 do horizonte B latossólico de textura arenosa, foram classificadas como areias lateríticas (LA), enquanto as amostras 17 e 24 (extratos arenosos), posicionaram-se na carta MCT em região fronteira entre o comportamento laterítico e não laterítico. Já os extratos argiloso e siltoso, respectivamente representados pelas amostras 14 e 25 dessa mesma Formação, mostraram solos de comportamento não laterítico, devido, principalmente, ao seu estado de evolução mineralógica, predominando minerais do tipo 2:1.

A carta de classificação MCT (Figura 5.7) reúne os resultados dos materiais estudados. Observa-se na mesma o predomínio de solos de comportamento não laterítico, principalmente, dos grupos NG' (que compreende os solos saprolíticos argilosos, derivados de rochas sedimentares argilosas como siltitos, argilitos e folhelhos ou rochas cristalinas pobres em quartzo) e NS' (que envolve sobretudo os solos saprolíticos silto-arenosos, resultantes do intemperismo tropical nas rochas metamórficas de constituição predominantemente feldspática-micácea-quartzosa).

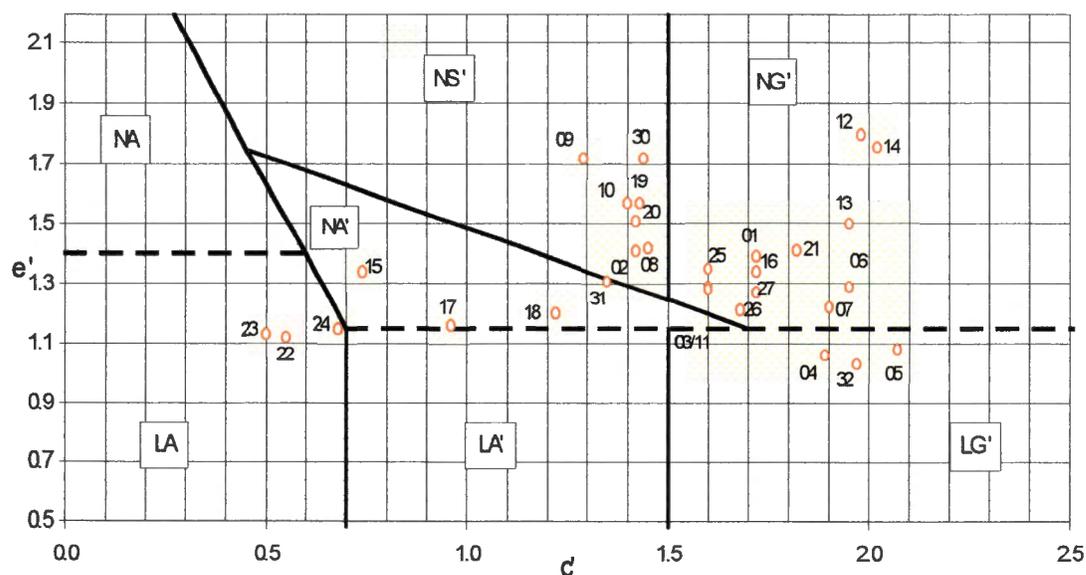


Figura 5.7: Carta de classificação MCT.

O método alternativo das pastilhas, quando comparado com o procedimento de Mini-MCV, apresentou resultados conflitantes (mudança de classe) para as amostras 5, 6 e 17. As outras amostras permaneceram na mesma classe de solos. Entretanto, as amostras 2, 8, 9, 10, 19 e 20 passaram do grupo siltoso não laterítico (NS') quando no estado compactado para o grupo argiloso não laterítico (NG') do procedimento das pastilhas. Enquanto as amostras 12, 13, 14, 15, 16, 24, 25, 27, 30 e 31, quando analisadas pelo procedimento das pastilhas, apresentaram classificação múltipla, em virtude de tal método ser empírico necessitando ainda de estudos sistemáticos. As amostras de número 1, 3, 4, 7, 11, 21, 22, 23, 26 e 32 permaneceram no mesmo grupo MCT. A amostra 18, classificada como arenoso não laterítico (NA') pelo procedimento compactado, passou à argila não laterítica (NG') pelo procedimento das pastilhas (espatulado).

O gráfico da classificação MCT (pastilha), apresenta-se com escala um tanto confusa. Observou-se que algumas amostras analisadas posicionaram-se fora do mesmo, com valores extremos de 2,83 mm para contração diametral e 7,10 mm para a penetração.

No método MCT, segundo seus idealizadores, os índices c' e e' expressam a argilosidade e o caráter laterítico dos solos, respectivamente. O índice P_i mede a coesão do material e o seu potencial de expansão quando imerso em água, enquanto o índice d' representa o aumento da densidade em função da variação do teor de umidade. Referindo-se ao índice c' , constatou-se que o mesmo não traduz fielmente o caráter argiloso dos materiais, pois, solos com teores de argila equivalentes manifestam-se com c' distintos, conforme a Figura 5.8.

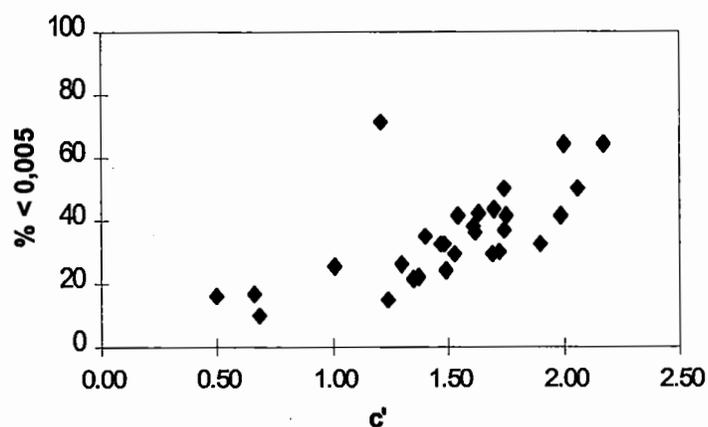


Figura 5.8: Índice c' versus percentagem de argila ($< 0,005$ mm).

Fato esse, também observado por BARROSO & FABBRI (1996a), quando constataram que o valor de c' não foi diretamente proporcional à quantidade de argila presente nas misturas analisadas. Quanto ao índice e' , dependente dos coeficientes d' e P_i , embute-se no mesmo características provenientes desses coeficientes citados, podendo incorporar eventuais discrepâncias. Entretanto, a variação desses índices não interfere na classificação final dos materiais.

Segundo NOGAMI & VILLIBOR (1996) o procedimento das pastilhas baseia-se na relação que existe entre os coeficientes c' e e' da classificação MCT, respectivamente, com a contração diametral e consistência (penetração) das pastilhas moldadas de forma padronizadas. As Figuras 5.9 e 5.10, ilustram tais relações e, apesar das mesmas não terem valor significativo, o método das Pastilhas conduziu a resultados satisfatórios.

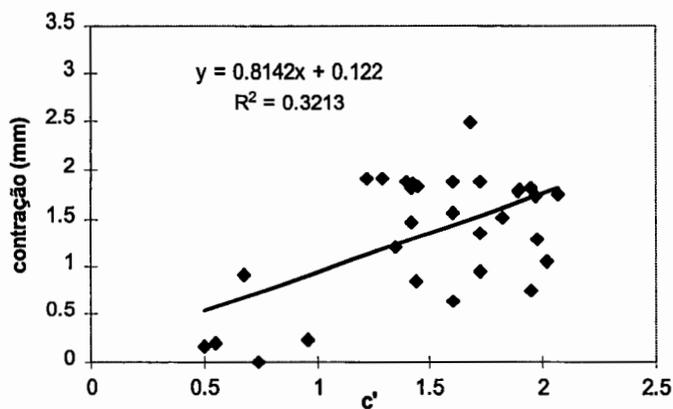


Figura 5.9: Índice c' versus contração diametral.

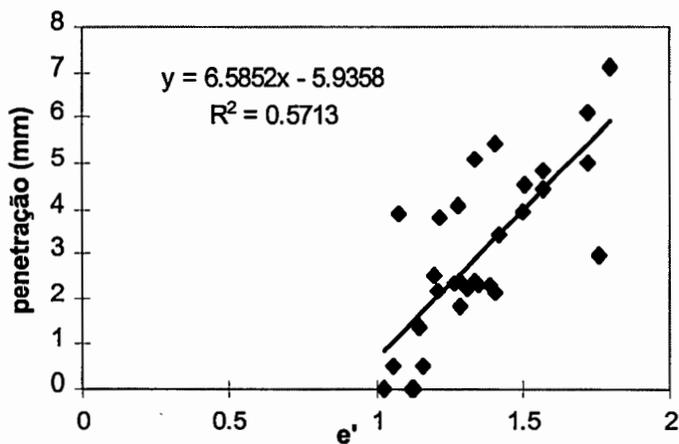


Figura 5.10: Índice e' versus penetração.

São apresentados nas Figuras 5.11 e 5.12, respectivamente, os teores de umidade do Limite de Liquidez e teores de umidade ótimos (Mini-MCV, 12 golpes) em função dos teores de umidade de moldagem das pastilhas, evidenciando um coeficiente de correlação igual a 0,73 para a primeira situação e 0,80 para a seguinte.

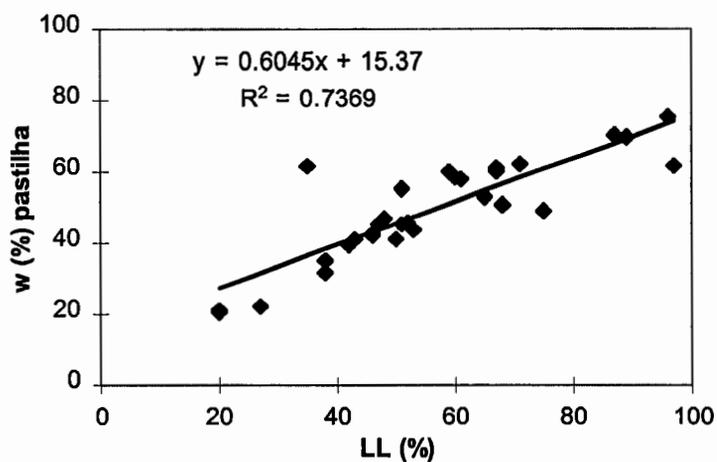


Figura 5.11: Limite de Liquidez versus teor de umidade de moldagem das pastilhas.

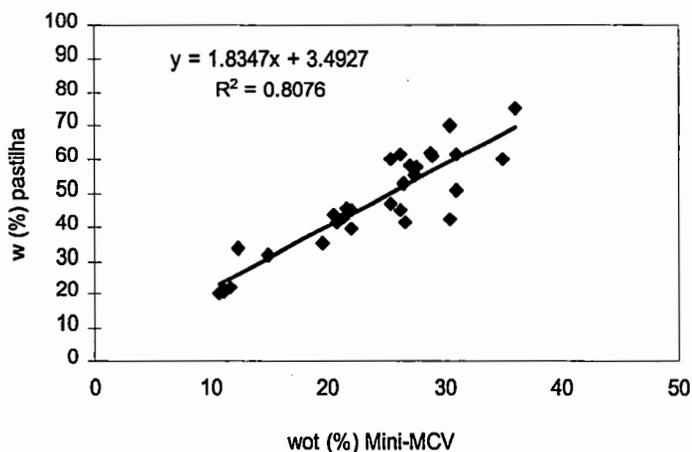


Figura 5.12: Teor de umidade ótimo (Mini-MCV) versus teor de umidade de moldagem das pastilhas.

As Figuras 5.13 e 5.14, mostram a significativa relação entre os parâmetros de compactação obtidos pelos procedimentos de Mini-MCV (curva para 12 golpes) e o Proctor Normal.

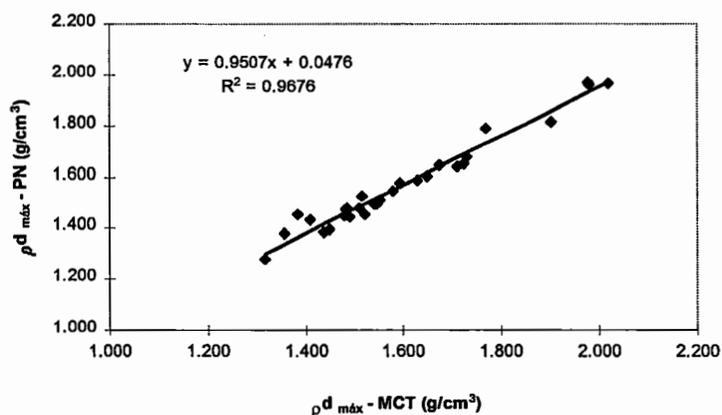


Figura 5.13: Relação entre $\rho_{d_{\text{máx}}}$ (MCT) e $\rho_{d_{\text{máx}}}$ (PN).

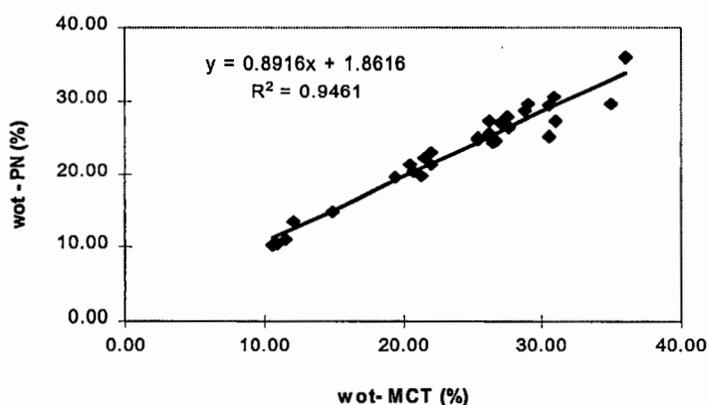


Figura 5.14: Relação entre teores de umidade ótimos (MCT versus PN)

Exceto as amostras 28 e 29, dos massapês, todas as outras apresentaram-se com pH ácido (inferior a 7). O Δ pH não foi capaz de identificar qualquer nível de evolução dos materiais estudados, tendo solos de comportamento laterítico e não laterítico valores aproximadamente iguais.

A Figura 5.15 mostra os solos segundo a carta de atividade proposta por FABRI (1994), dividida em três áreas de atividade: $CA < 11$ (solos pouco ativos), $11 < CA < 80$ (solos ativos) e $CA > 80$ (solos muito ativos), incluindo-se na mesma os grupos da classificação MCT. Predominam os materiais ativos e, ainda

segundo o mesmo autor, tais materiais compreendem os argilo minerais dos grupos das caulinitas e/ou ilitas, ou ainda combinações desses com os de grupos mais ou menos ativos, desde que em proporções compatíveis com o coeficiente de atividade (CA) encontrado. Notam-se duas amostras (28 e 29) pertencentes ao grupo dos argilo-minerais muito ativos, o que já era esperado, pois as mesmas referem-se aos massapês (solos altamente plásticos e expansivos) classificados pedologicamente como vertissolos. Esses caracterizam-se por apresentar sequência de horizonte (perfil) do tipo A-C e possuir argila de atividade muito alta, mostrando expansão e contração pronunciadas com umedecimento e secagem (RESENDE *et al.*, 1995).

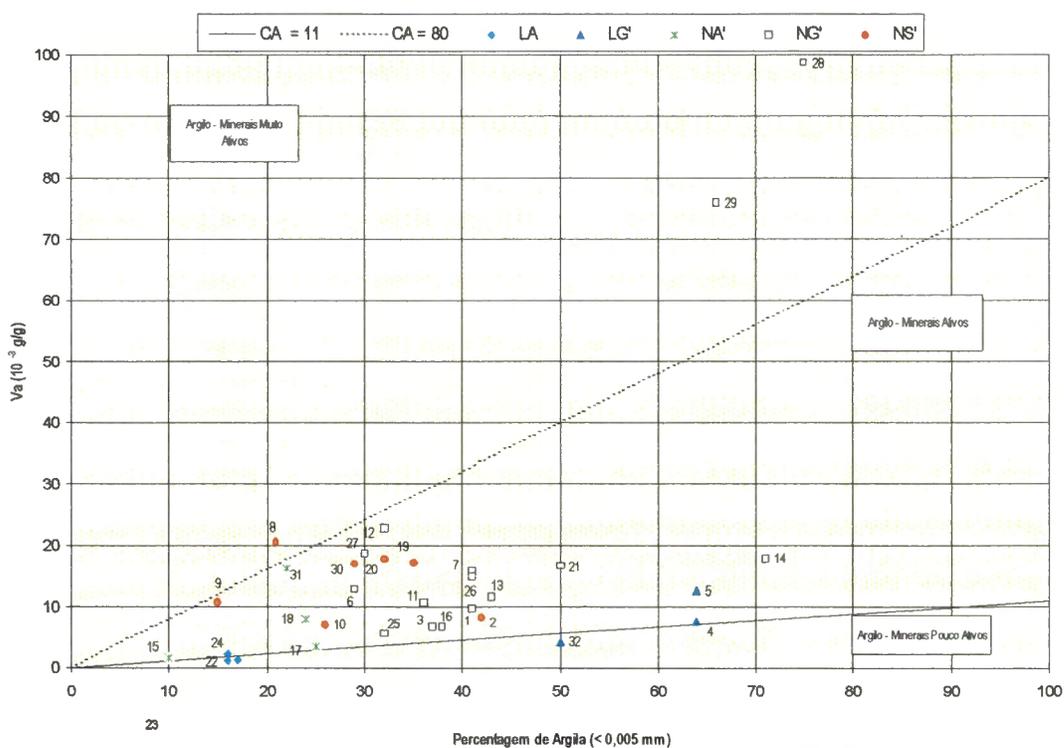


Figura 5.15 - Carta de atividade do método de FABBRI (1994) para a fração de solo < que 0,005 mm.

A Tabela 5.5, apresenta a previsão de comportamento dada pela classificação geotécnica MCT (Mini-MCV) e os graus de atividade dos procedimentos de adsorção de azul de metileno de Pejon (Acb) e de Fabbri (CA).

Tabela 5.5 - Previsão de comportamento (MCT) e graus de atividade (Azul de Metileno).

Amostra	Comportamento		
	MCT (Mini-MCV)	Azul de Metileno - Acb (PEJON)	Azul de Metileno - CA (FABBRI)
1	não laterítico	inativa	ativo
2	não laterítico	inativa	ativo
3	não laterítico	inativa	ativo
4	laterítico	inativa	pouco ativo / ativo
5	laterítico	inativa	ativo
6	não laterítico	normal / ativa	ativo
7	não laterítico	normal	ativo
8	não laterítico	nociva	muito ativo
9	não laterítico	nociva	ativo
10	não laterítico	normal	ativo
11	não laterítico	normal	ativo
12	não laterítico	nociva	ativo
13	não laterítico	normal	ativo
14	não laterítico	pouco ativa	ativo
15	não laterítico	inativa	ativo
16	não laterítico	inativa	ativo
17	não laterítico	inativa	ativo
18	não laterítico	ativa	ativo
19	não laterítico	normal	ativo
20	não laterítico	ativa	ativo
21	não laterítico	normal	ativo
22	laterítico	inativa	pouco ativo
23	laterítico	inativa	pouco ativo
24	laterítico	inativa	ativo
25	não laterítico	inativa	ativo
26	não laterítico	normal	ativo
27	não laterítico	ativa	ativo
28	não laterítico	muito ativa	muito ativo
29	não laterítico	ativa	muito ativo
30	não laterítico	ativa	ativo
31	não laterítico	muito ativa	ativo
32	laterítico	inativa	pouco ativo

Observando-se as Figuras 5.7 e 5.15 e a Tabela 5.5, vê-se a significativa concordância existente entre a previsão de comportamento dada pela classificação MCT e os graus de atividade obtidos pela técnica de adsorção de azul de metileno de acordo com o procedimento de FABRI (1994), que são dois métodos distintos de caracterização e de classificação de solos. As amostras 5 e 24, classificadas como de comportamento laterítico pela MCT, possuem coeficiente de atividade (CA) maior que 11, o que corresponde a solos ativos na técnica de adsorção de azul de metileno.

No confronto entre a previsão de comportamento dada pela classificação MCT e o ensaio de adsorção de azul de metileno proposto por PEJON (1992), obteve-se uma correlação inferior à encontrada em seu trabalho.

A Figura 5.16 ilustra os valores do índice VB (massa de azul de metileno necessária para recobrir com uma camada monomolecular as partículas contidas em 100 gramas de solo) em função da percentagem de argila, com a diferenciação dos materiais com comportamento laterítico e não laterítico, obtidos pelo método MCT. PEJON (1992) afirma que o valor de VB separa os solos lateríticos ($VB < 1,5$) dos solos não lateríticos ($VB > 1,5$). Observou-se para os materiais analisados uma dispersão, e o valor de VB não identificou a separação de comportamento, existindo materiais lateríticos e não lateríticos com VB abaixo de 1,5.

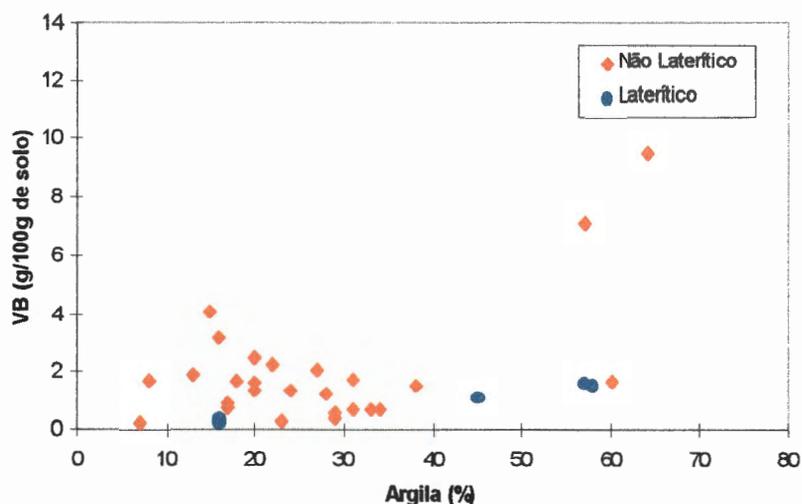


Figura 5.16: Índice VB versus percentagem de argila (< 0,002 mm).

Encontra-se na Figura 5.17 o gráfico do índice Acb (quantidade de azul de metileno adsorvida por 100 gramas de argila) em função da percentagem de argila, dividido em áreas de atividade distintas. As amostras 4, 5, 22, 23, 24 e 32 classificadas como de comportamento laterítico pelo método MCT (Mini-MCV), apresentaram valor numérico do índice Acb inferior a 5 (material inativo). Entretanto, as amostras 1, 2, 3, 14, 15, 16, 17 e 25, de comportamento não laterítico pela mesma classificação, posicionaram-se na região de materiais inativos tendo as mesmas, CTC de minerais do tipo 2:1. Foram caracterizadas como materiais de atividade normal ($5 < \text{Acb} < 8$), as amostras 5, 7, 10, 11, 13, 19 e 21, sendo a amostra 5 classificada como argila laterítica (LG') e as outras classificadas como de comportamento não laterítico, com CTC de minerais 2:1, exceto a amostra 5. No que se refere a região de materiais ativos ($\text{Acb} > 8$), acham-se as amostras 6, 8, 9, 12, 18, 20, 27, 28, 29, 30, e 31.

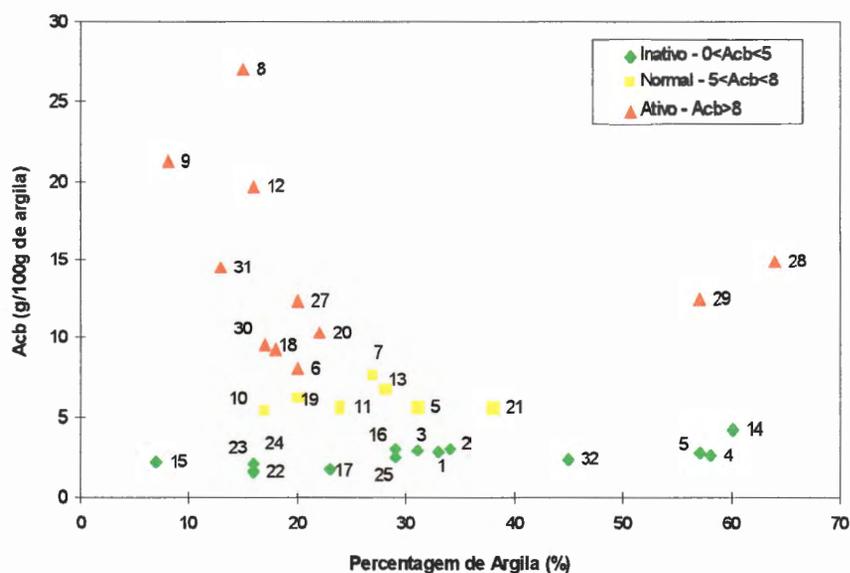


Figura 5.17: Índice Acb versus percentagem de argila (< 0,002 mm).

Considerando-se agora, a fração ativa do solo como sendo aquela de diâmetro inferior a 0,002 mm, no procedimento de FABBRI (1994), constatou-se um aumento no coeficiente de atividade (CA), ilustrado na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Coeficientes de atividade (CA) para as frações de solo inferiores a 0,005 mm e 0,002 mm.

Amostra	CA (10^{-3} g/g%) 0,005 mm	CA (10^{-3} g/g%) 0,002 mm
1	23.57	29.29
2	19.60	24.21
3	18.00	21.48
4	11.74	12.95
5	19.53	21.93
6	43.80	63.50
7	37.99	57.70
8	98.45	137.83
9	71.46	134.00
10	27.24	41.66
11	29.68	44.52
12	70.93	141.86
13	26.88	41.29
14	25.00	29.58
15	15.83	22.62
16	17.81	23.34
17	12.85	13.97
18	33.44	47.20
19	48.60	85.05
20	55.08	80.12
21	32.87	43.26
22	6.95	6.95
23	6.96	7.39
24	13.89	13.89
25	16.87	18.61
26	35.92	47.50
27	61.97	92.96
28	131.43	154.02
29	115.14	133.32
30	57.96	93.38
31	73.28	124.02
32	8.20	9.12

A Figura 5.18 mostra que não há uma boa relação entre os coeficientes de atividade (CA) para as frações de solo correspondentes a diâmetros inferiores a 0,005 mm e 0,002 mm.

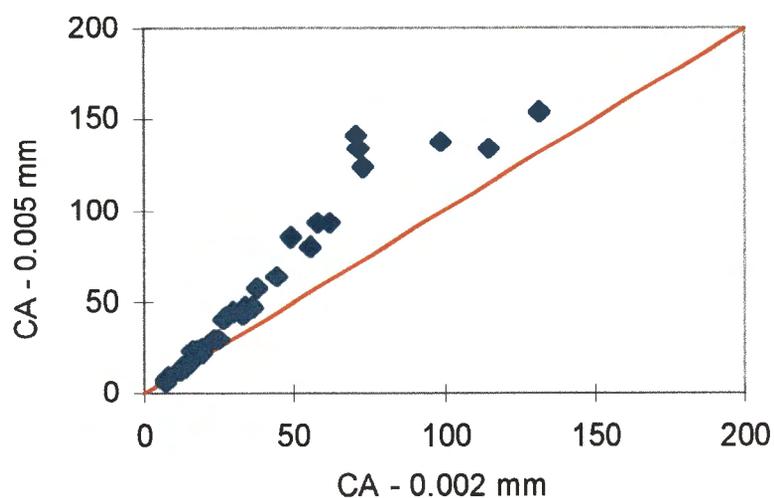


Figura 5.18: Coeficientes de atividade (CA) para as frações de solo inferiores a 0,002 e 0,005 mm.

A Figura 5.19 mostra a carta de atividade do procedimento de FABBRINI (1994) considerando-se a fração ativa do solo menor que 0,002 mm.

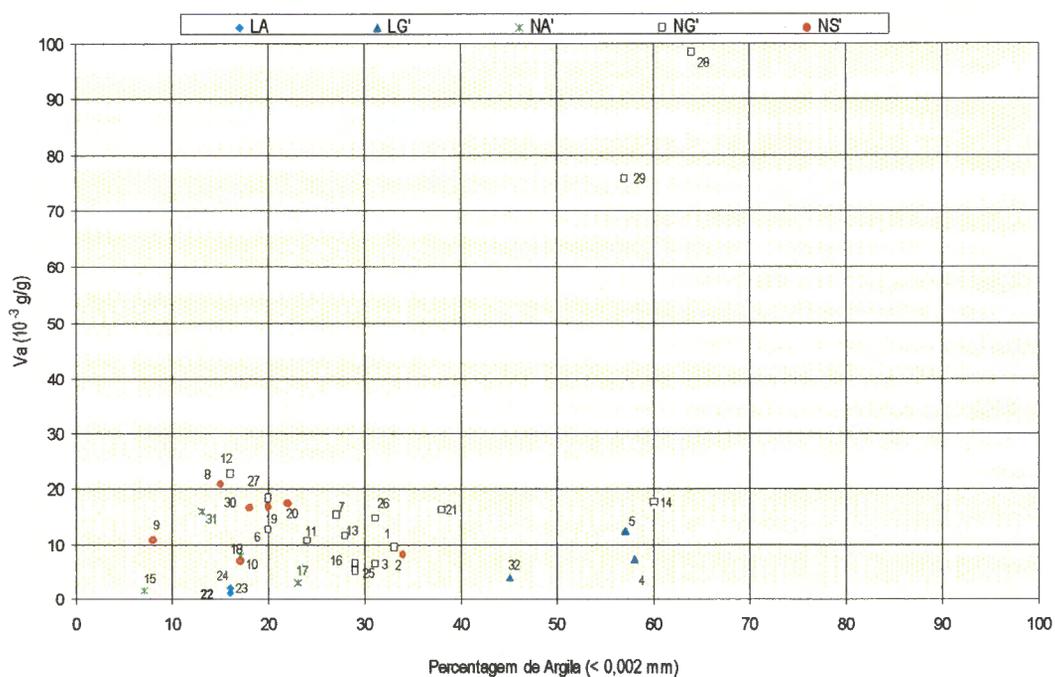


Figura 5.19: Carta de atividade para a fração de solo < que 0,002 mm.

Como podemos observar, algumas amostras (9, 12, 19, 20, 27, 30 e 31) passaram da região de materiais ativos para a de materiais muito ativos, sendo que, as amostras de número 9, 12 e 31 possuíam coeficiente de atividade superior a 70, próximo do limite de $CA = 80$ indicativo de materiais muito ativos.

Pela classificação HRB-AASHTO, apenas as amostras 15, 17, 22, 23 e 24 pertencentes a Formação Barreiras, apresentam comportamento de excelente a bom para o uso como subleito. O restante das amostras possuem comportamento de regular a mau para a mesma finalidade.

Quando da aplicação da classificação unificada (USCS), para os solos residuais de granulito, notou-se o predomínio de materiais silto-argilosos altamente plásticos e compressíveis (Figura 5.20), donde espera-se um comportamento desfavorável para a engenharia de fundações. Nos solos originários de rocha sedimentar (Formação Barreiras), detectou-se o predomínio de materiais areno-siltosos de fácil trabalhabilidade como material de construção, possuindo boa resistência, baixa compressibilidade e permeabilidade quando compactados. Os massapês pertencentes ao Grupo Ilhas, são solos altamente plásticos, compressíveis, expansivos e/ou contráteis, portanto, apresentam características desfavoráveis à engenharia de solos.

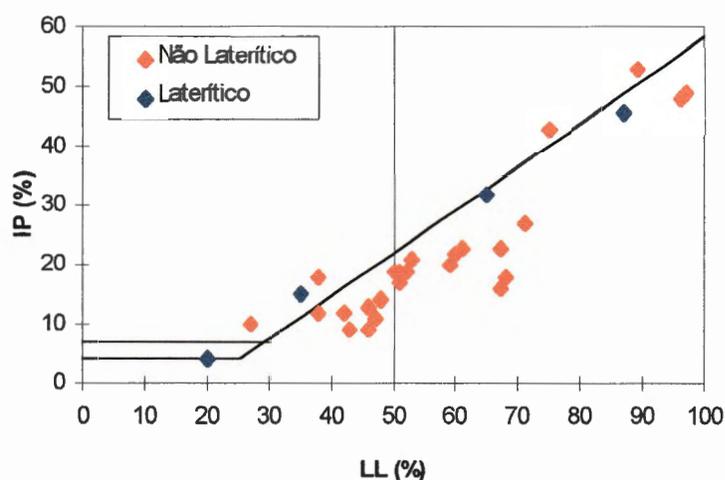


Figura 5.20: Carta de Plasticidade



Não foi possível definir a curva de compactação da amostra 15 pelo procedimento tradicional (Proctor Normal), porém determinou-se os seus índices de vazios máximo e mínimo, respectivamente, $e_{\min} = 0,59$ e $e_{\max} = 0,97$.

No aspecto da atividade, confrontando-se a atividade coloidal de Skempton (AC) com o coeficiente de atividade (CA) de FABBRI (1994), observaram-se diferenças nos graus de atividade (Tabela 5.2). Destacamos algumas incongruências significativas detectadas nas amostras 5, 8, 28 e 29. A amostra 5 trata-se de um solo podzólico, classificado como material ativo na carta de atividade de FABBRI (1994) e de atividade normal por Skempton. Ainda, segundo RESENDE *et al.* (1995) alguns podzólicos apresentam argila de atividade muito alta. Na amostra 8, em que o solo possui elevado teor de mica (muscovita), a atividade coloidal pelo método de Skempton foi considerada normal, enquanto utilizando-se do coeficiente de atividade de FABBRI (1994) a mesma apresentou-se como material muito ativo, com CTC característica de mineral 2:1. Os massapês (vertissolos), amostras 28 e 29, caracterizados por sua elevada plasticidade foram classificados como de atividade normal (Skempton) e muito ativo (FABBRI, 1994).

A carta de atividade de Skempton para os materiais estudados é mostrada na Figura 5.21.

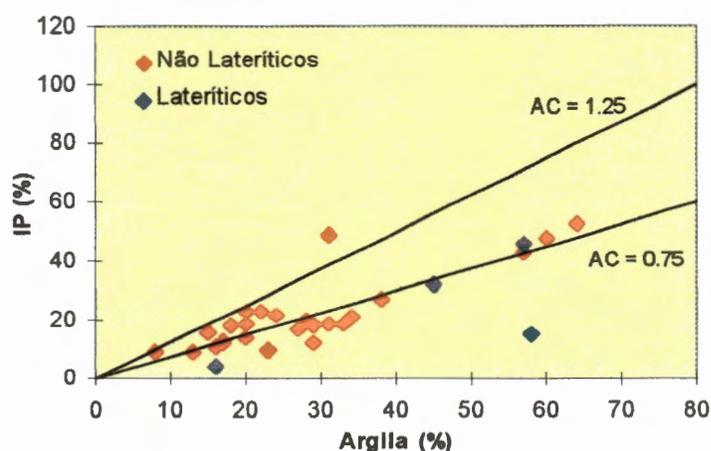


Figura 5.21: Carta de atividade de Skempton.

FABBRI & SÓRIA (1995) estudando a atividade de solos tropicais, concluíram que a atividade de Skempton e a atividade obtida através da técnica de adsorção de azul de metileno não se correlacionaram, enfatizando que a atividade determinada pelo corante orgânico consegue com razoável precisão, distinguir solos de comportamento laterítico dos de comportamento não laterítico, o que não é possível pelo procedimento tradicional.

A Figura 5.22 ilustra a atividade dos materiais estudados, pelos métodos de Skempton e FABBRI (1994).

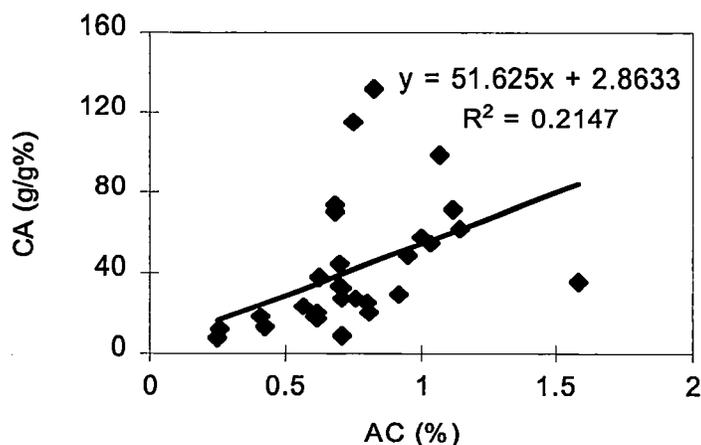


Figura 5.22: Atividade de Skempton versus Atividade de FABBRI (1994).

A previsão da erodibilidade através do método de NOGAMI & VILLIBOR (1979), conforme Figura 5.23, separou as diversas amostras com comportamento distintos, à exceção das amostras 10, 11 e 12 que apesar de em campo apresentarem alta erodibilidade confundiram-se com amostras de nenhuma/baixa erodibilidade. Essas amostras pertencentes aos solos residuais de granulito, mostraram-se, quando no estado natural, um valor de perda de massa por imersão muito baixo, contrapondo-se ao estado compactado, onde as mesmas se manifestaram com valores elevados de perda de massa por imersão.

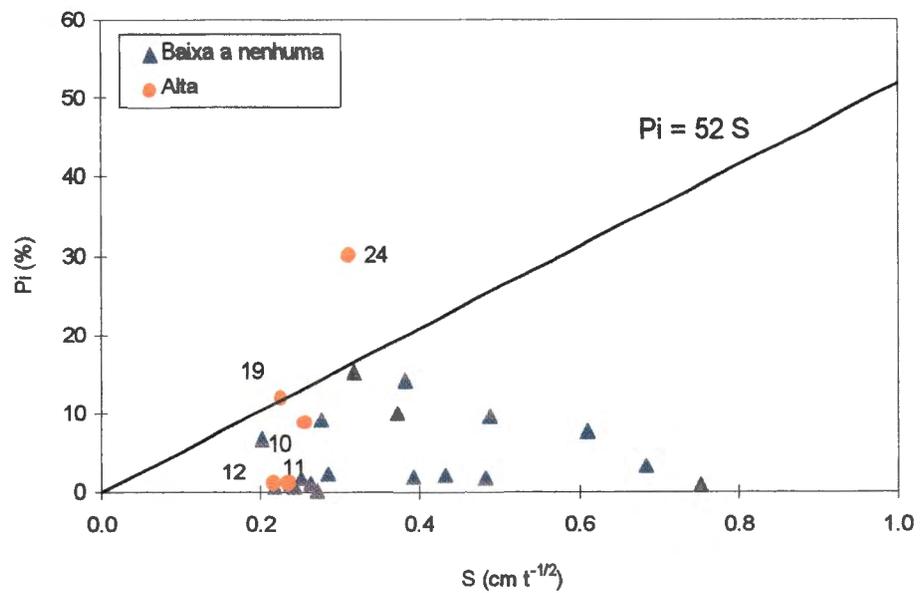


Figura 5.23: Infiltrabilidade versus perda de massa por imersão.

6 CONCLUSÕES.

A classificação MCT foi eficiente para classificar solos de comportamento distintos (laterítico e não laterítico).

Houve boa correlação entre a origem pedológica e/ou geológica e os resultados da classificação, embora solos podzólicos analisados, que não são lateríticos pedologicamente, tenham sido classificados como de comportamento laterítico pela classificação MCT.

A comparação entre os resultados da classificação MCT tradicional e o Método Alternativo das Pastilhas, apresentou algumas incongruências com inversão na classificação de laterítico para não laterítico e vice-versa. Uma possível explicação para tal comportamento reside no fato de que no primeiro procedimento o solo encontra-se no estado compactado, enquanto que o procedimento das Pastilhas utiliza o solo após espatulação intensa.

A despeito de não se encontrar correlação entre os coeficientes c' e e' do procedimento MCT (compactado), respectivamente, com a contração diametral e a consistência (penetração) do procedimento alternativo MCT (Pastilhas), não houve interferência significativa na classificação dos materiais, pois os grupos NS' e NG' , equivalem-se nas propriedades de utilização como pode ser observado na Figura 2.8.

Observou-se um significativo acerto (93%) entre a previsão de comportamento dada pela classificação MCT (Mini-MCV) e os graus de atividade obtidos pelo método de adsorção de azul de metileno de FABBRI (1994), no

sentido de que os solos saprolíticos revelaram-se ativos, enquanto os lateríticos revelaram-se como não ativos. Já o procedimento de PEJON (1992), mostrou-se com apenas 63% de conformidade. Comparando-se os procedimentos de Pejon (Acb) e Fabbri (CA), encontramos uma concordância de 69% entre os seus graus de atividade.

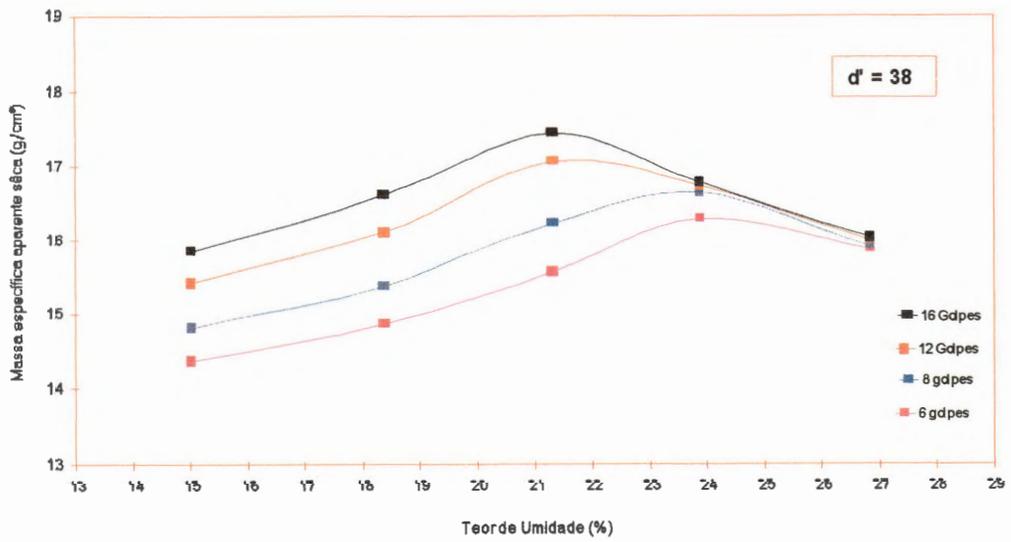
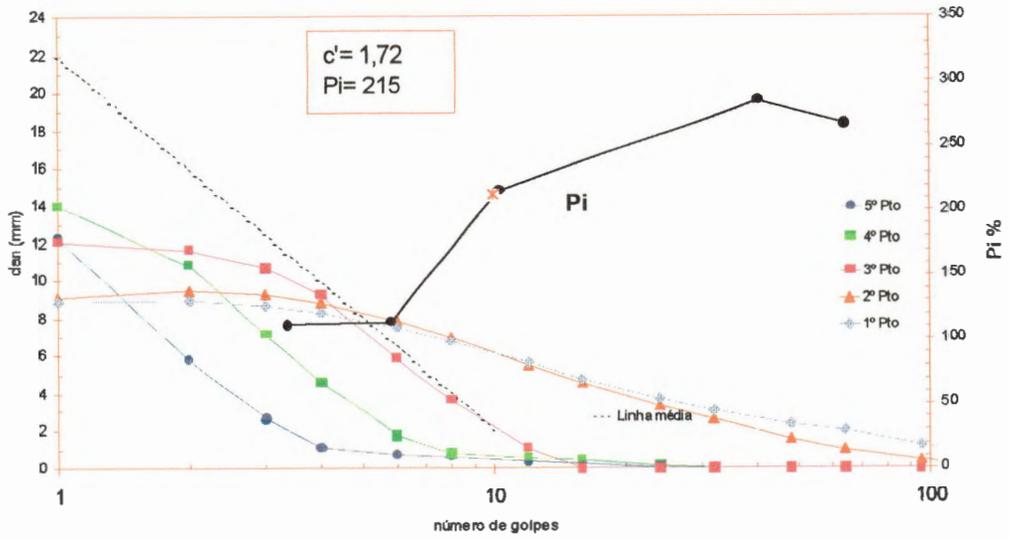
A atividade coloidal de Skempton (AC), não refletiu a real atividade dos solos analisados, pois, solos reconhecidamente ativos como os massapês (vertissolos) foram classificados como de atividade normal. Quando comparada com o coeficiente de atividade (CA), obtida do ensaio de adsorção de azul de metileno, apresentou grau de atividade diferente, o que talvez possa ser explicado pela maior capacidade de penetração no solo do corante orgânico que a água.

Foi altamente significativa a relação entre os parâmetros de compactação dos procedimentos de Mini-MCV (12 golpes) e o Tradicional (Proctor Normal).

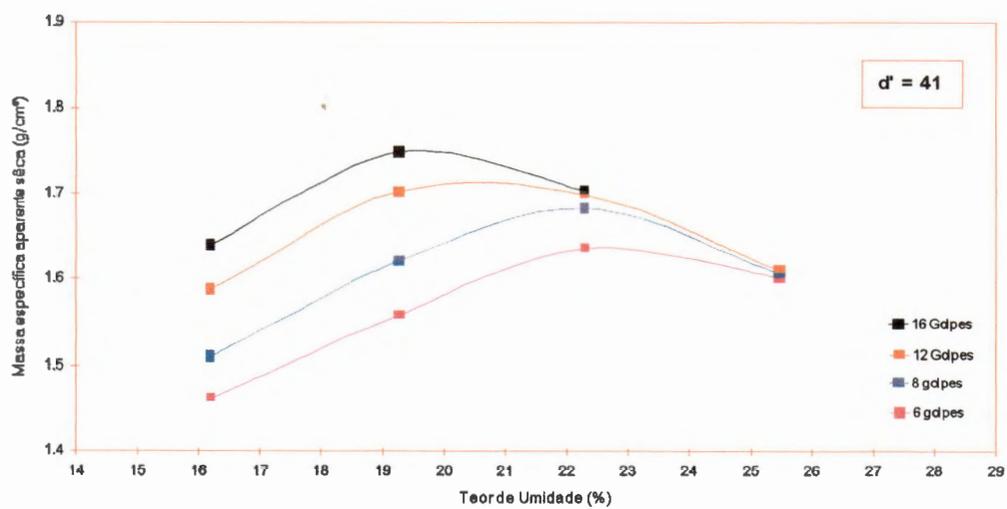
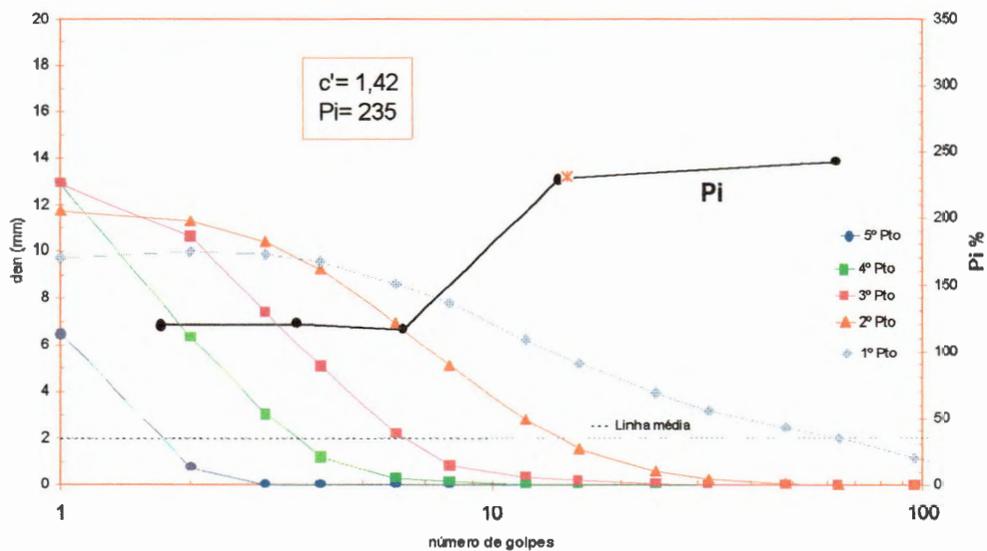
O método de NOGAMI & VILLIBOR (1979) de previsão de erodibilidade dos solos, mostrou-se eficaz na identificação dos solos com comportamentos distintos, à exceção de três amostras do embasamento cristalino que apesar de apresentarem alta erodibilidade em campo, comportaram-se frente ao método como amostras de baixa/nenhuma erodibilidade.

Devido à elevada plasticidade dos massapês (amostras 28 e 29), em virtude da predominância de minerais do tipo 2:1, não foi possível realizar os ensaios de compactação.

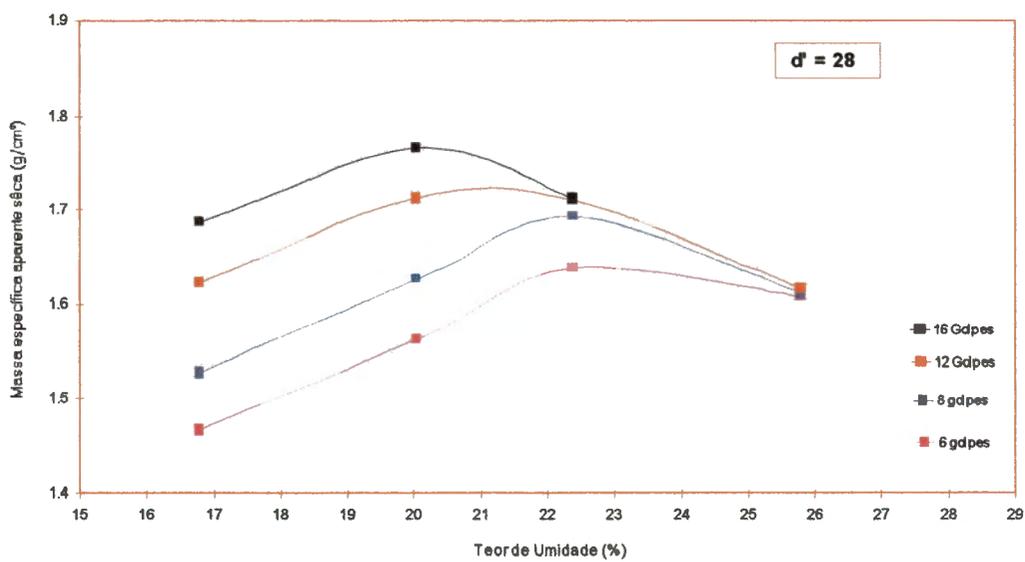
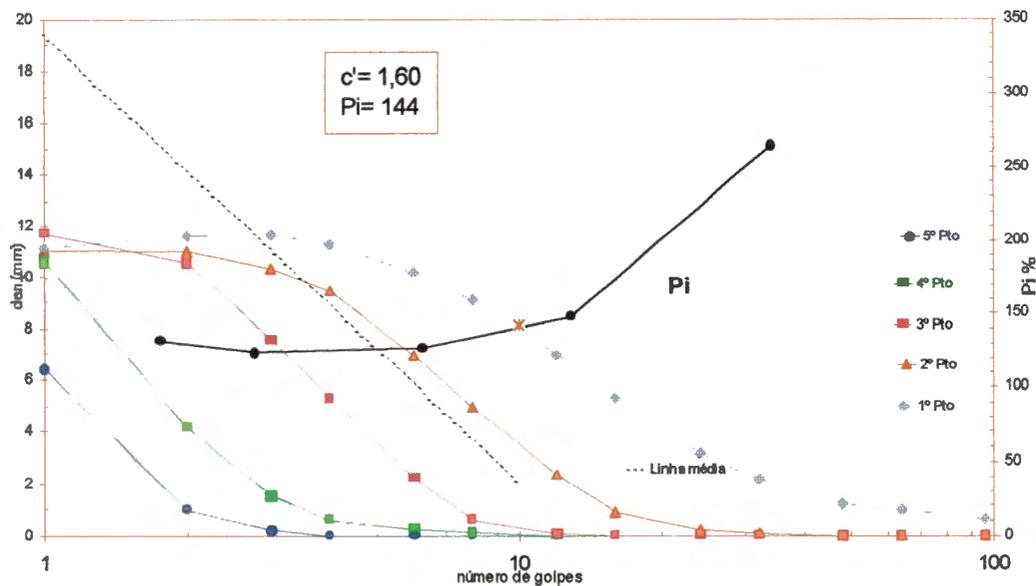
ANEXO 1



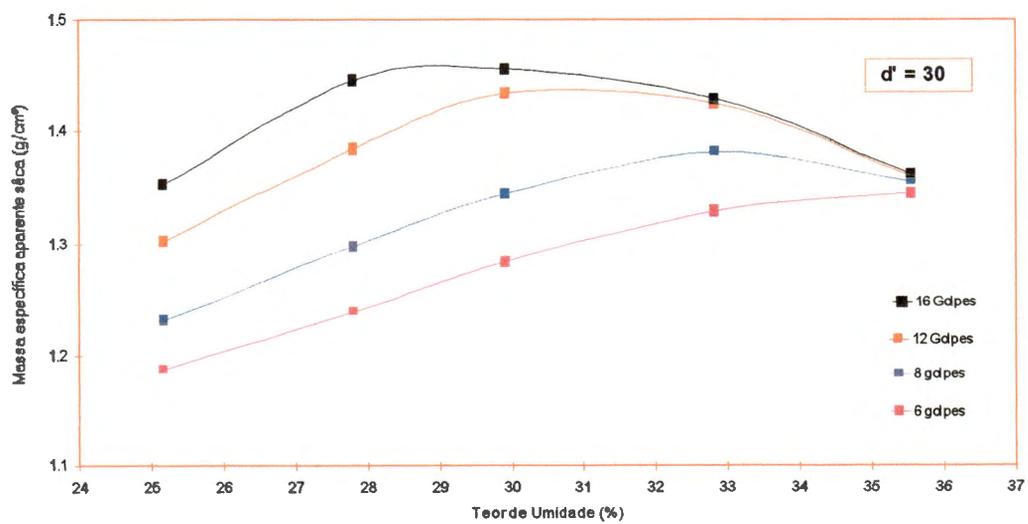
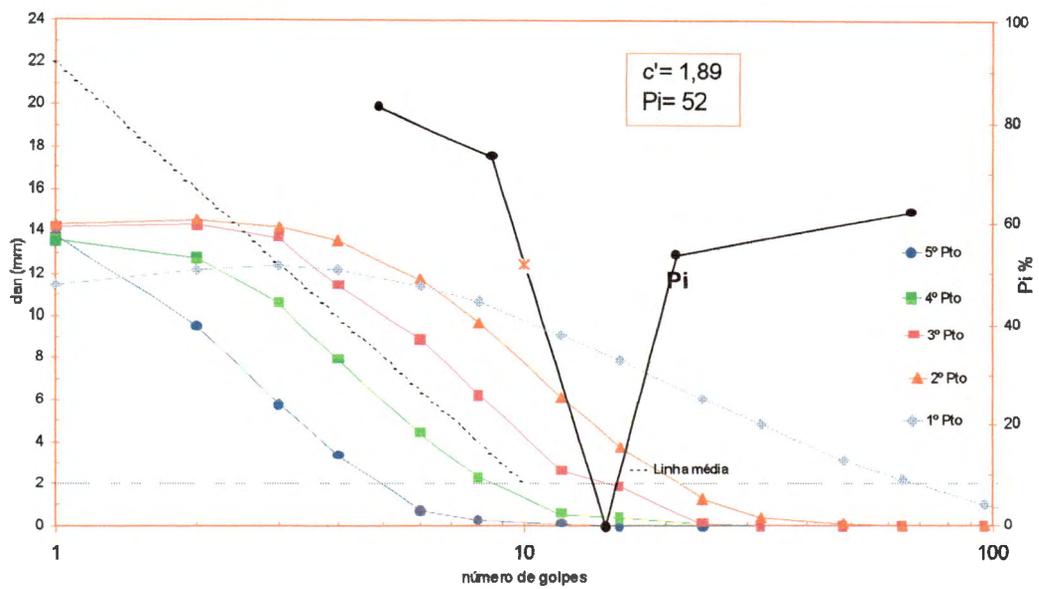
Amostra 01



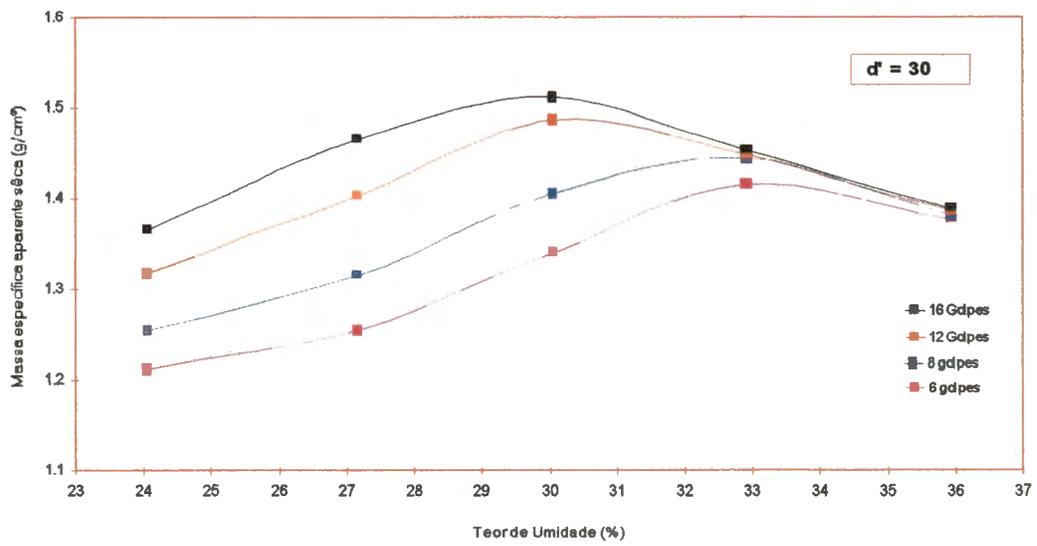
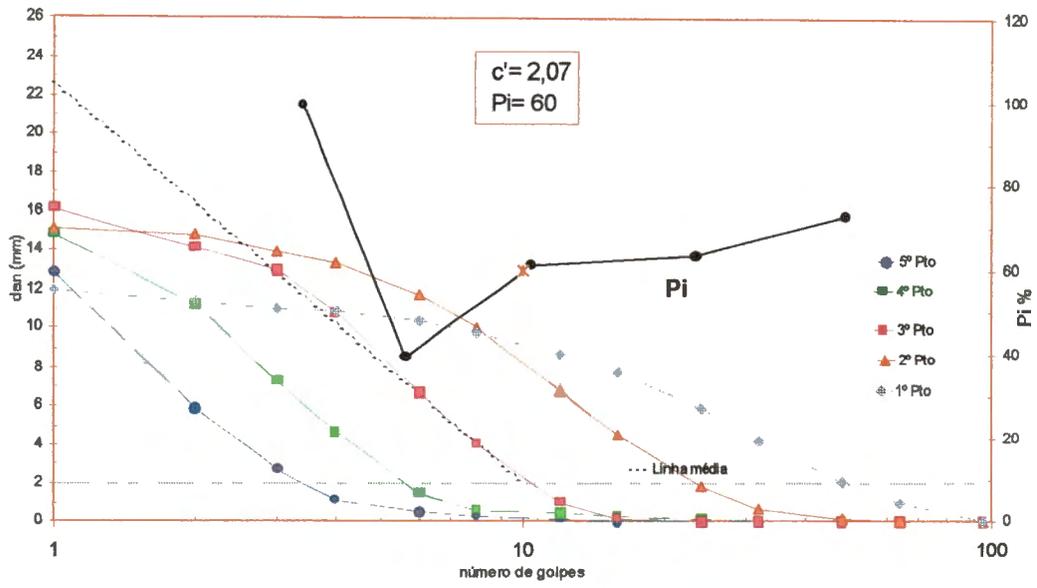
Amostra 02



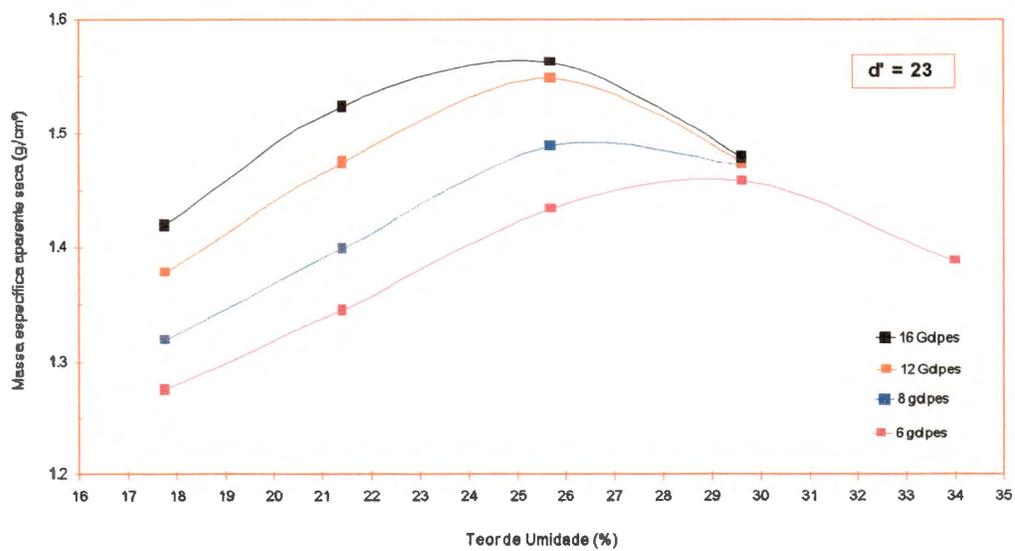
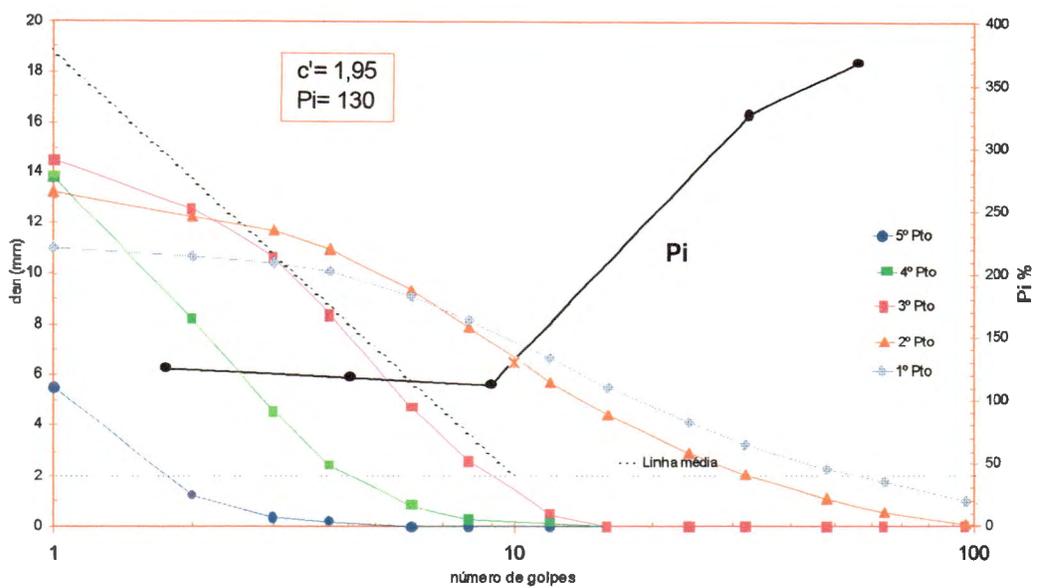
Amostra 03



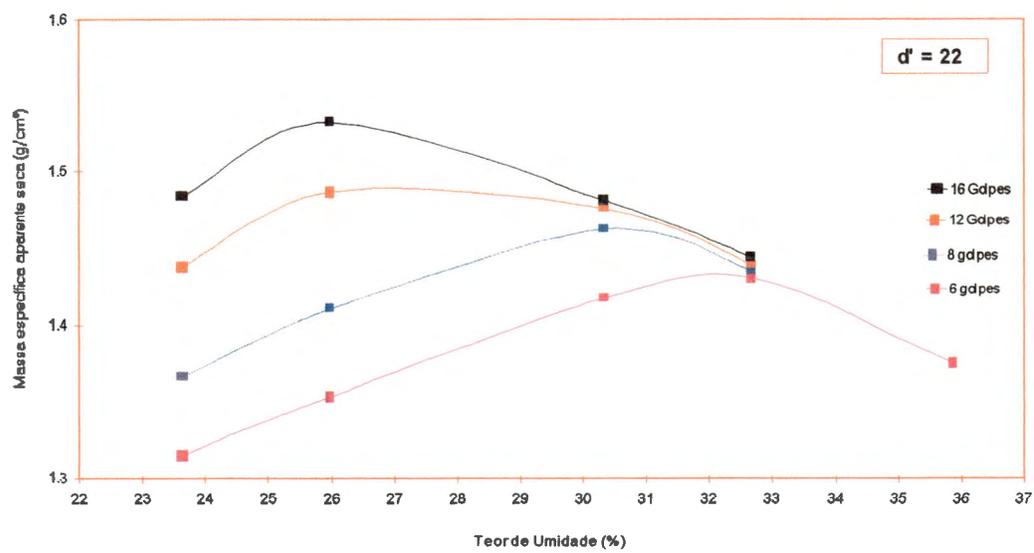
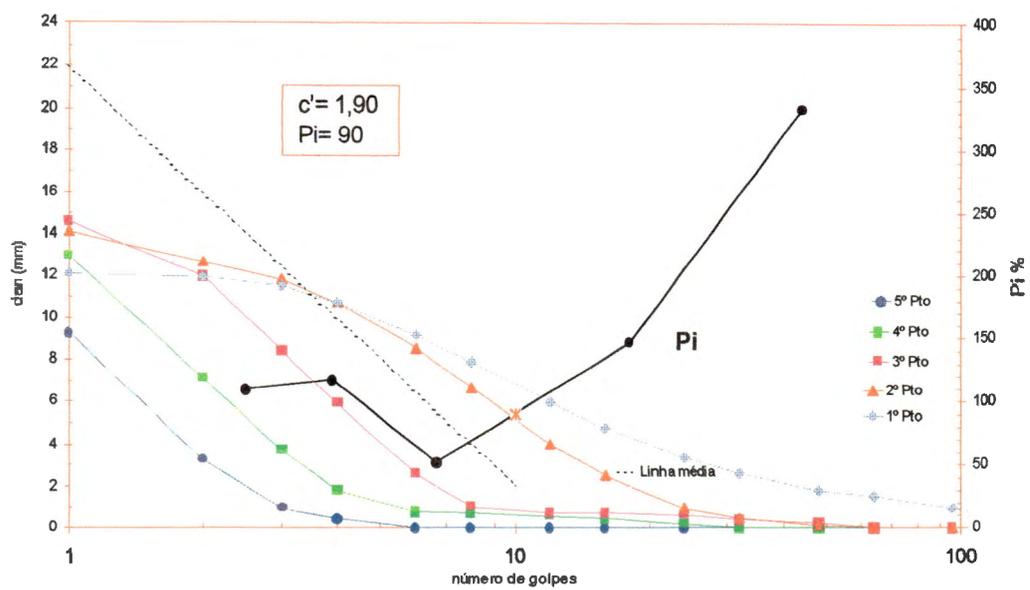
Amostra 04



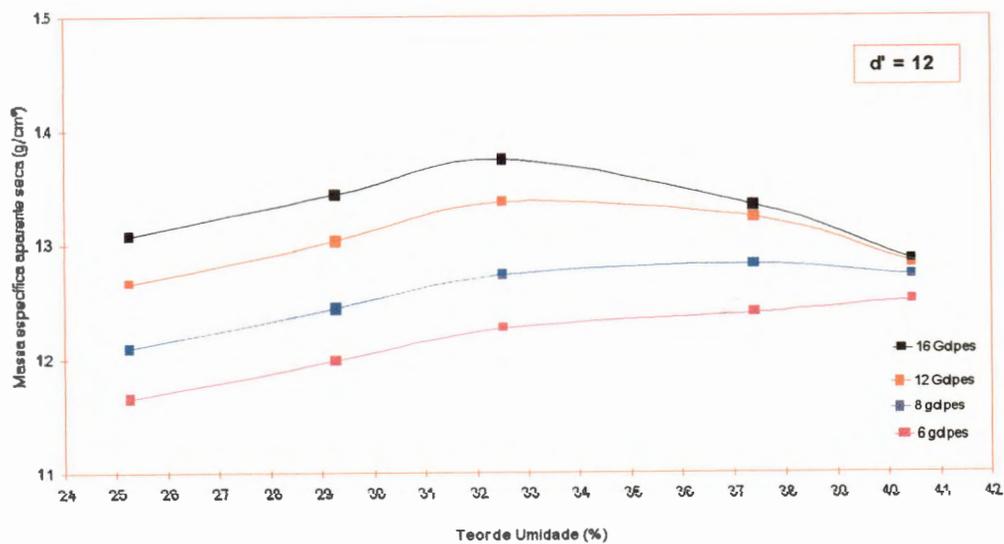
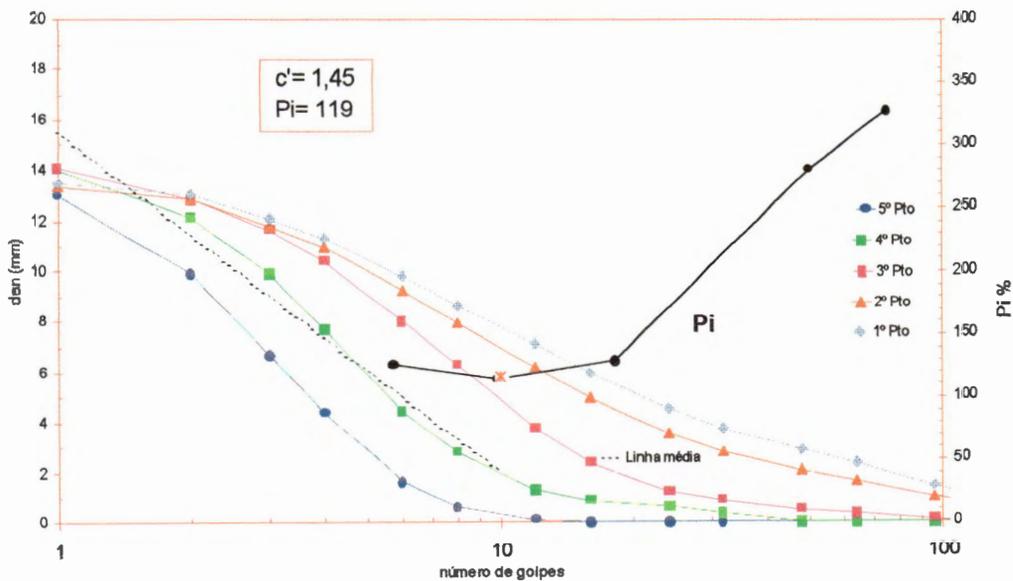
Amostra 05



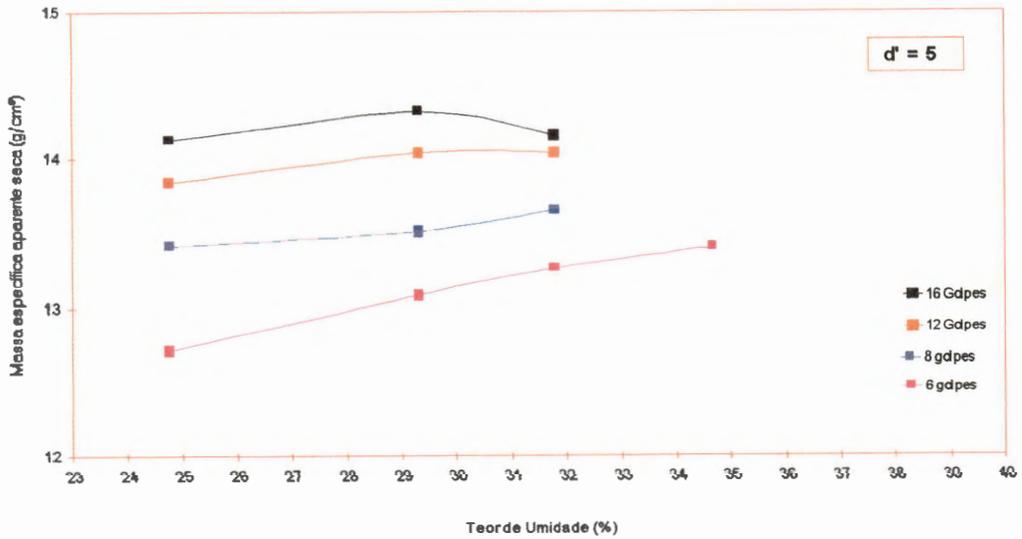
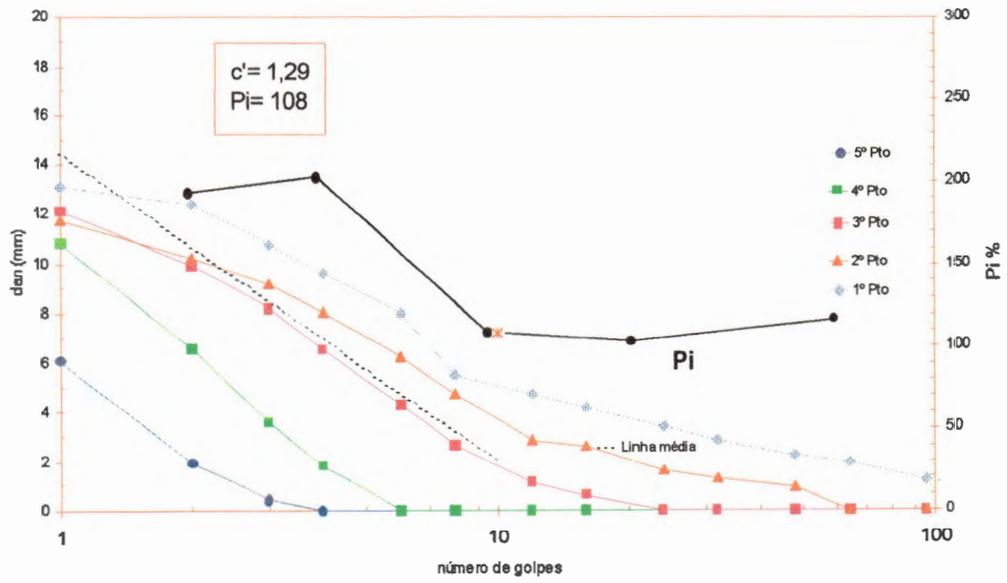
Amostra 06



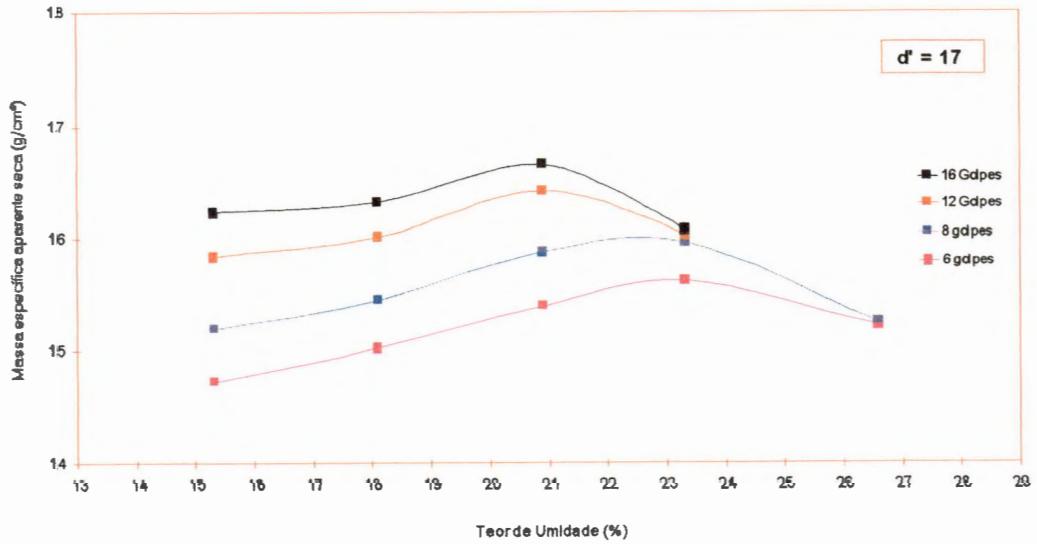
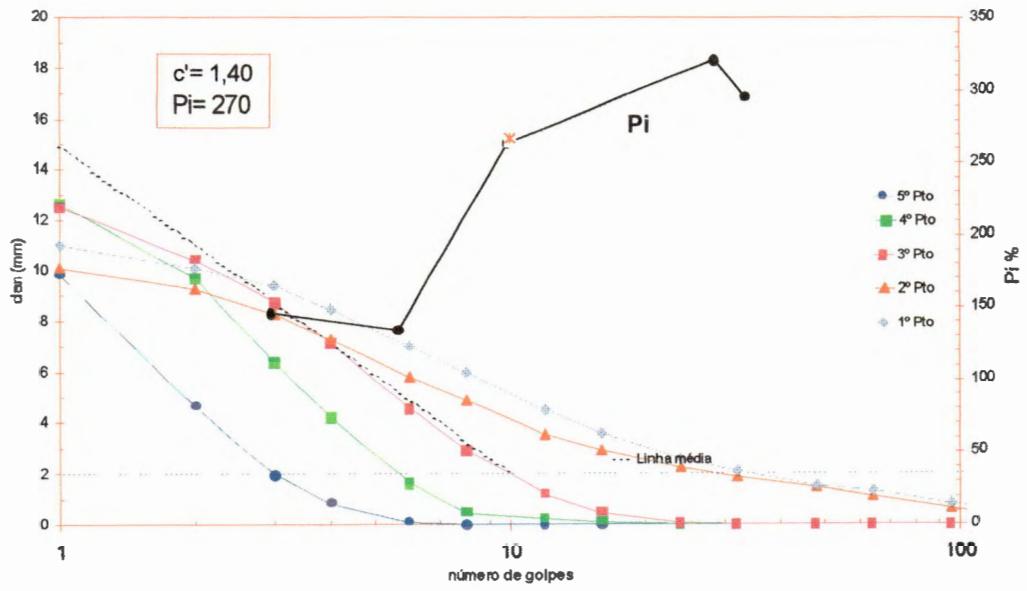
Amostra 07



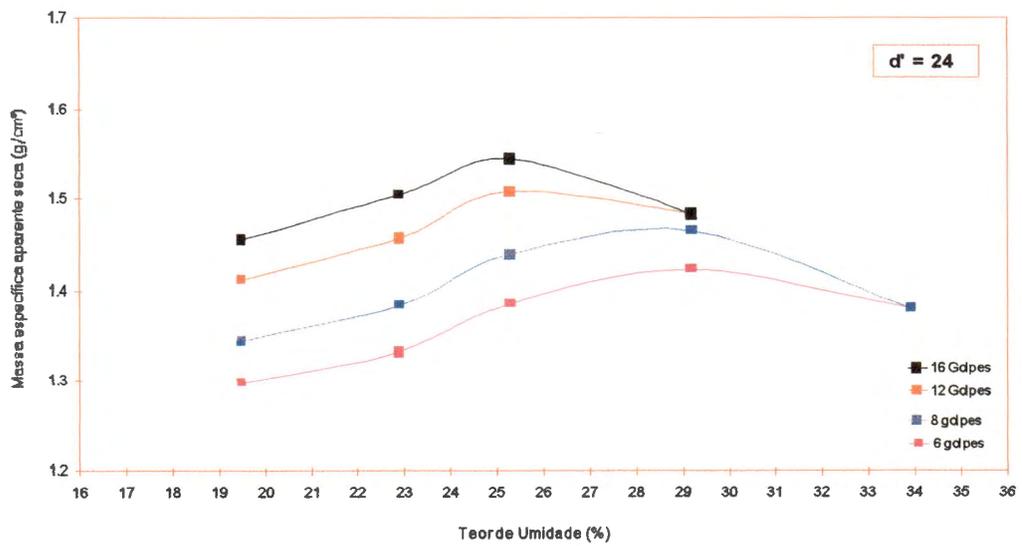
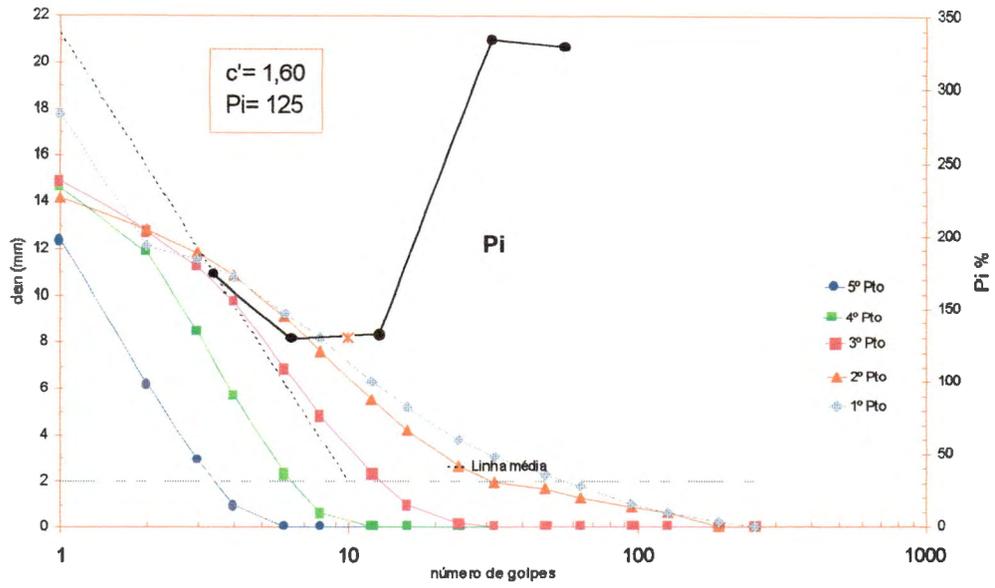
Amostra 08



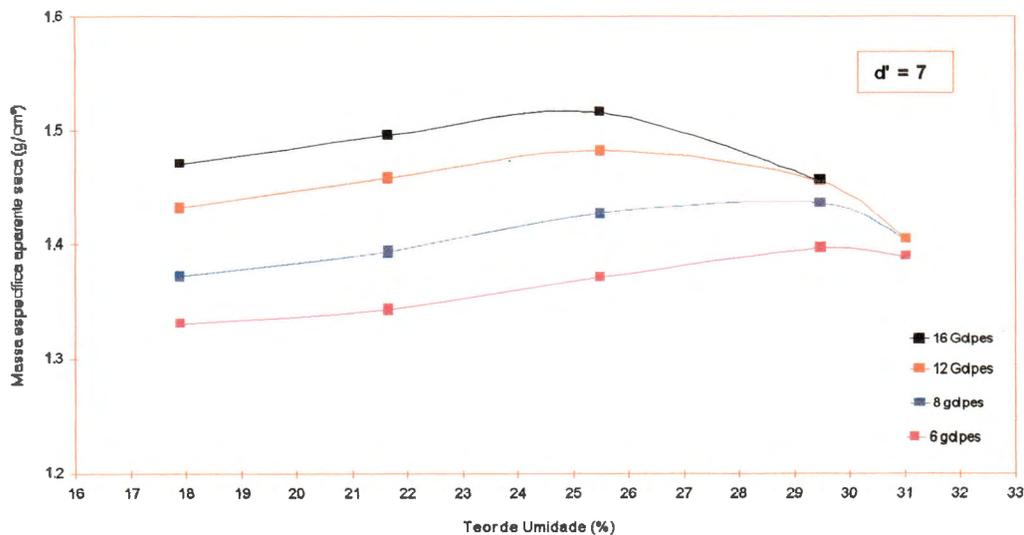
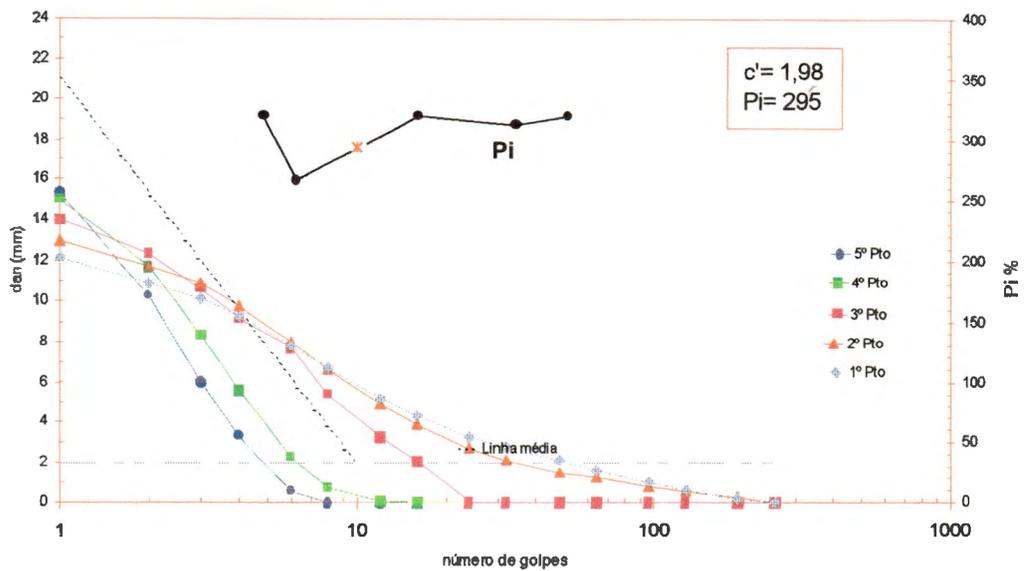
Amostra 09



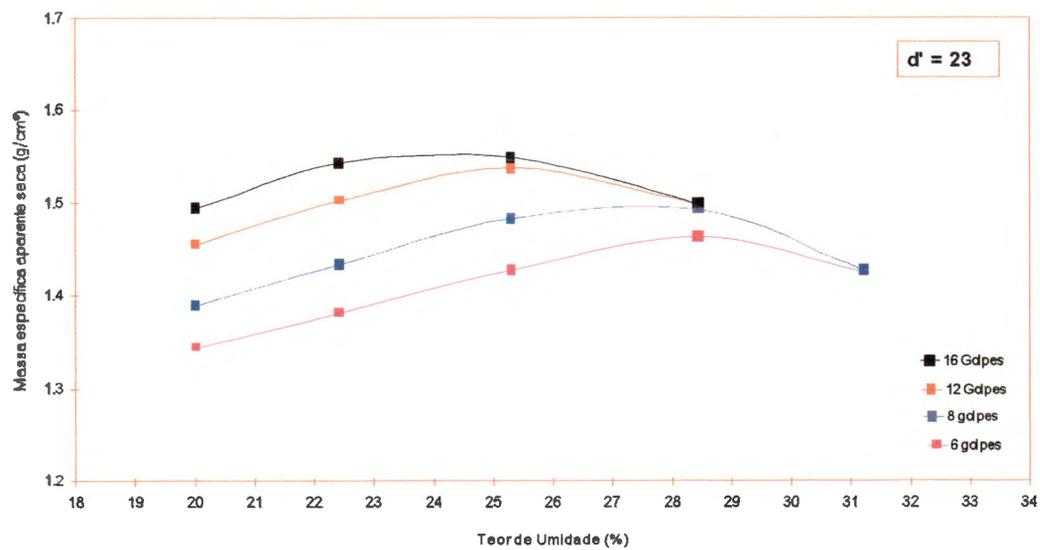
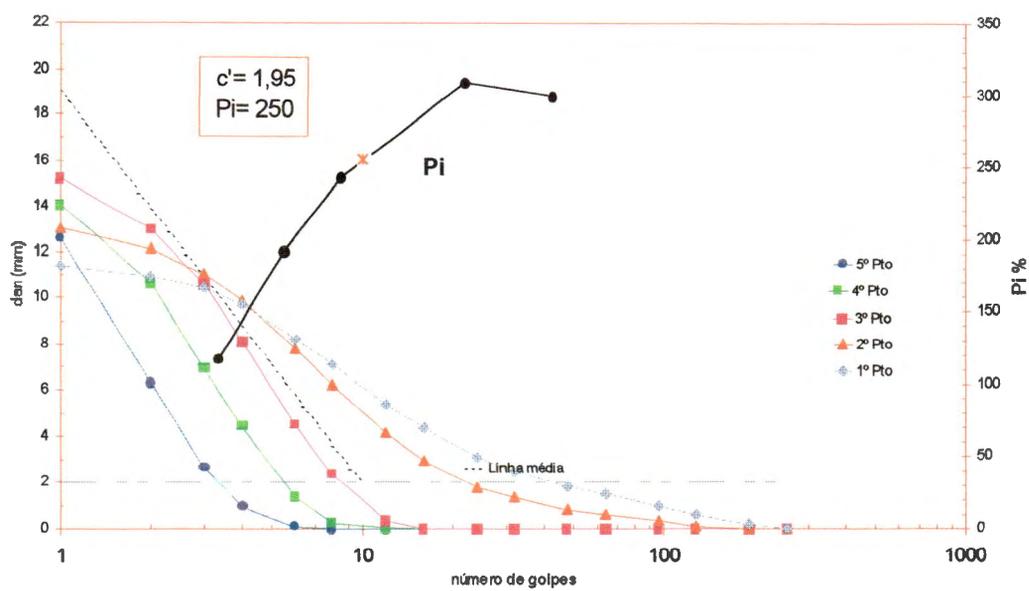
Amostra 10



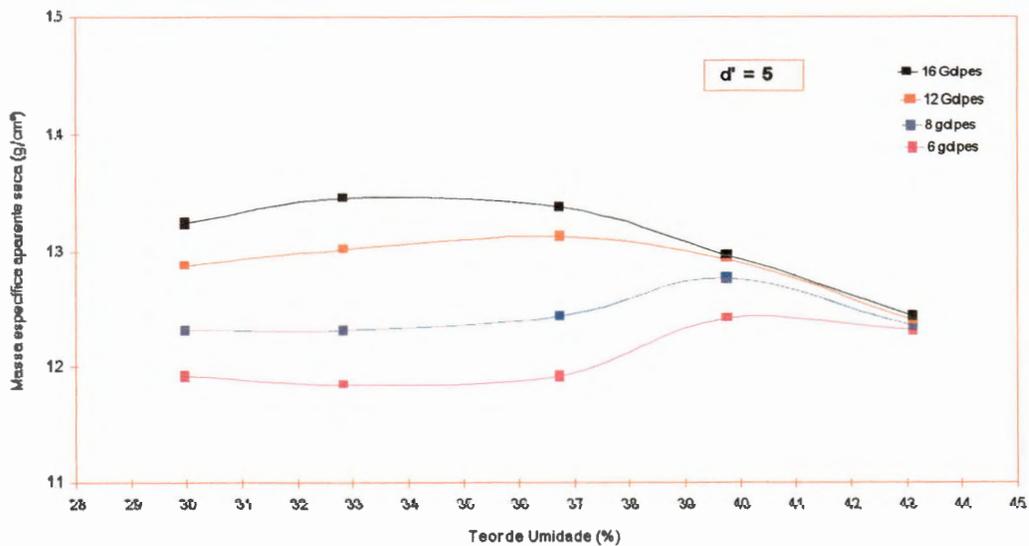
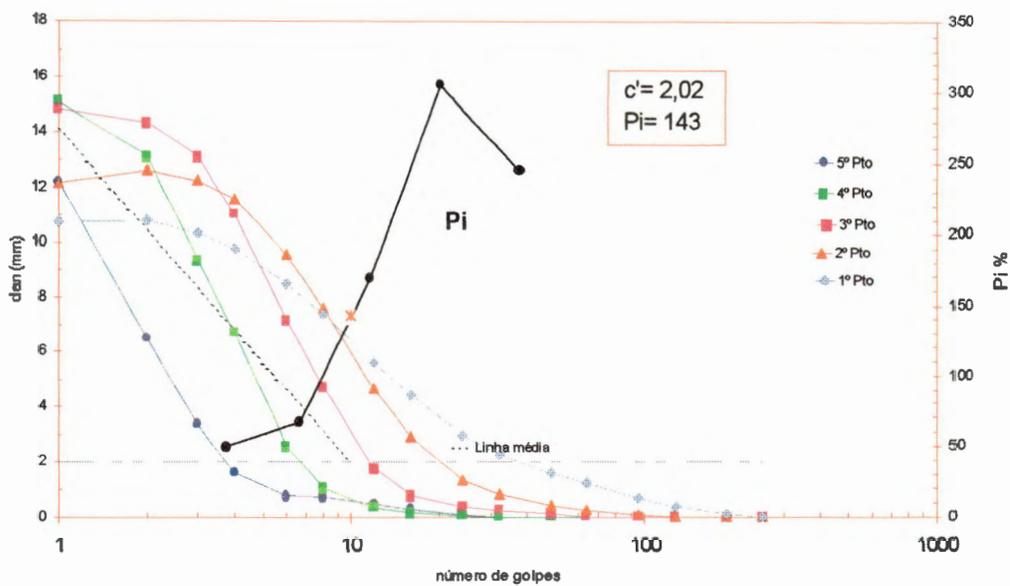
Amostra 11



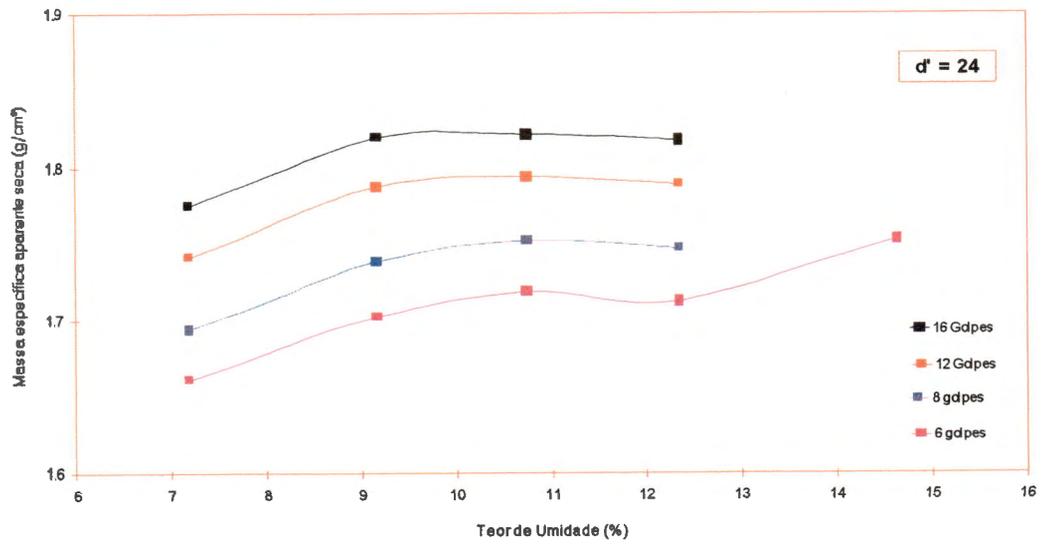
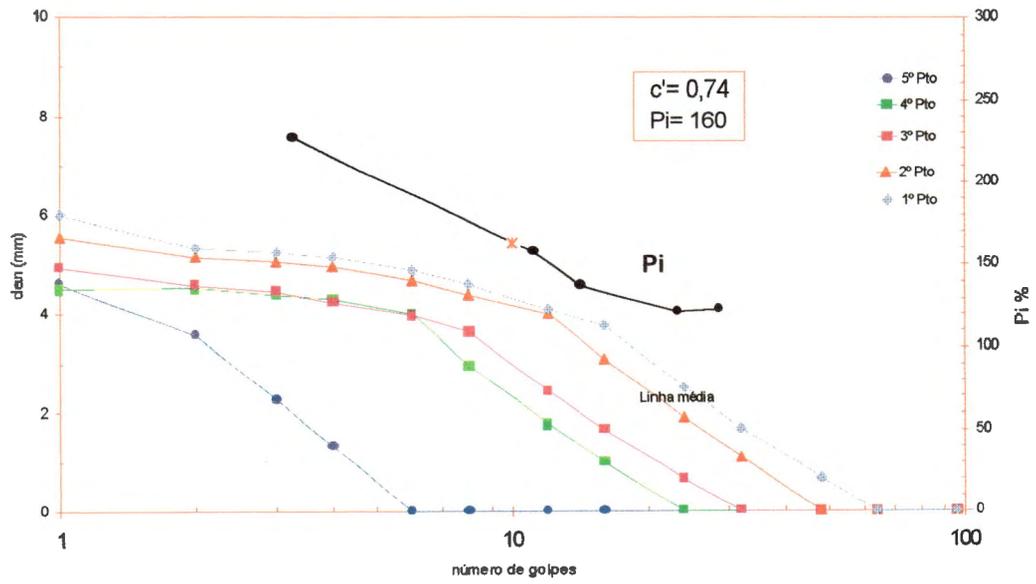
Amostra 12



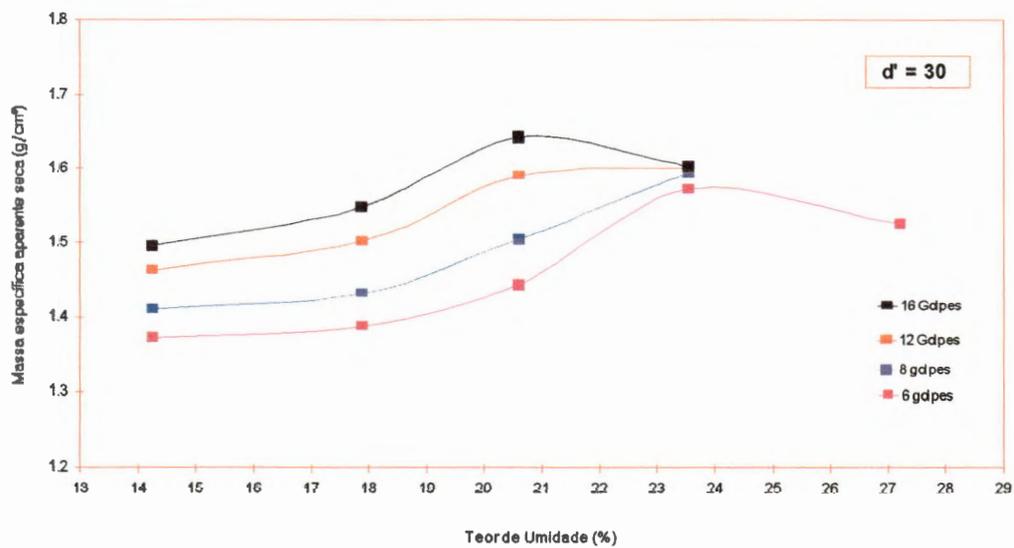
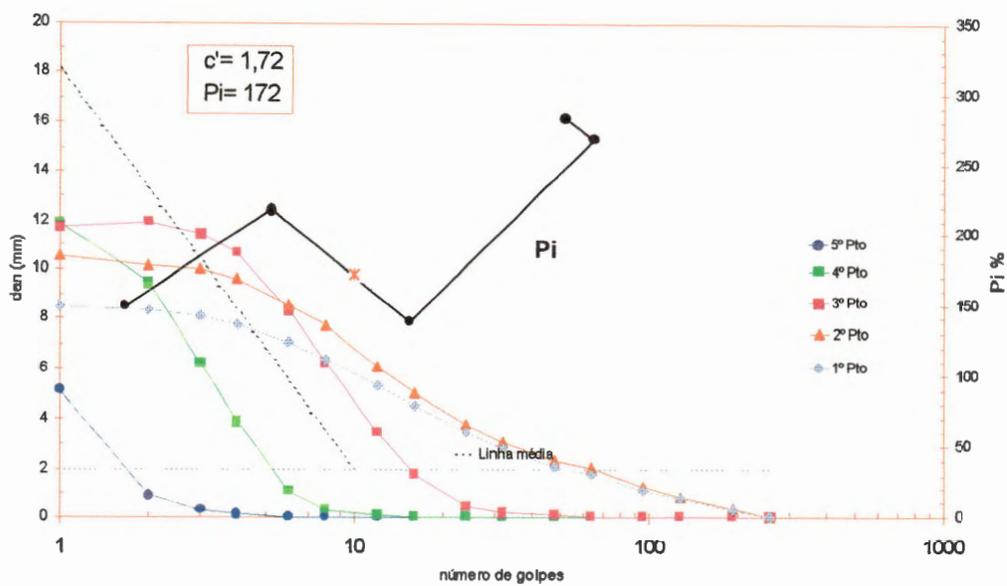
Amostra 13



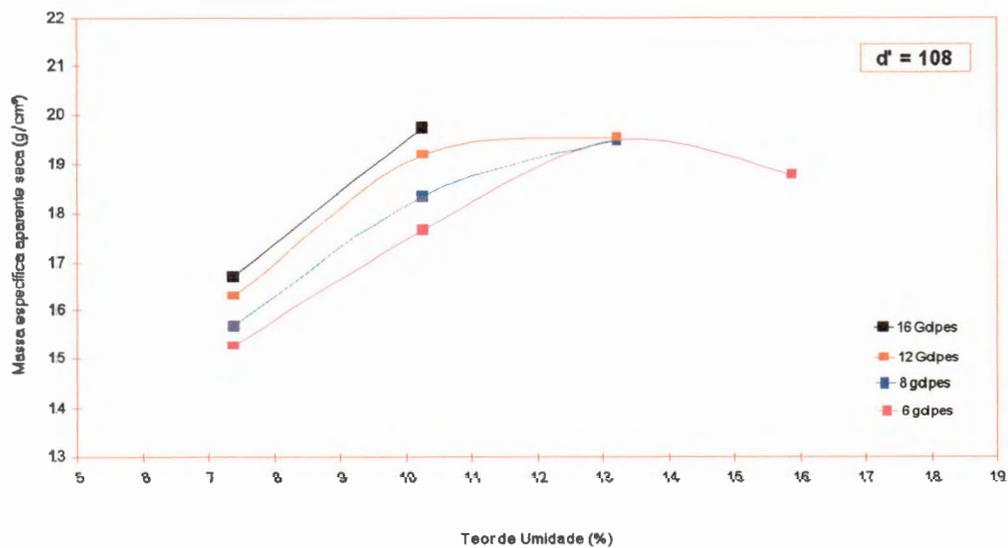
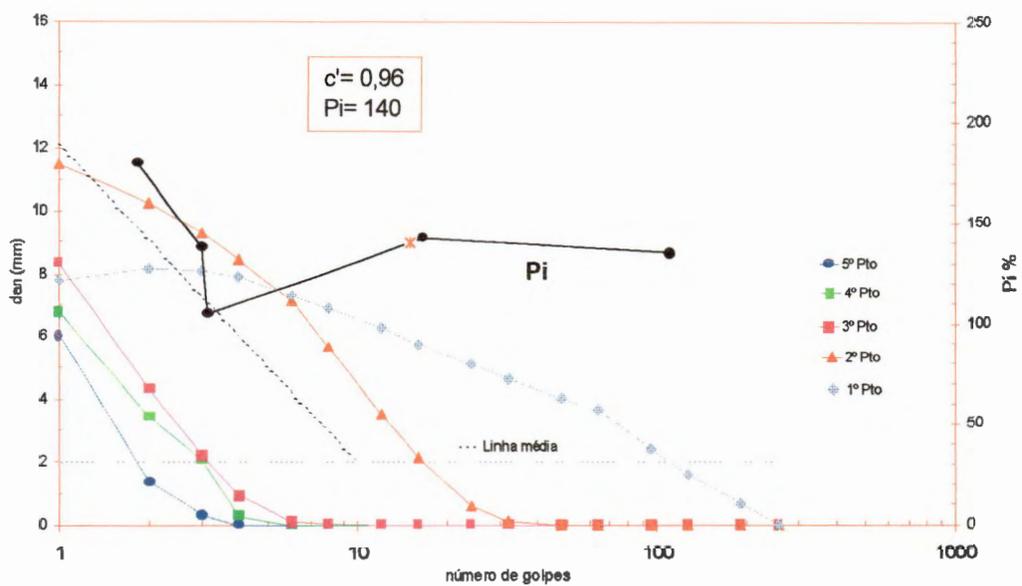
Amostra 14



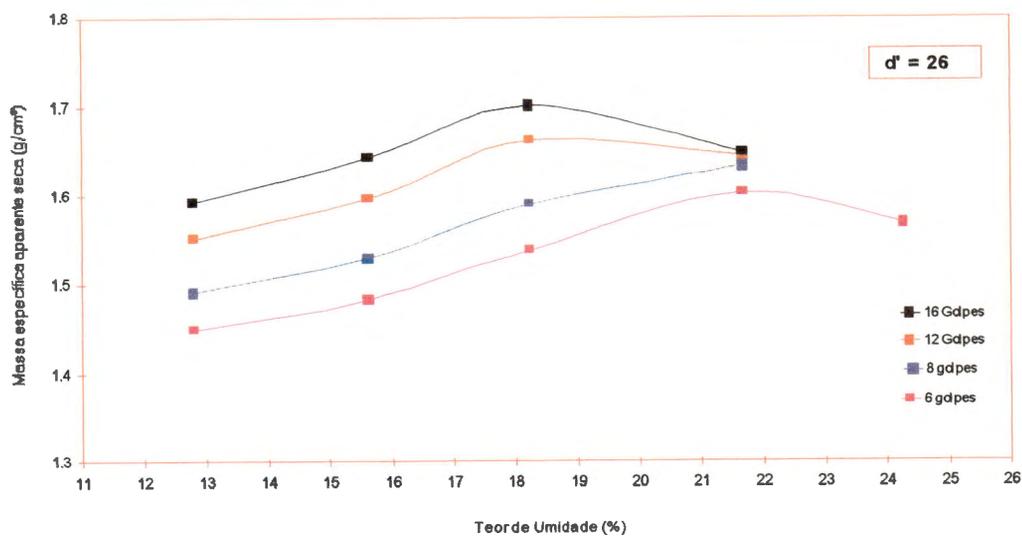
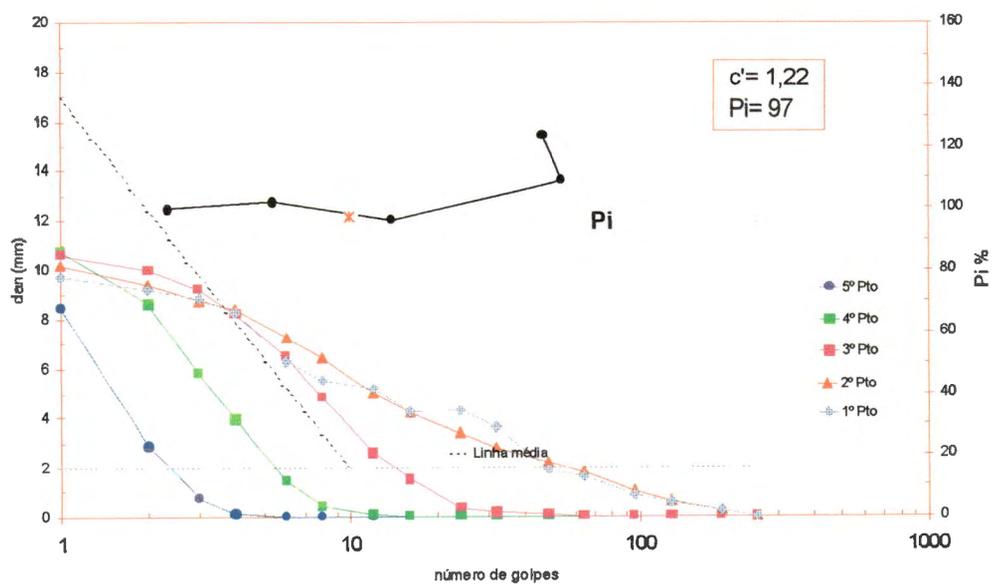
Amostra 15



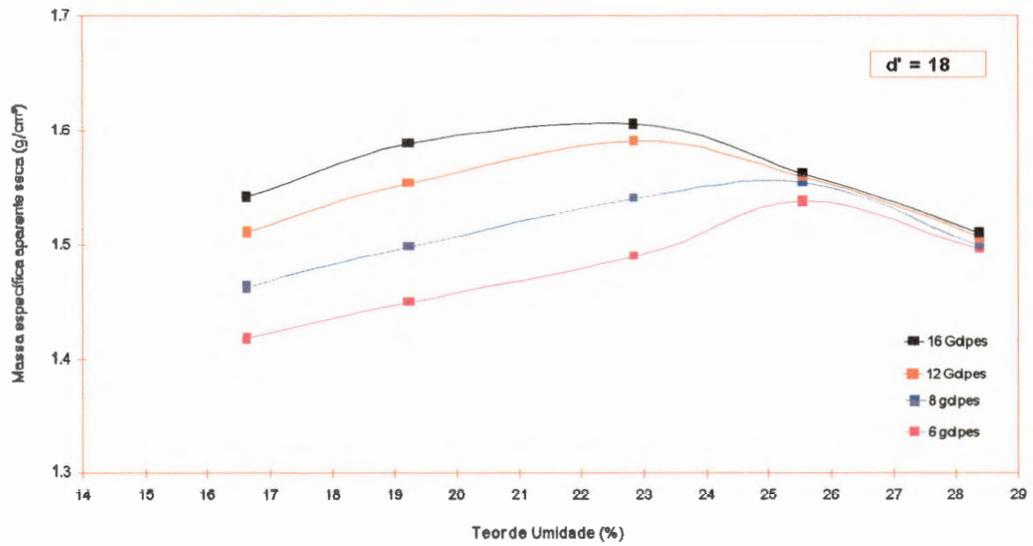
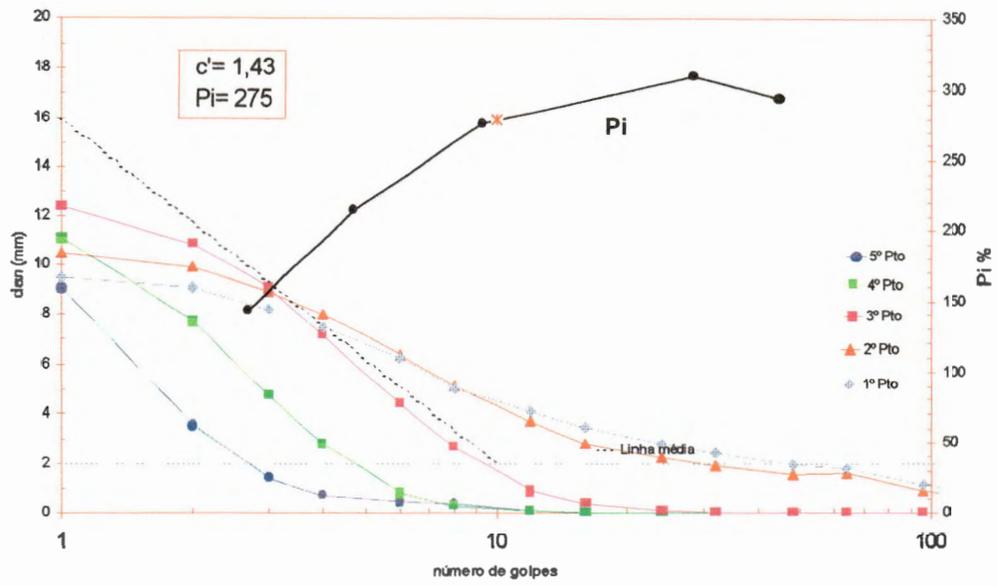
Amostra 16



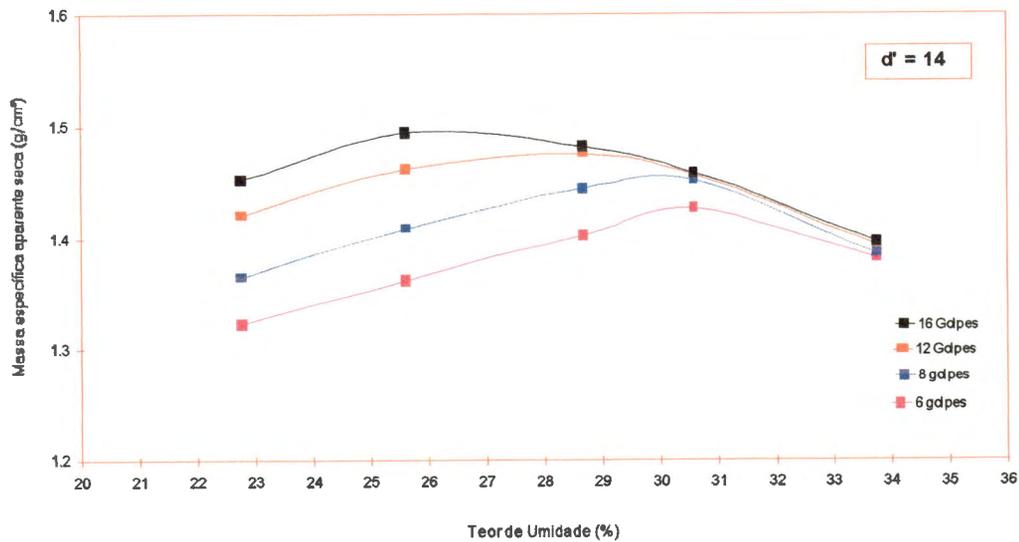
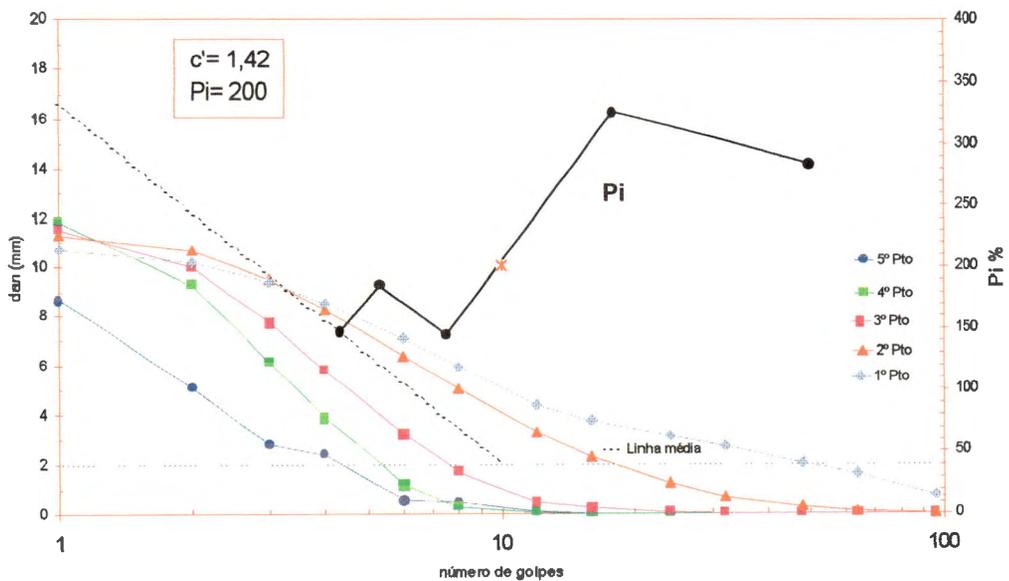
Amostra 17



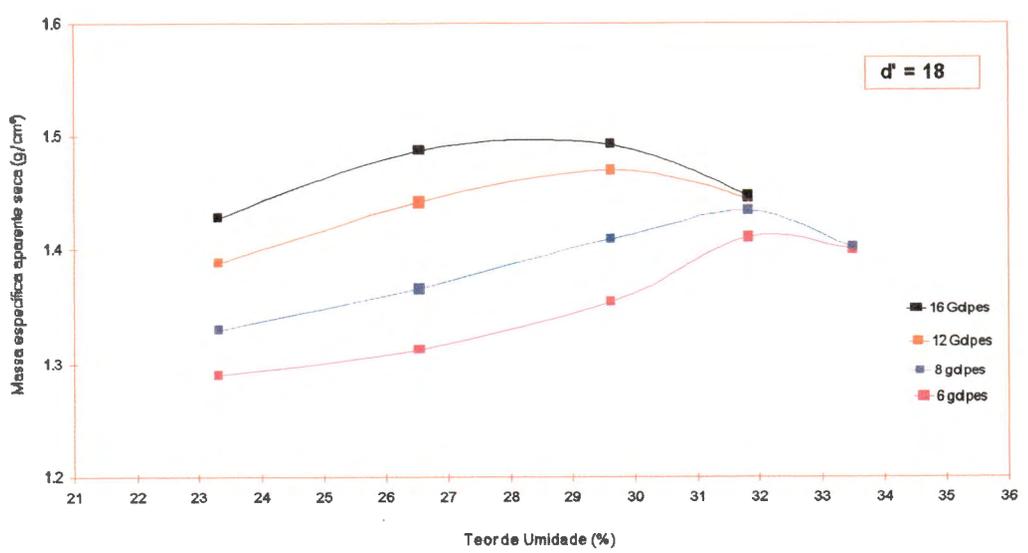
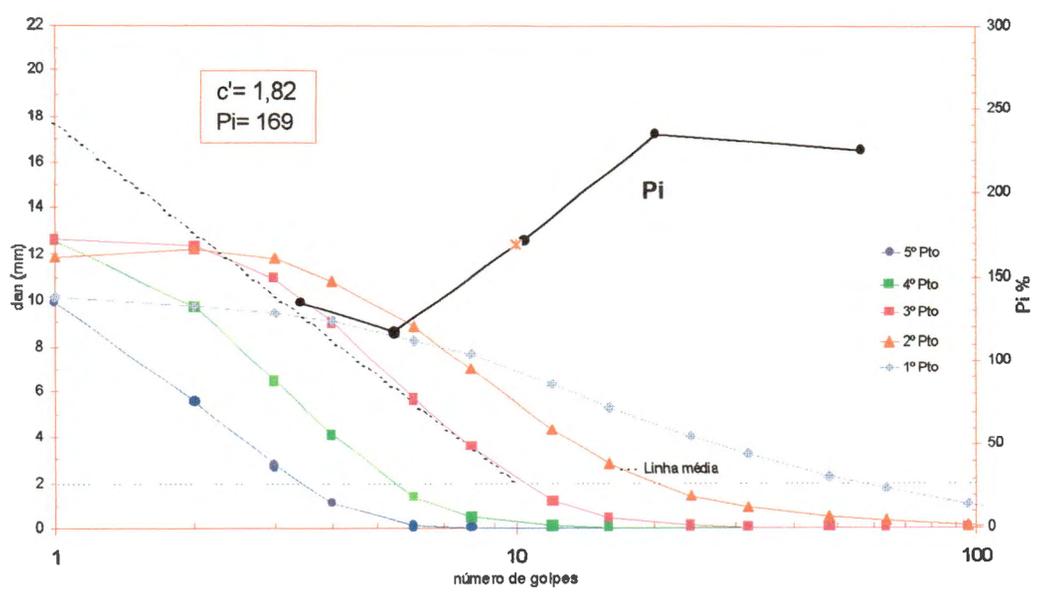
Amostra 18



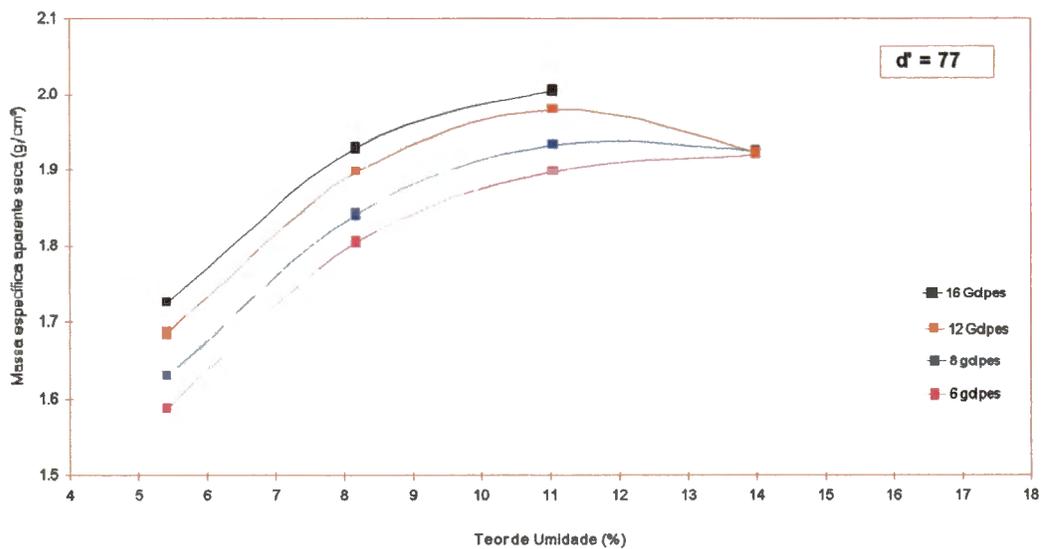
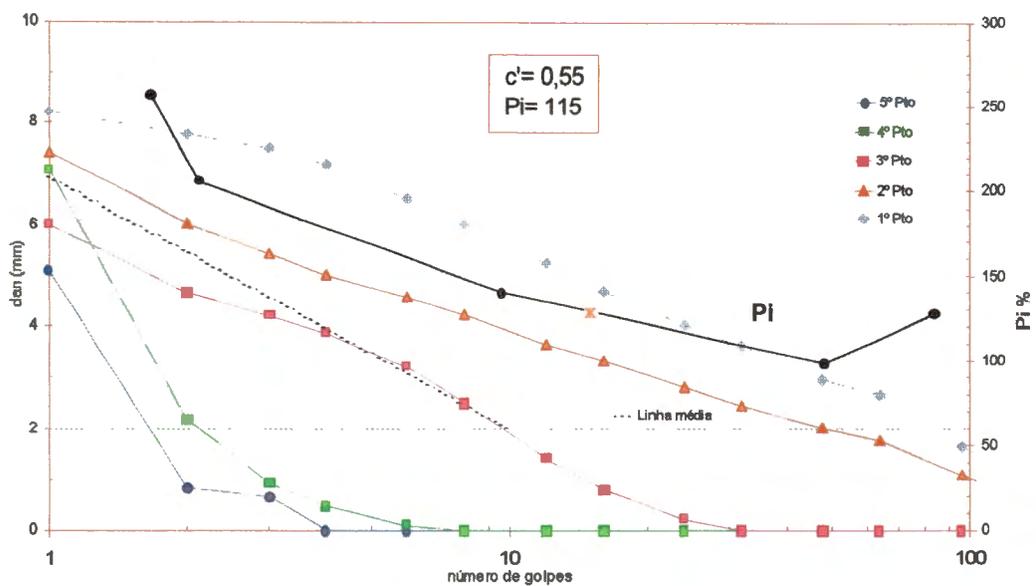
Amostra 19



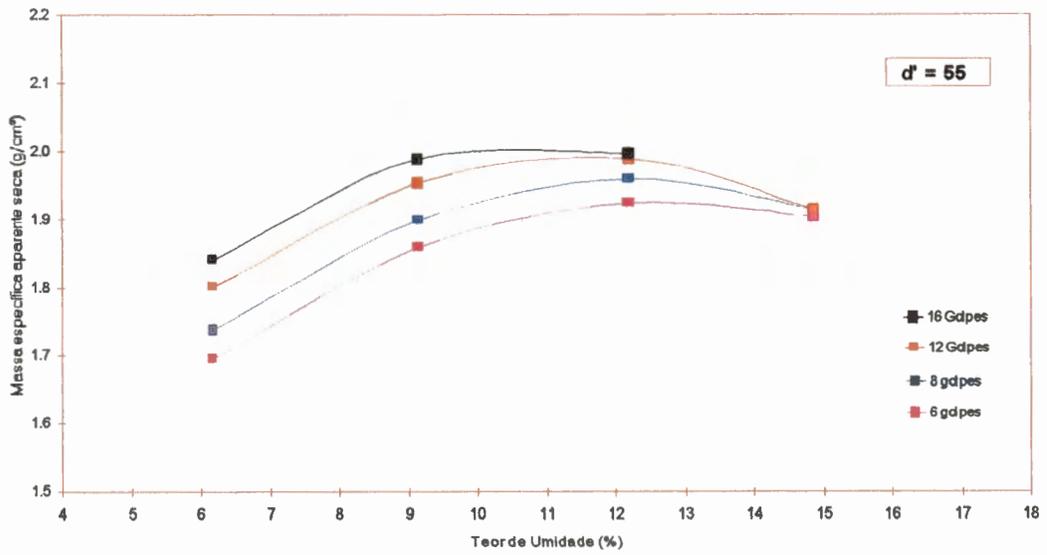
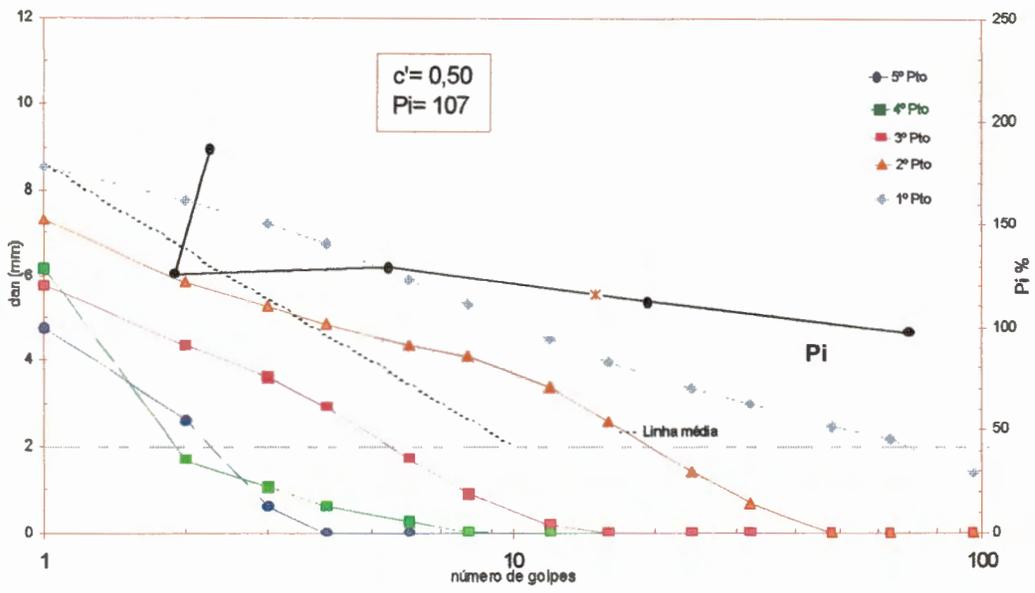
Amostra 20



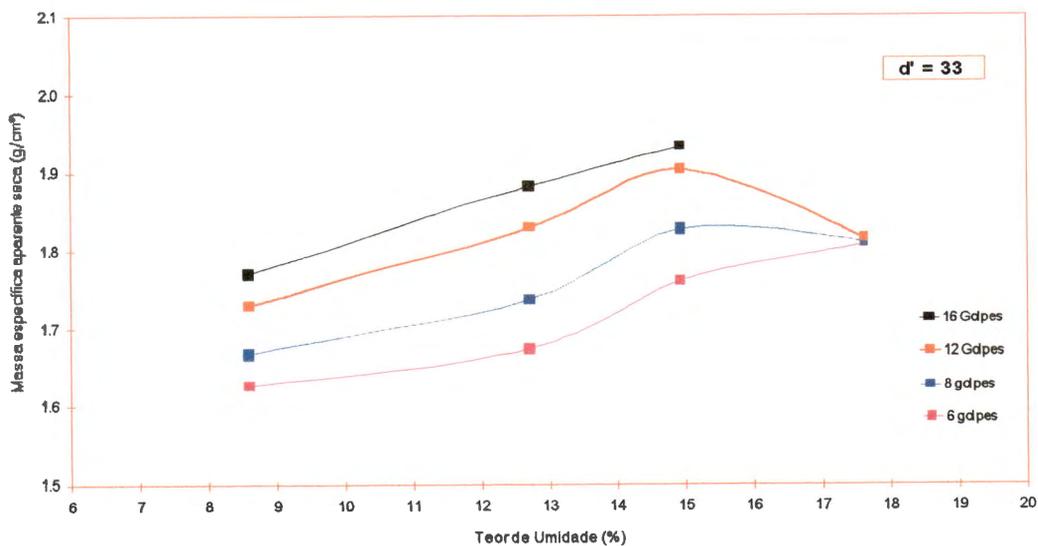
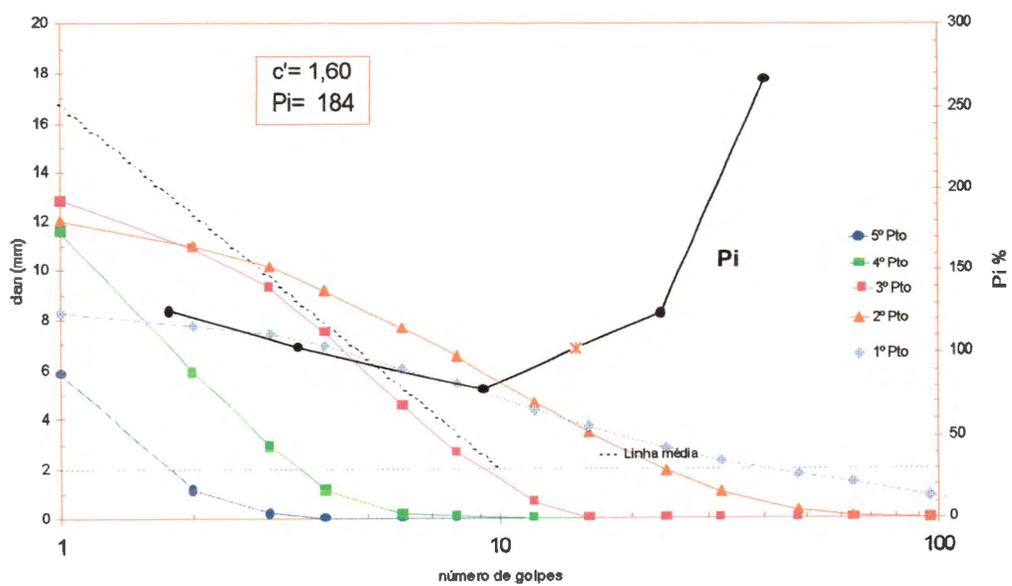
Amostra 21



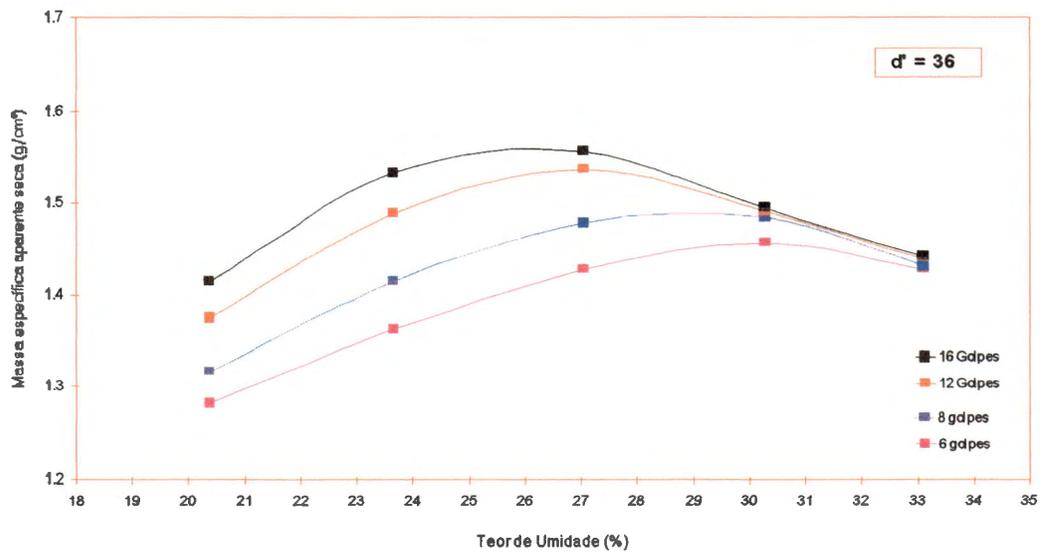
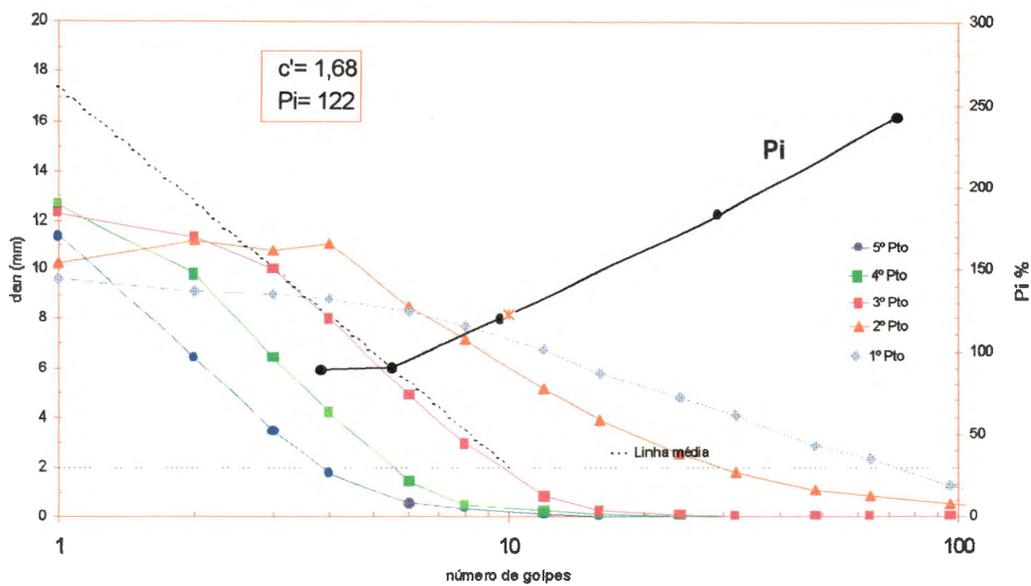
Amostra 22



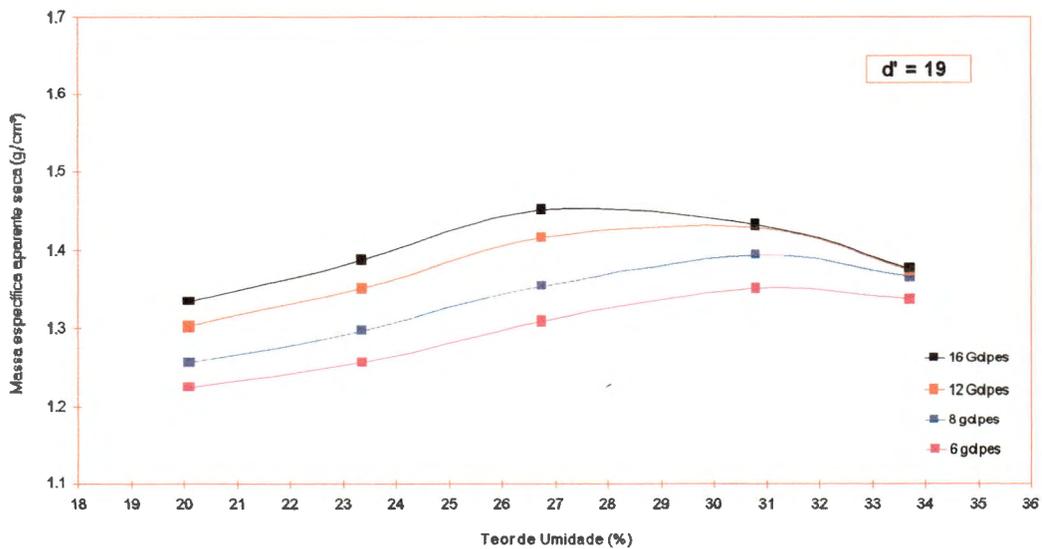
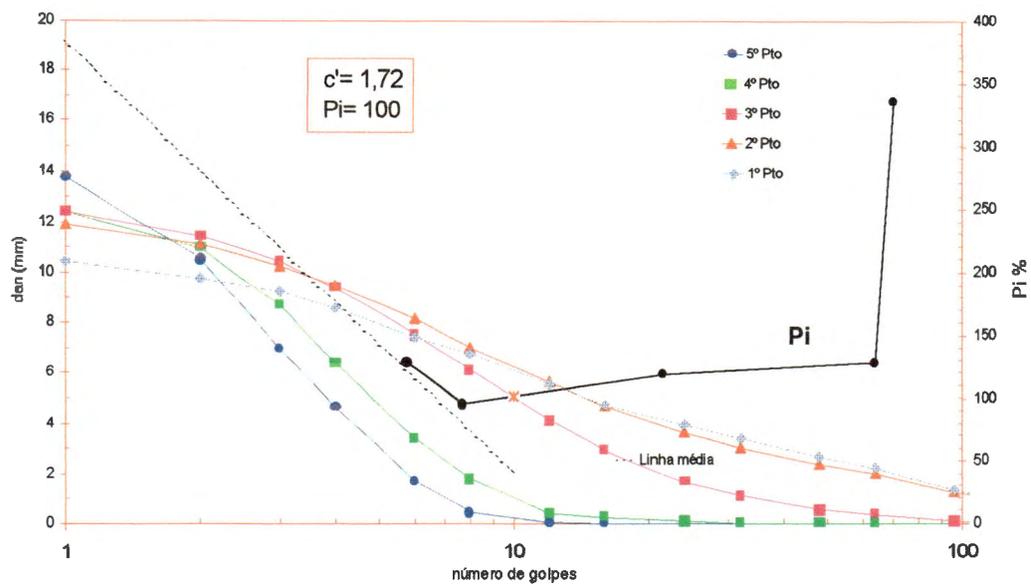
Amostra 23



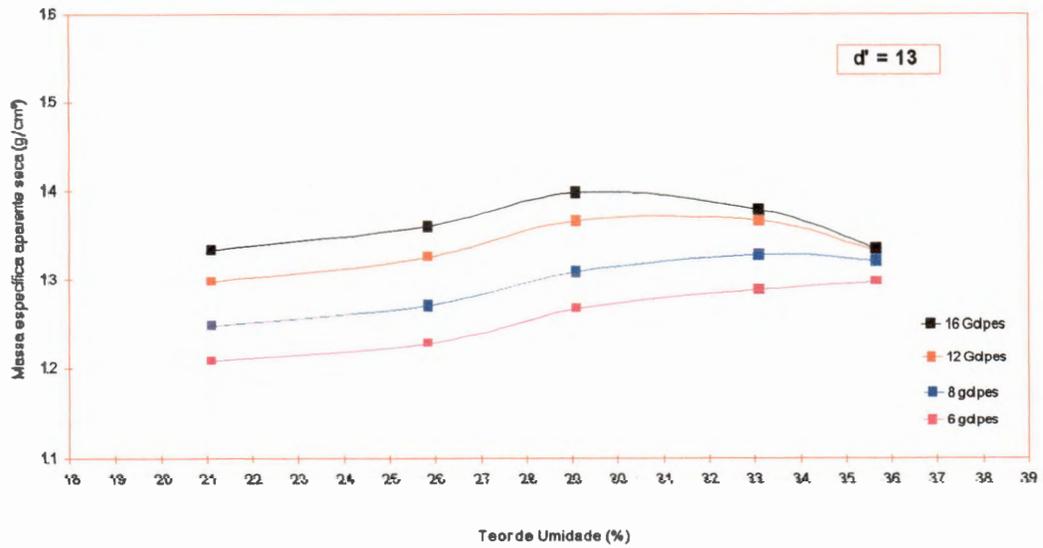
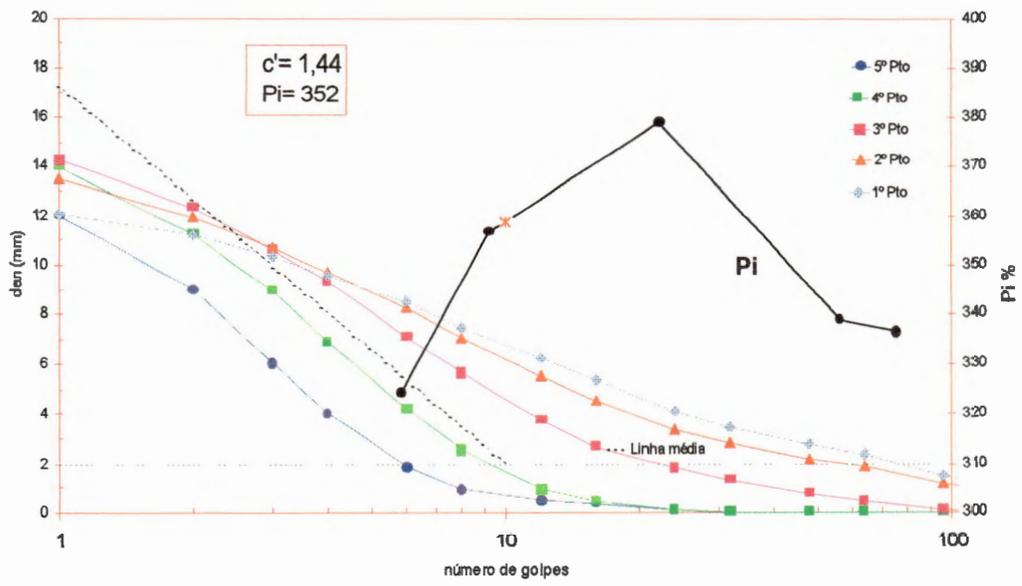
Amostra 25



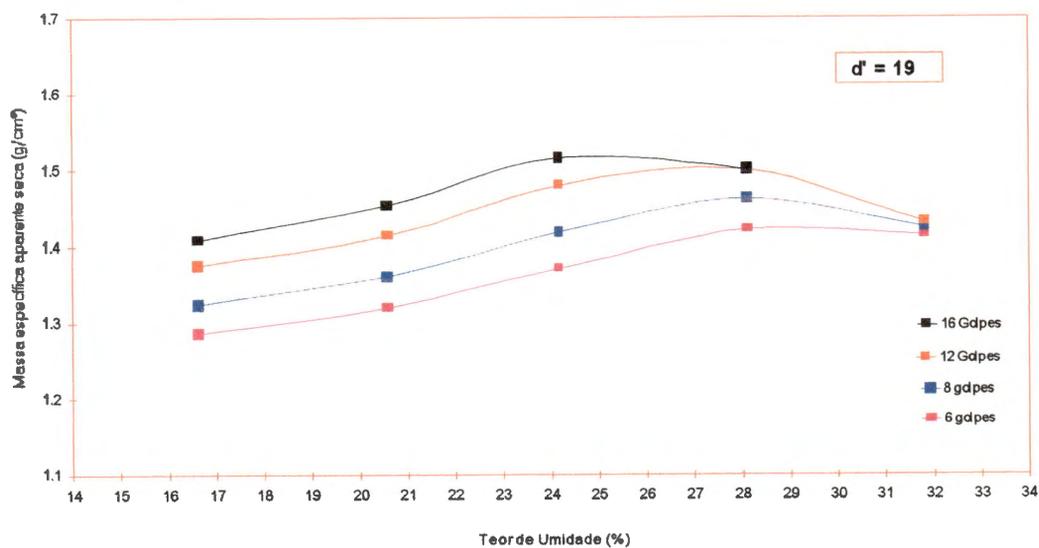
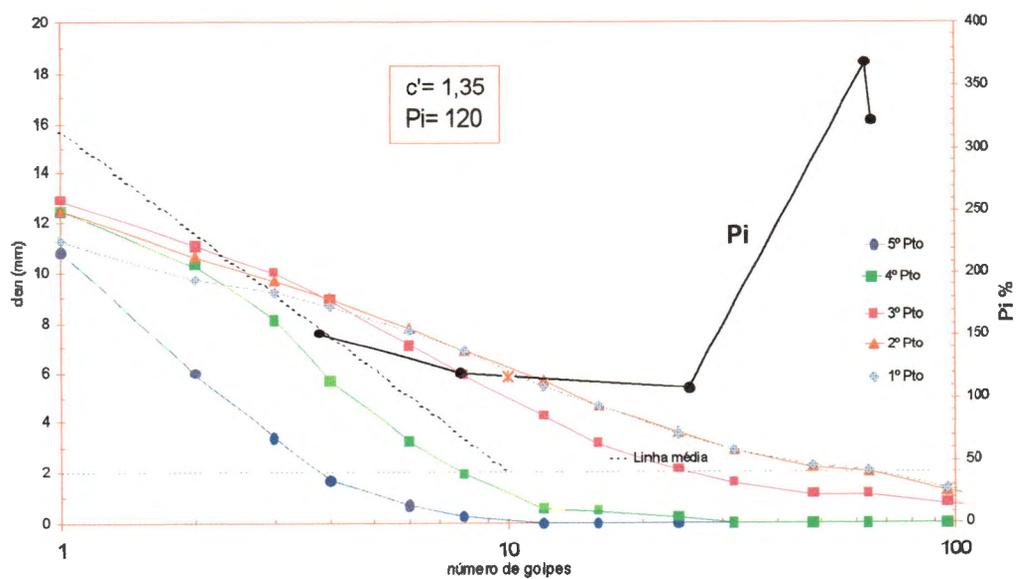
Amostra 26



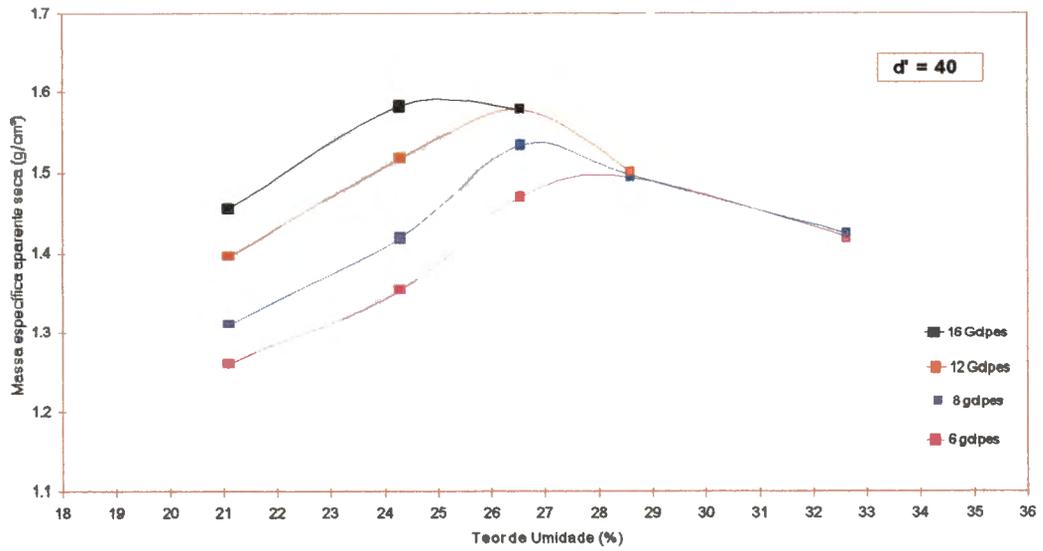
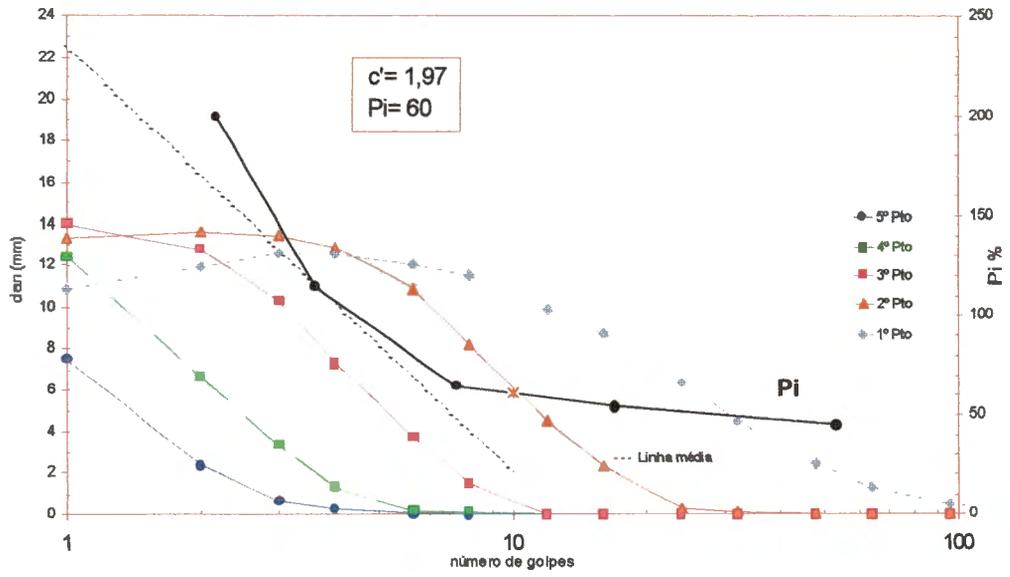
Amostra 27



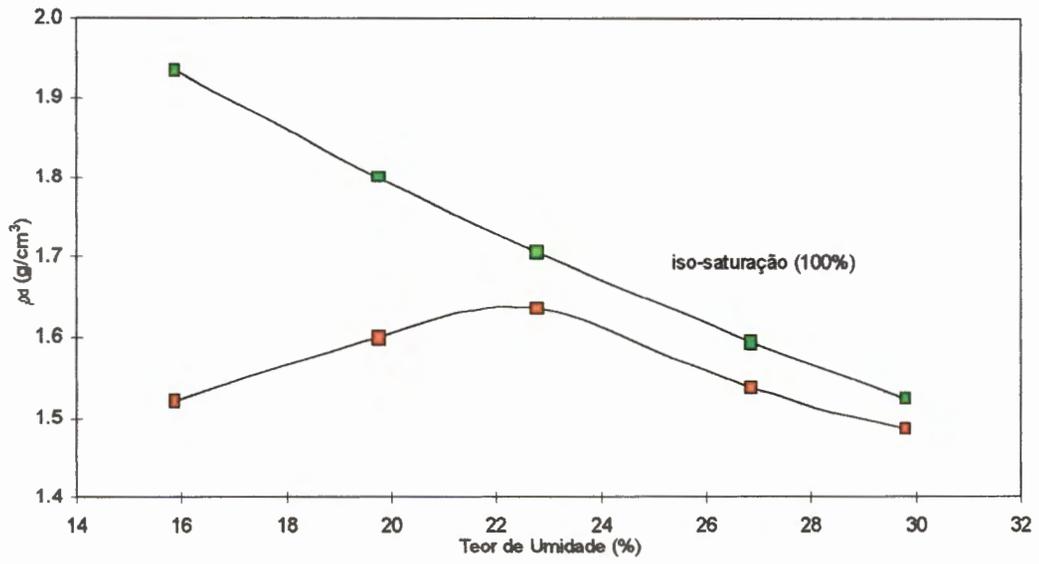
Amostra 30



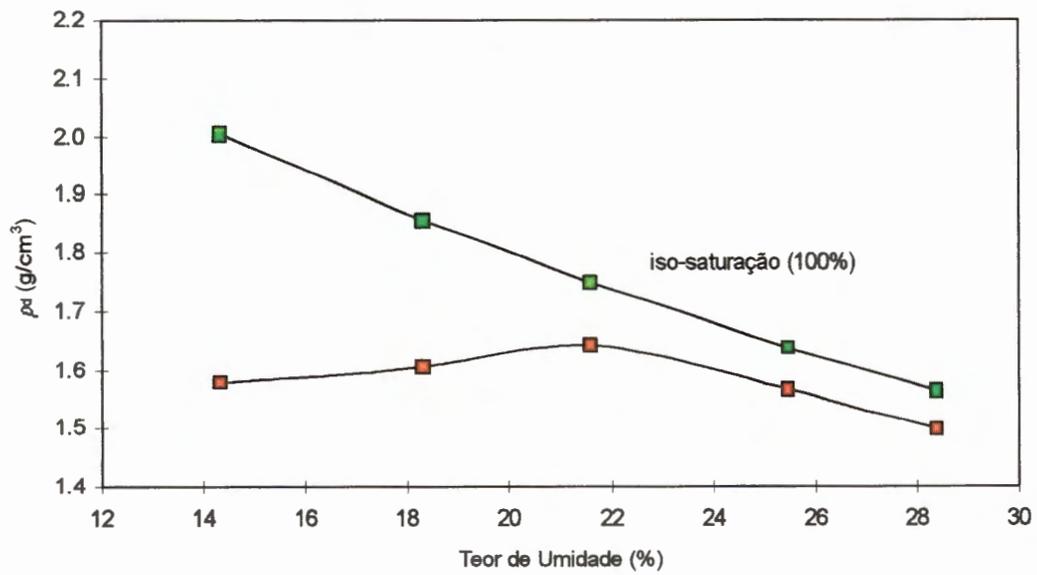
Amostra 31



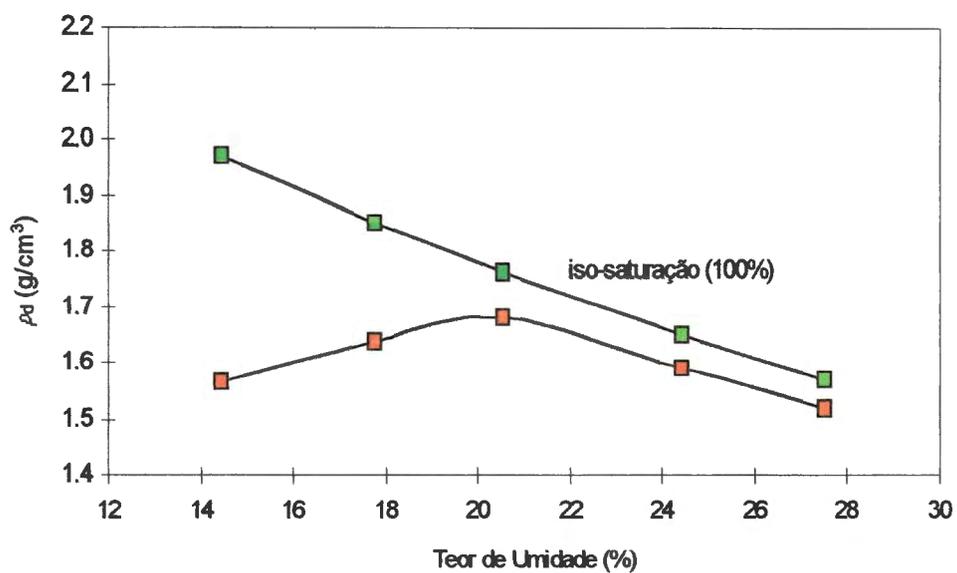
Amostra 32



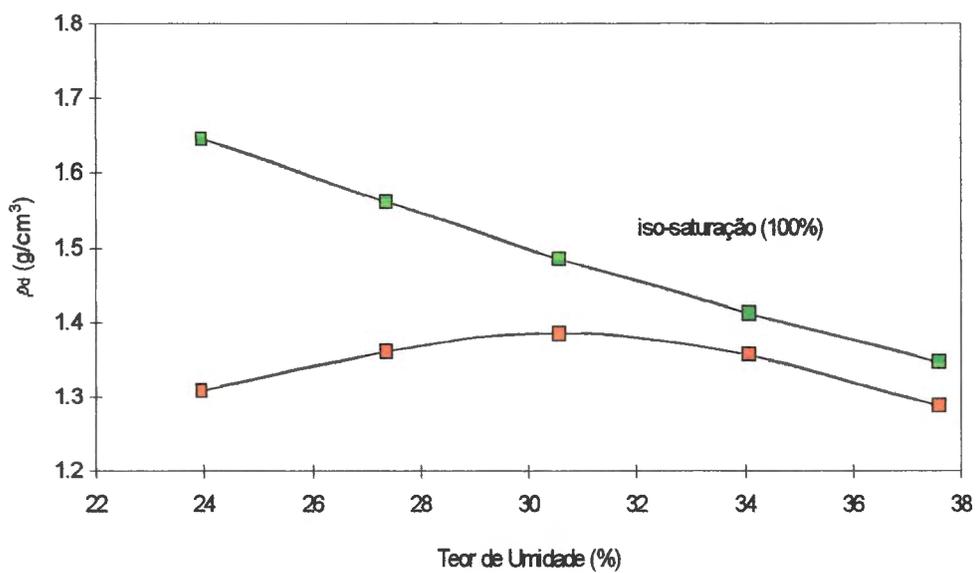
Amostra 01



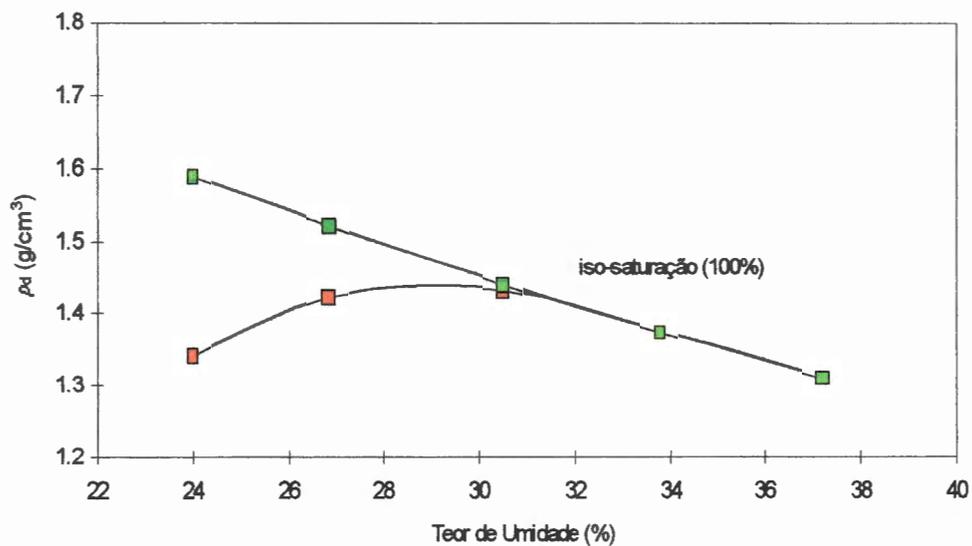
Amostra 02



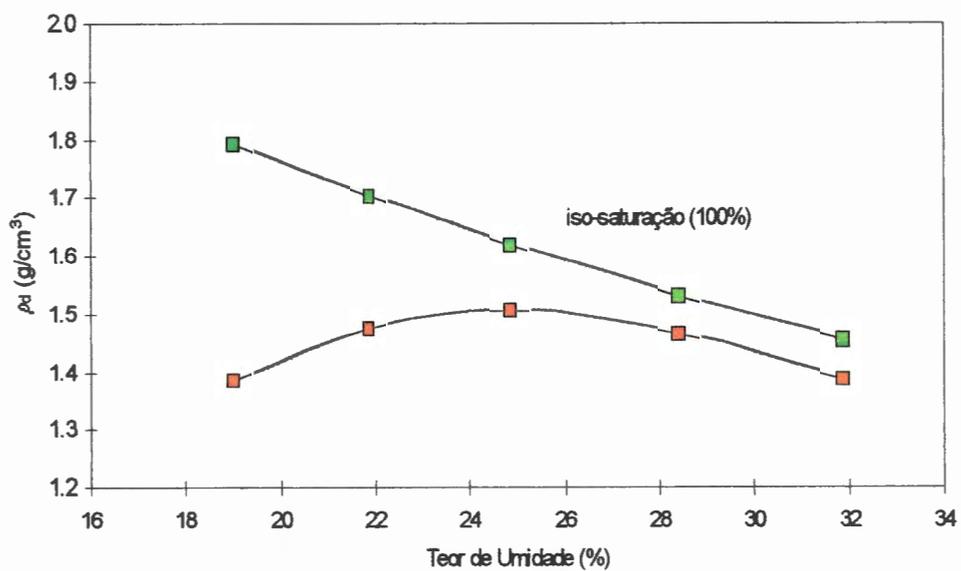
Amostra 03



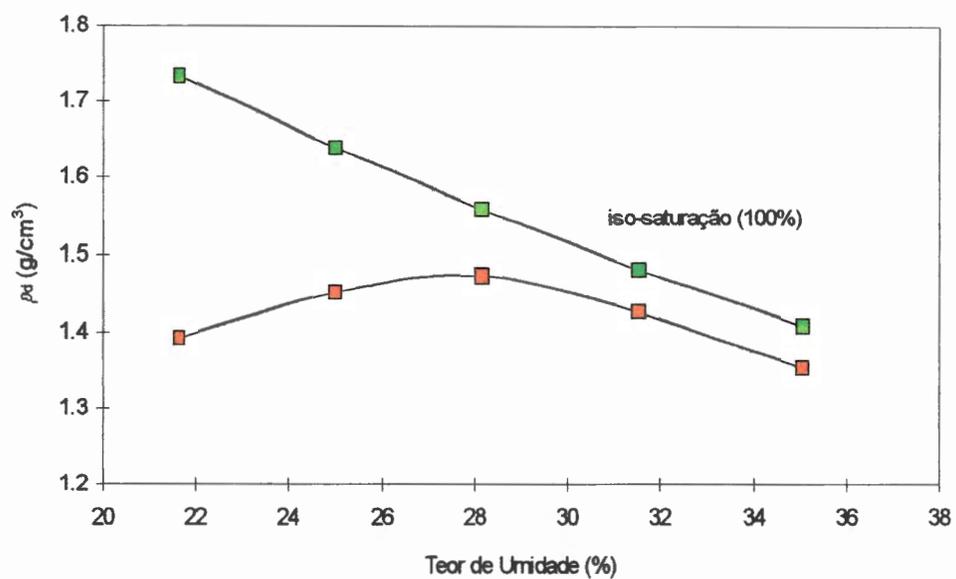
Amostra 04



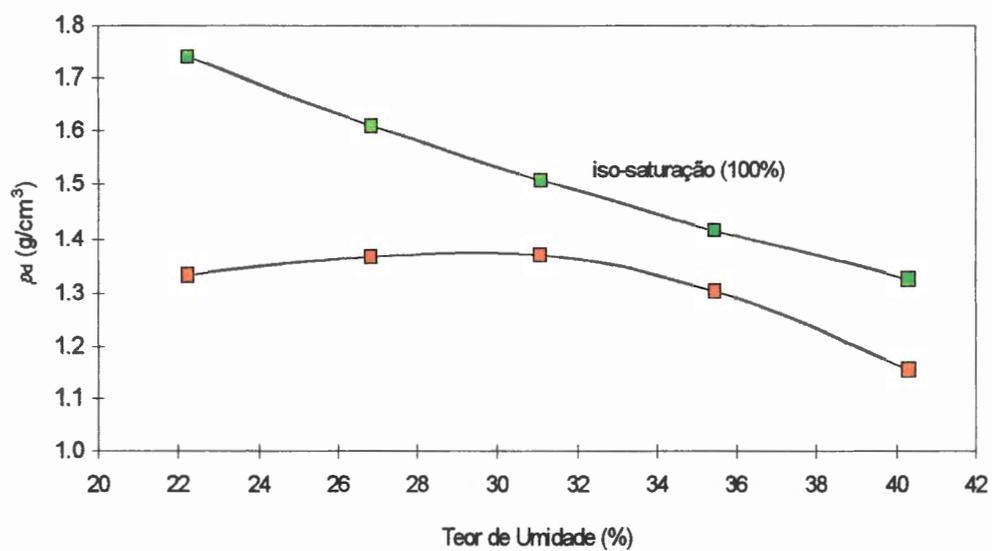
Amostra 05



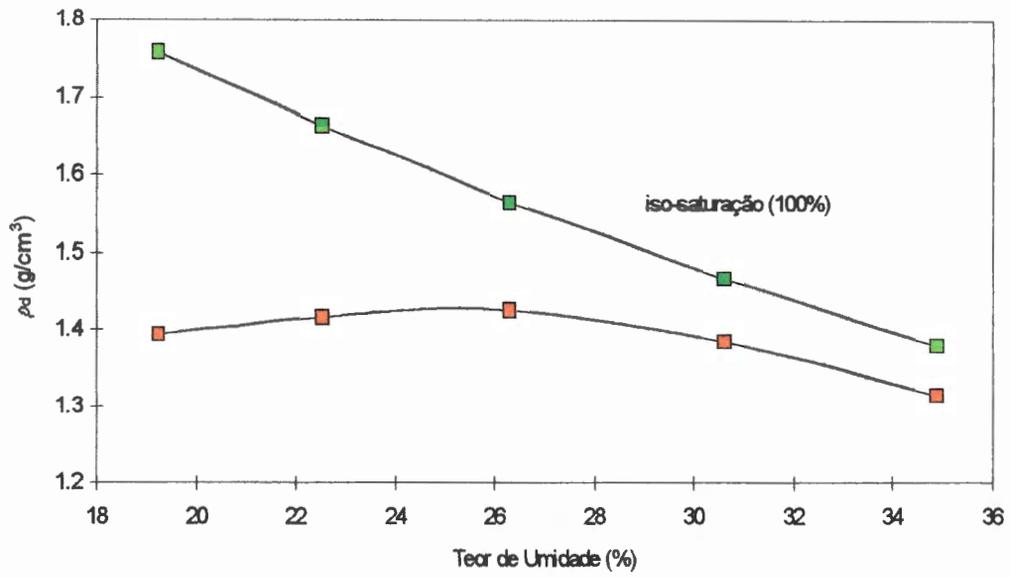
Amostra 06



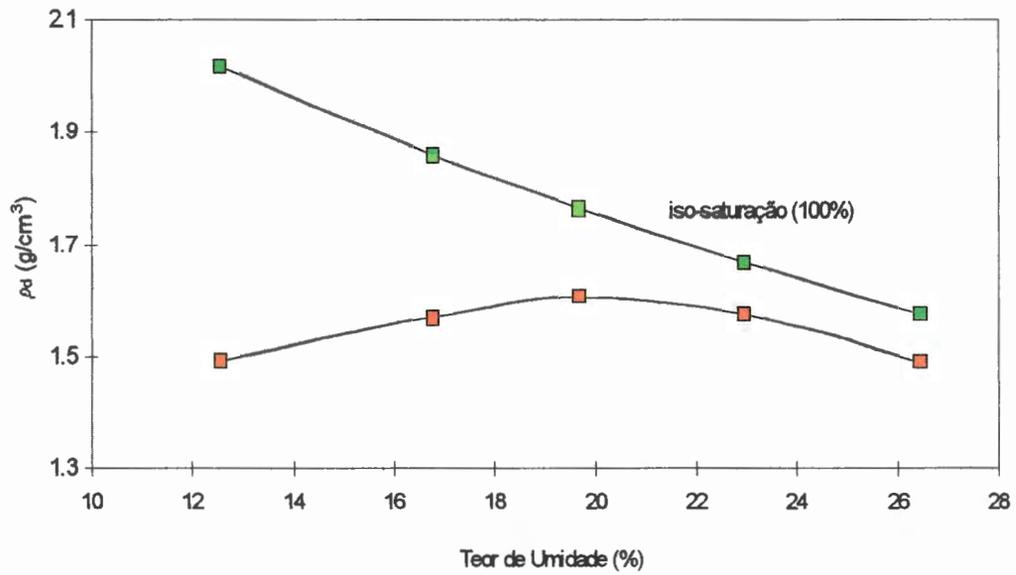
Amostra 07



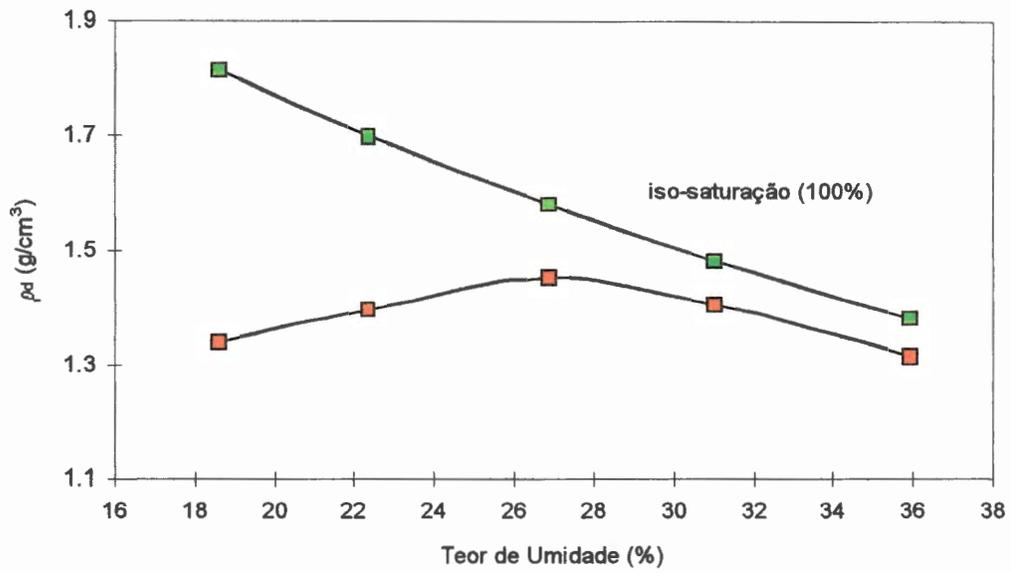
Amostra 08



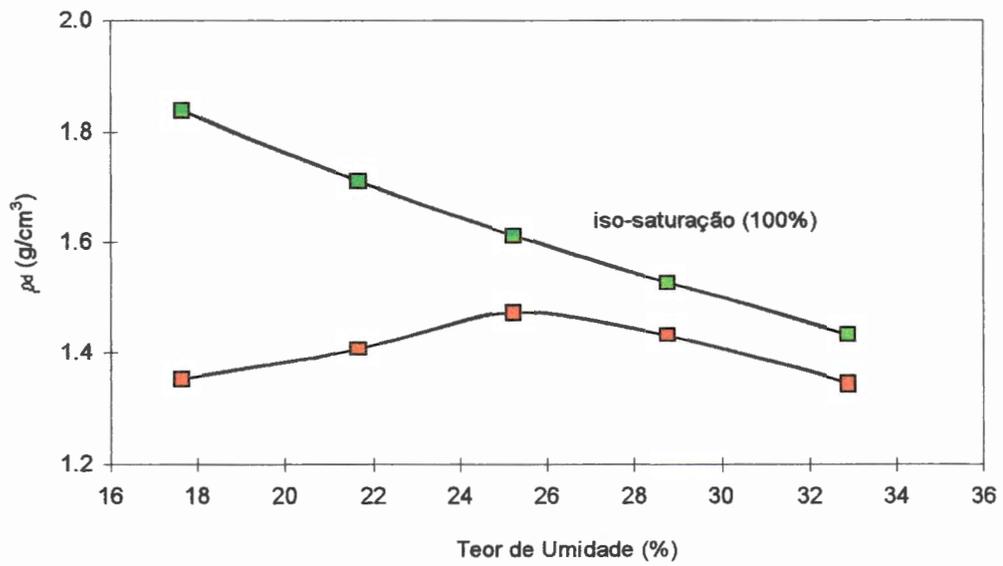
Amostra 09



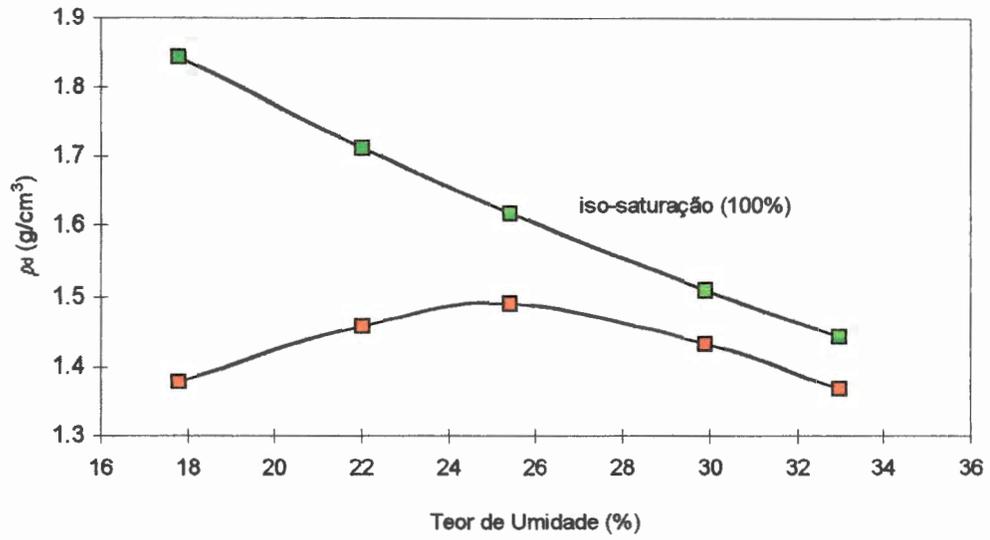
Amostra 10



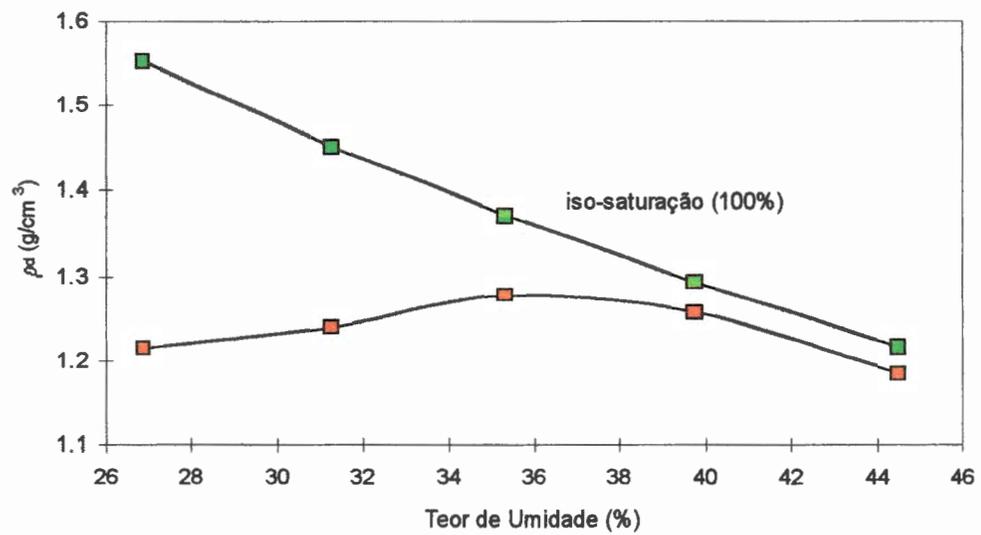
Amostra 11



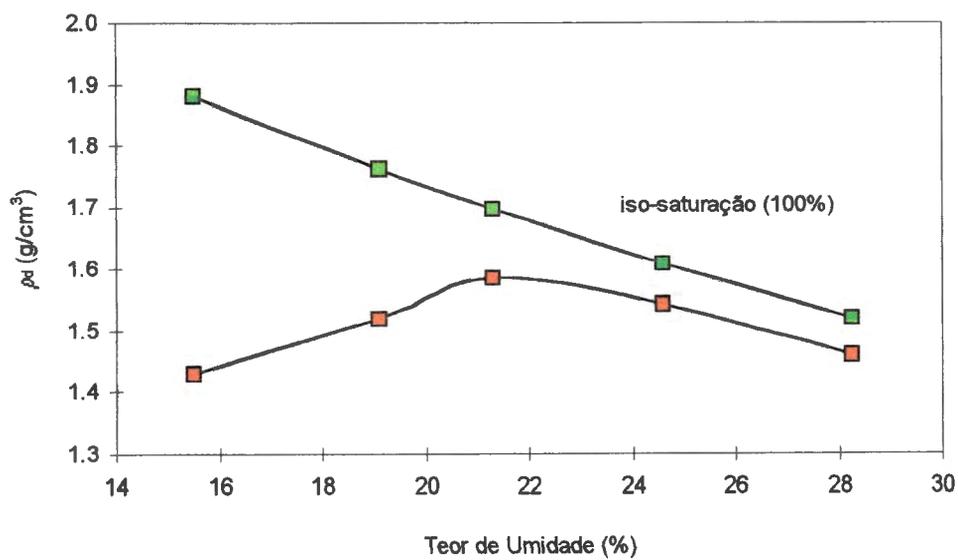
Amostra 12



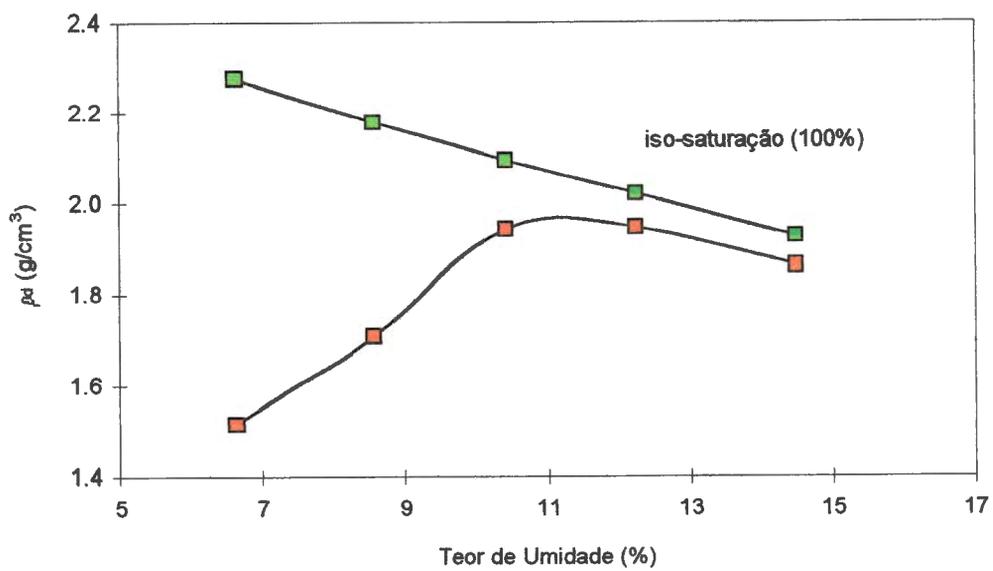
Amostra 13



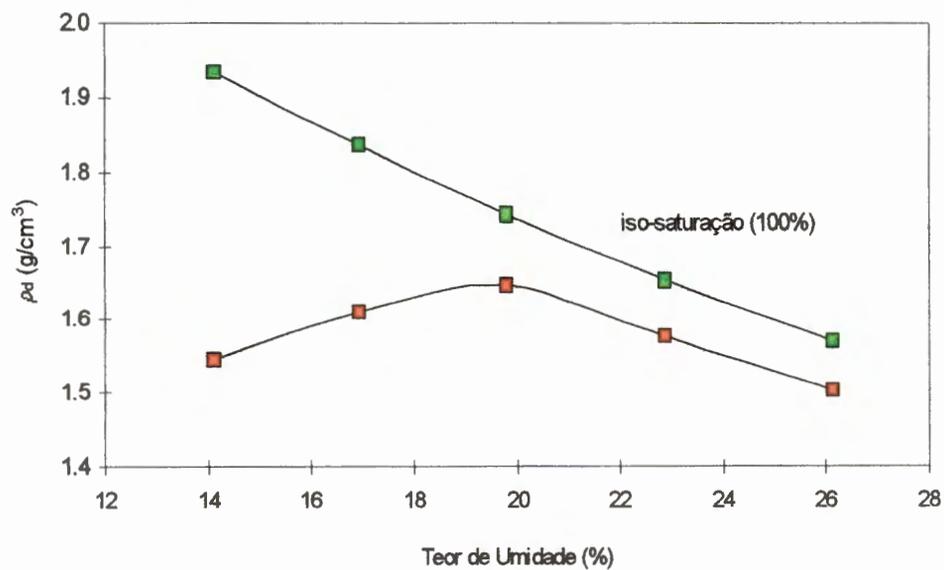
Amostra 14



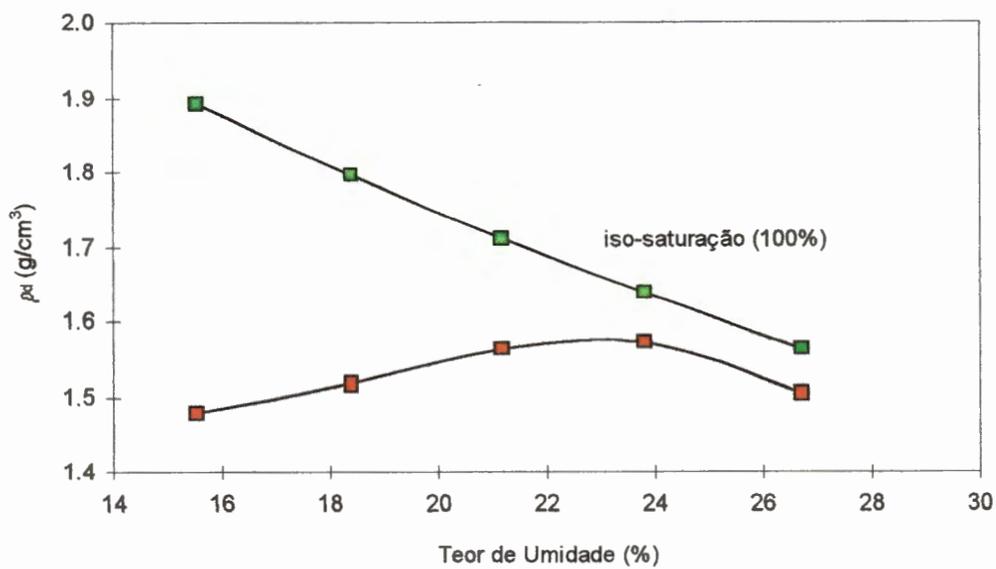
Amostra 16



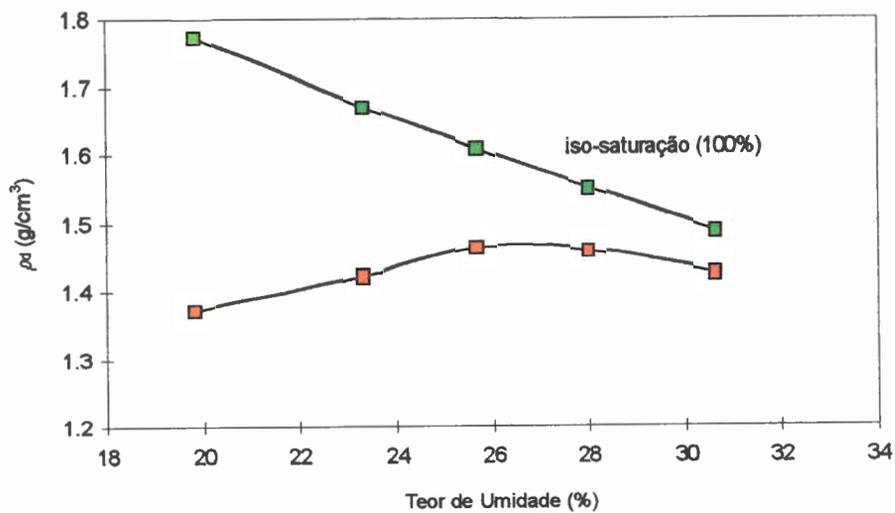
Amostra 17



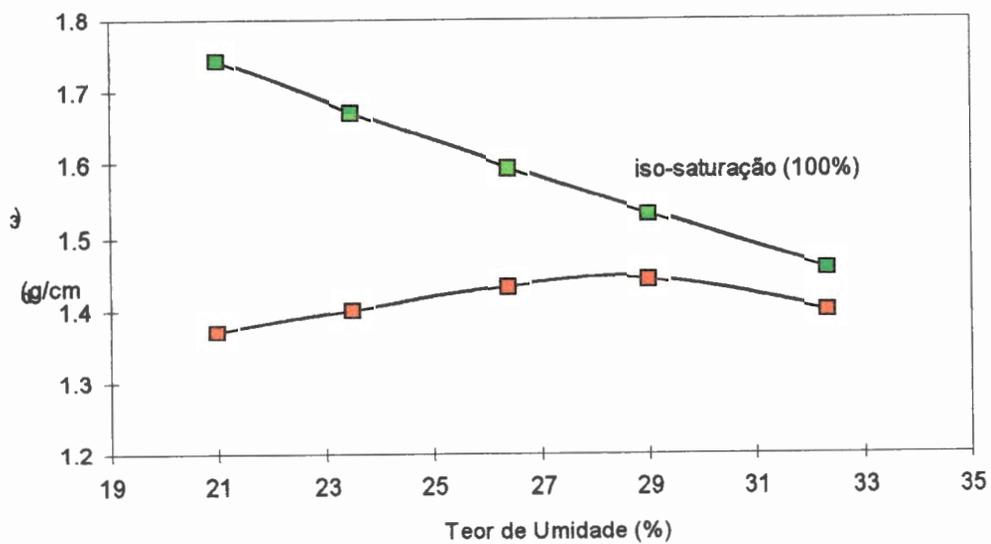
Amostra 18



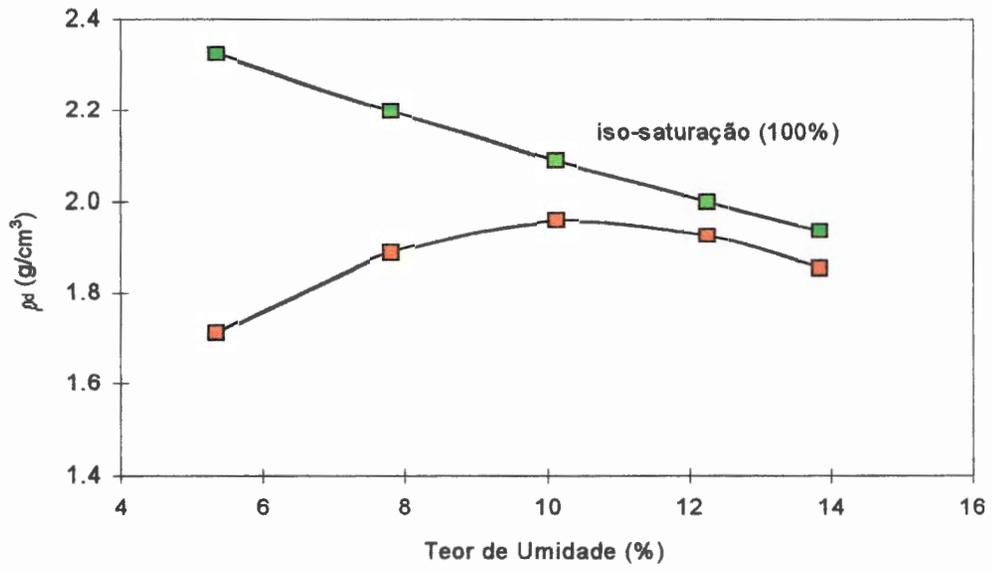
Amostra 19



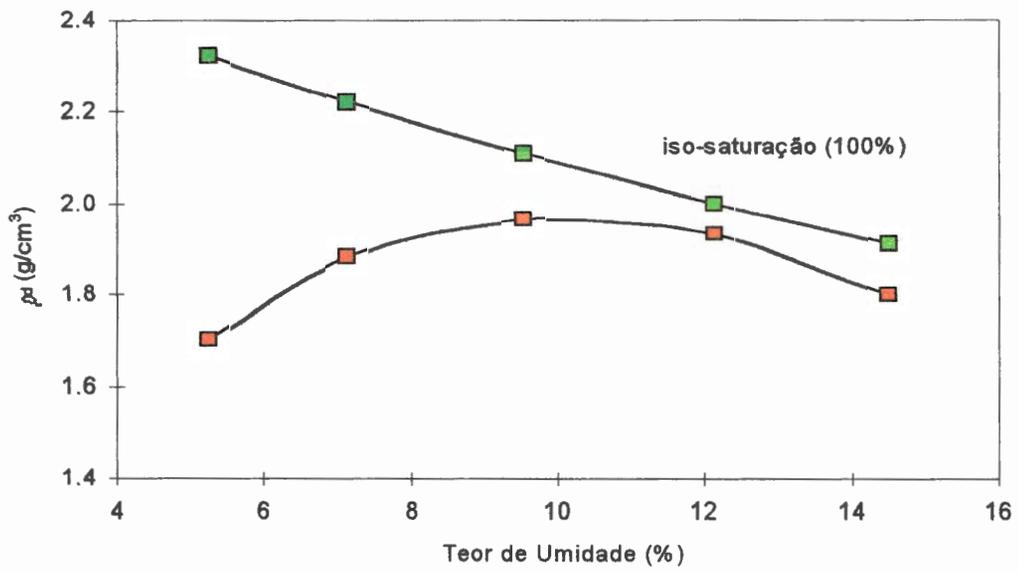
Amostra 20



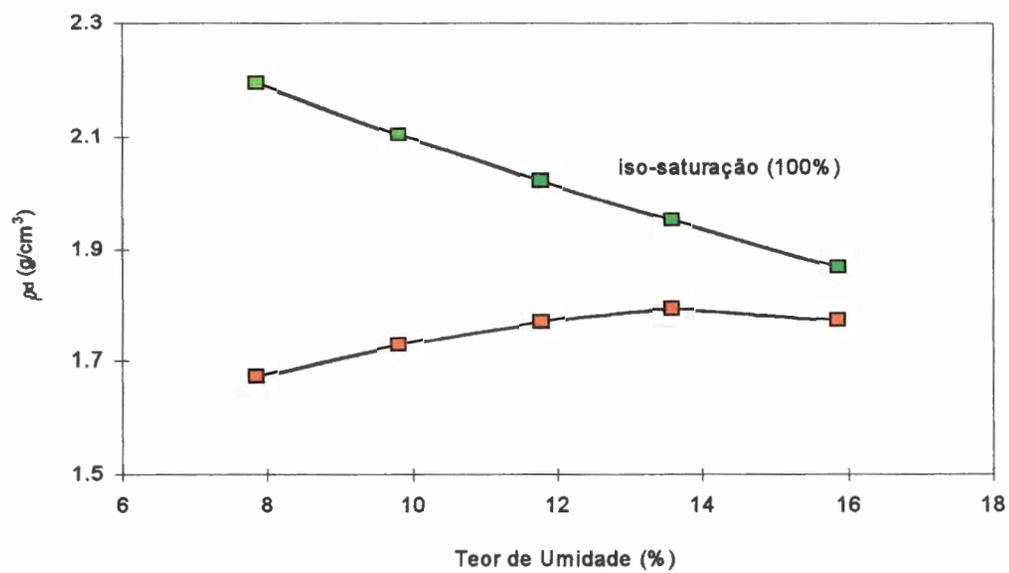
Amostra 21



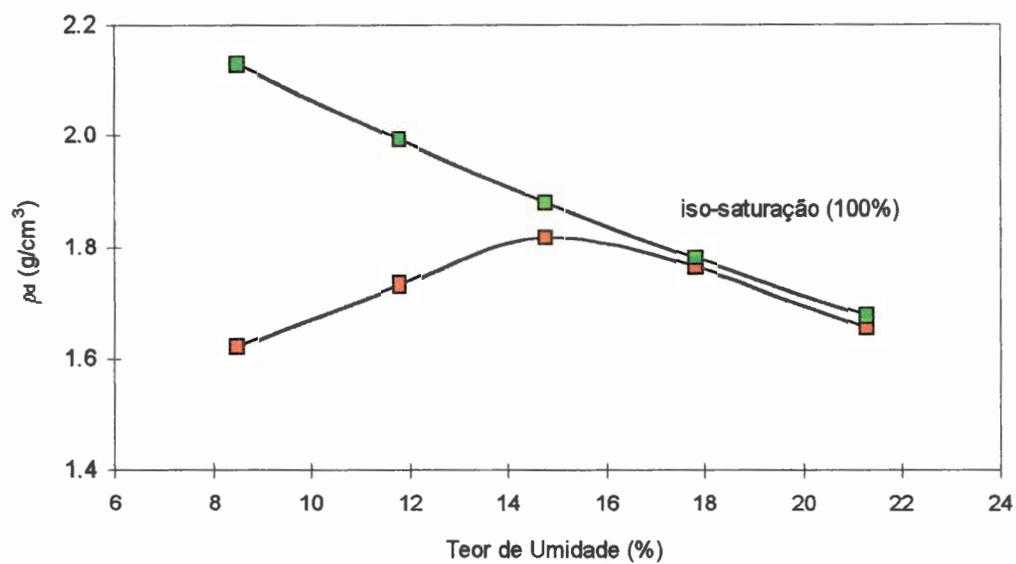
Amostra 22



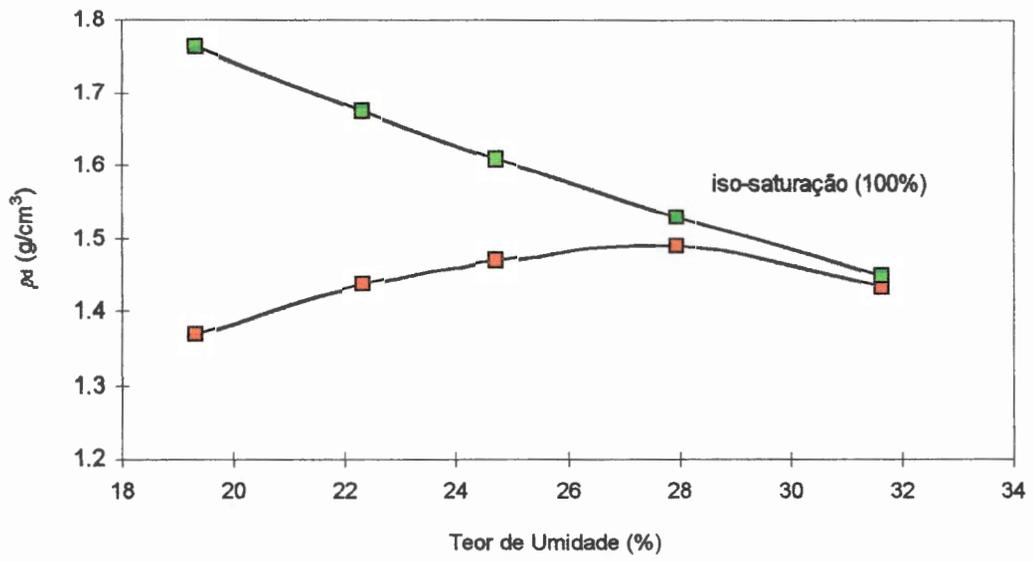
Amostra 23



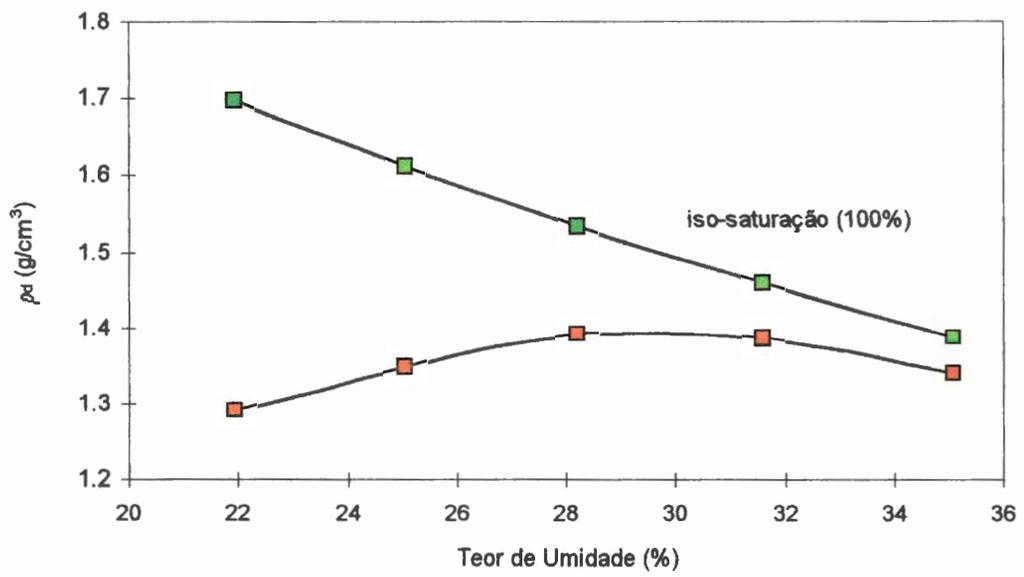
Amostra 24



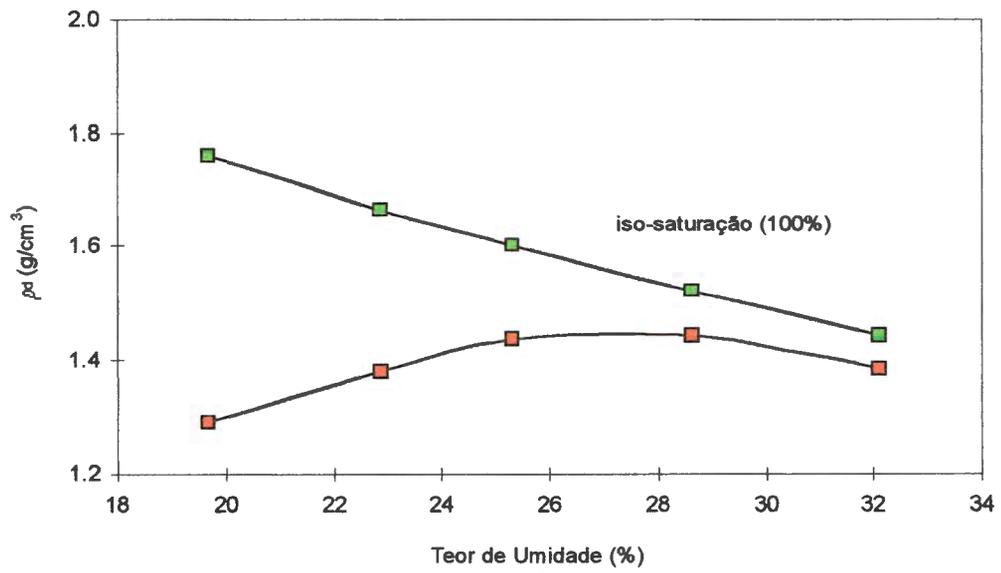
Amostra 25



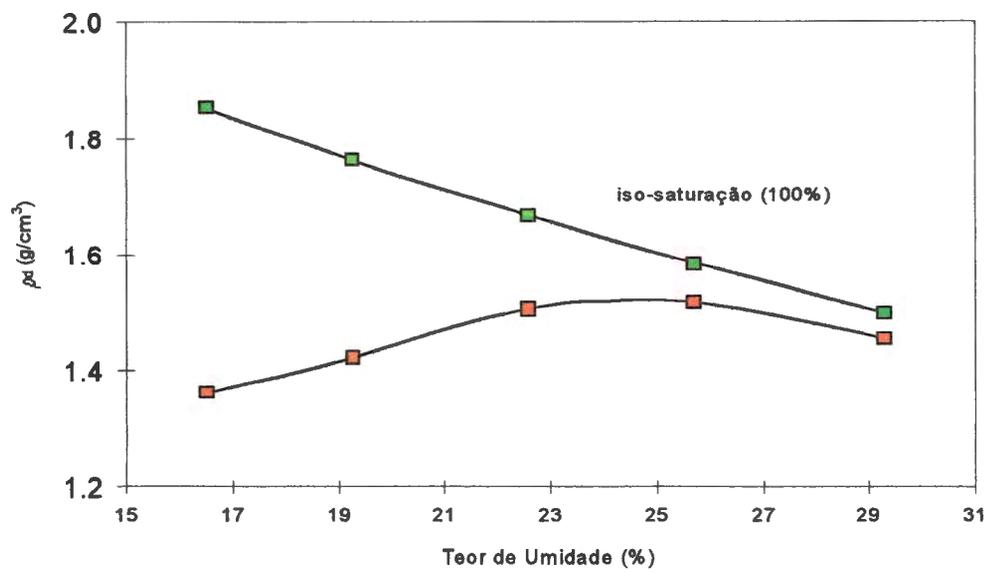
Amostra 26



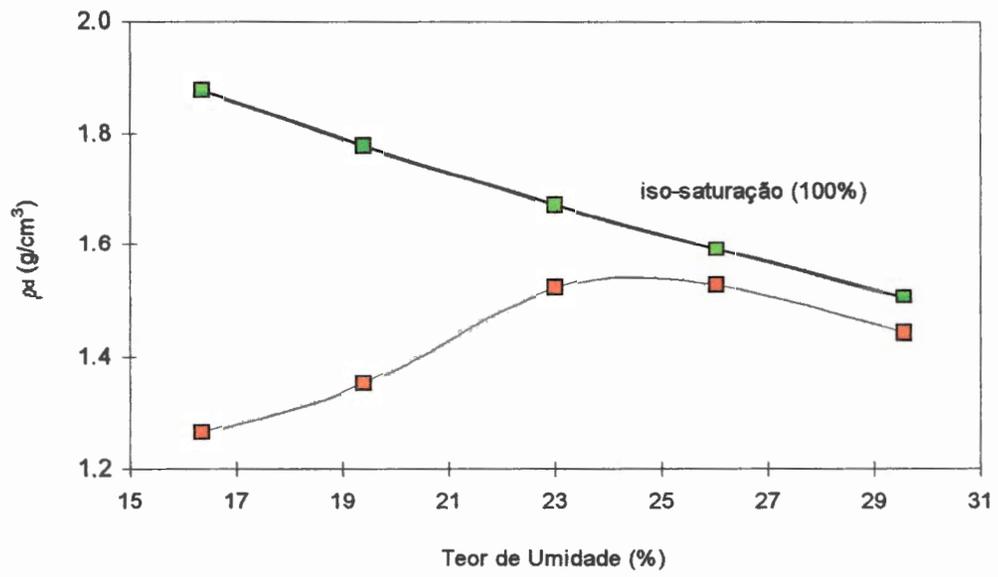
Amostra 27



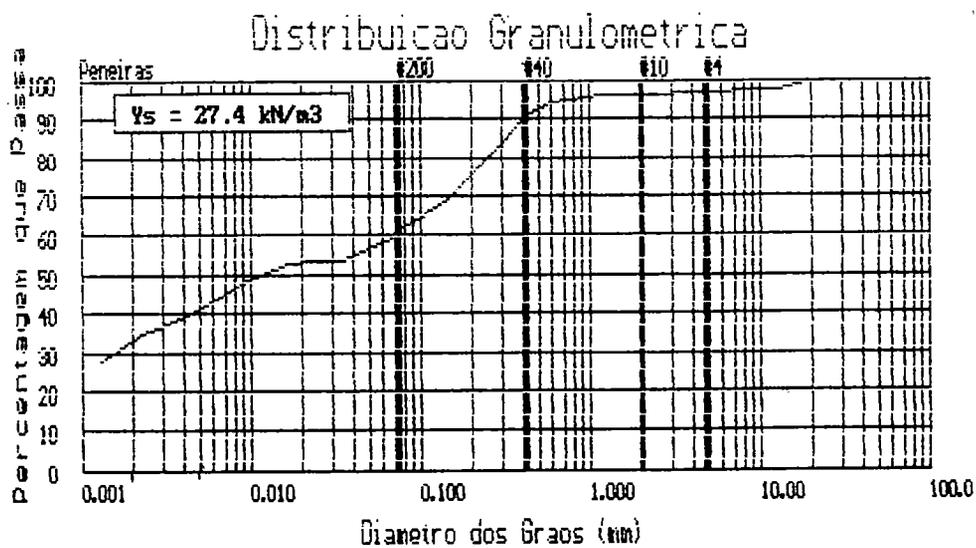
Amostra 30



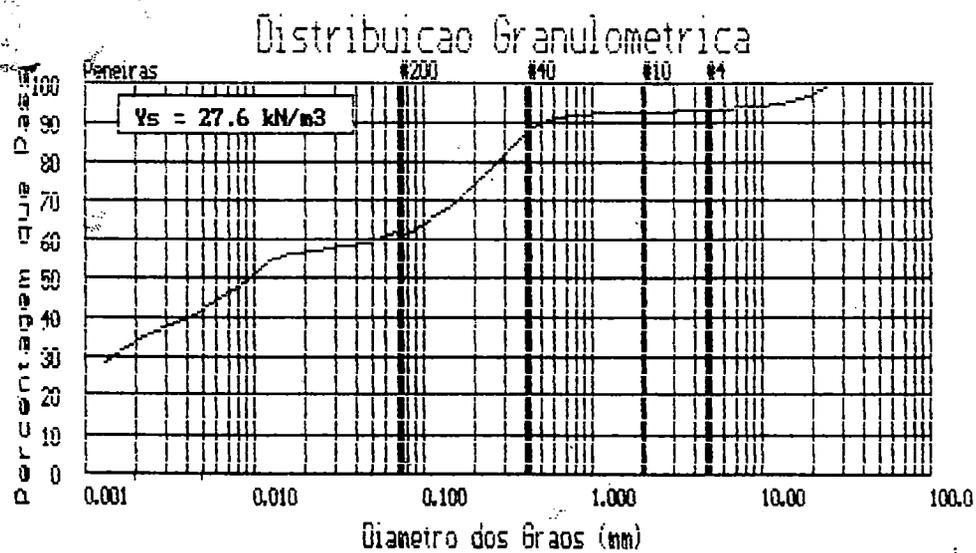
Amostra 31



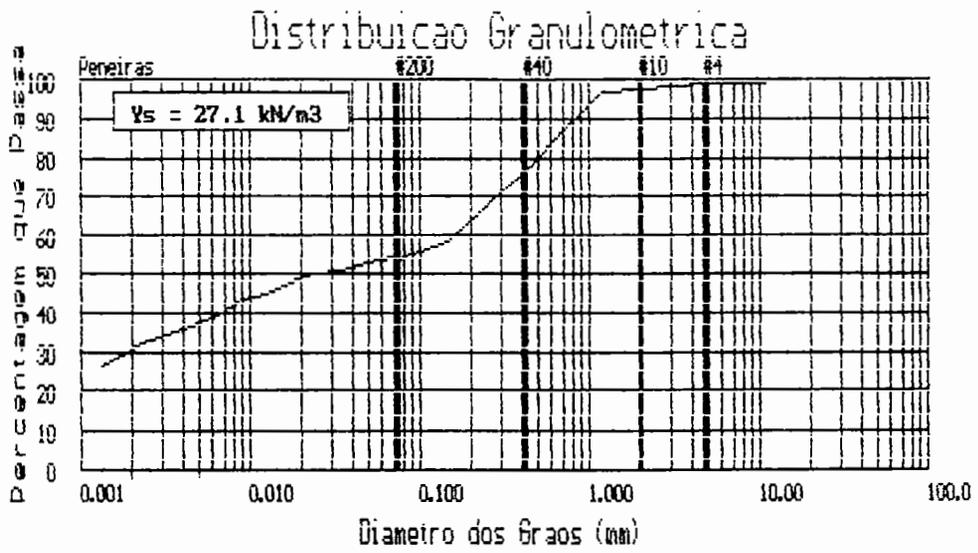
Amostra 32



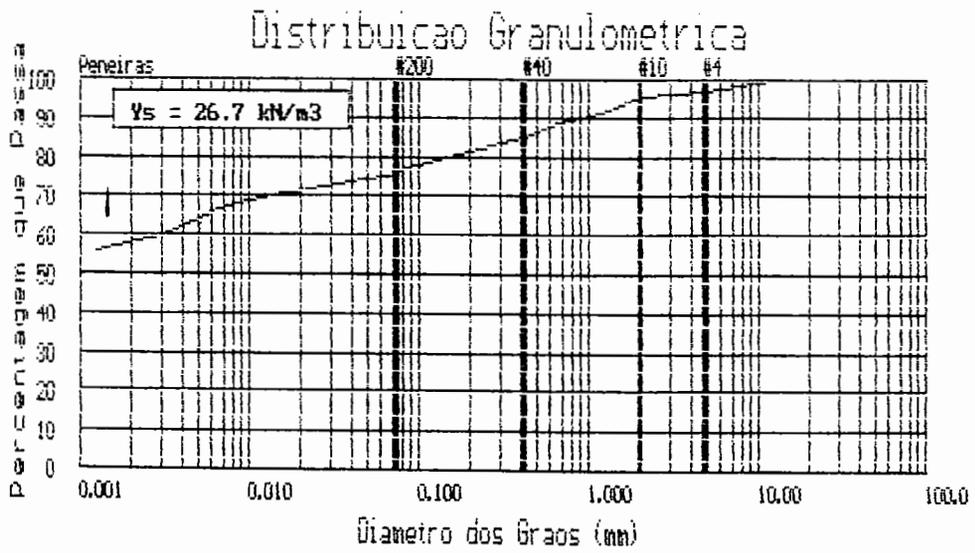
Amostra 01



Amostra 02

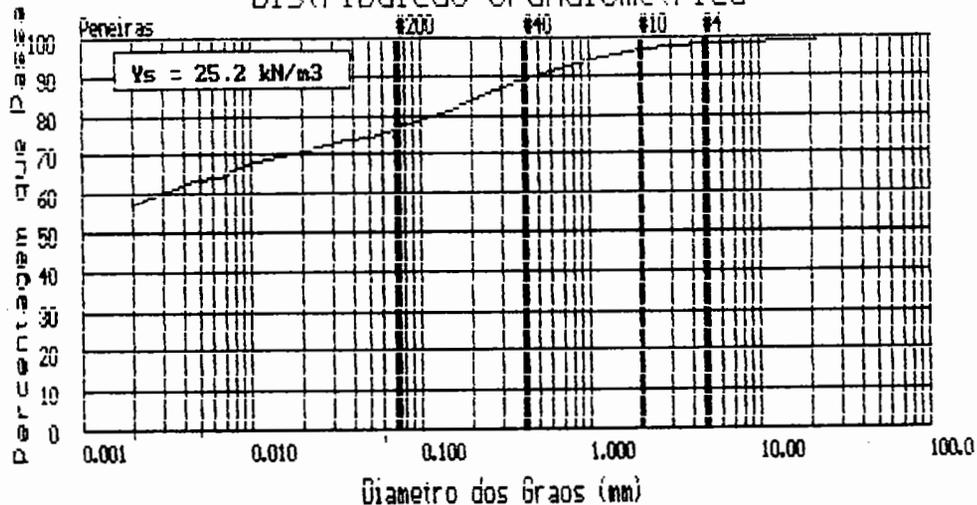


Amostra 03



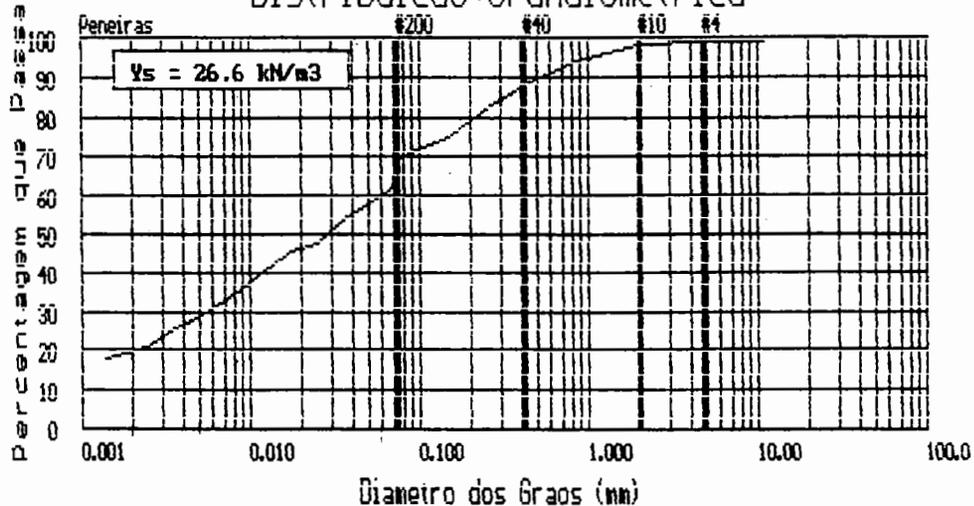
Amostra 04

Distribuição Granulométrica

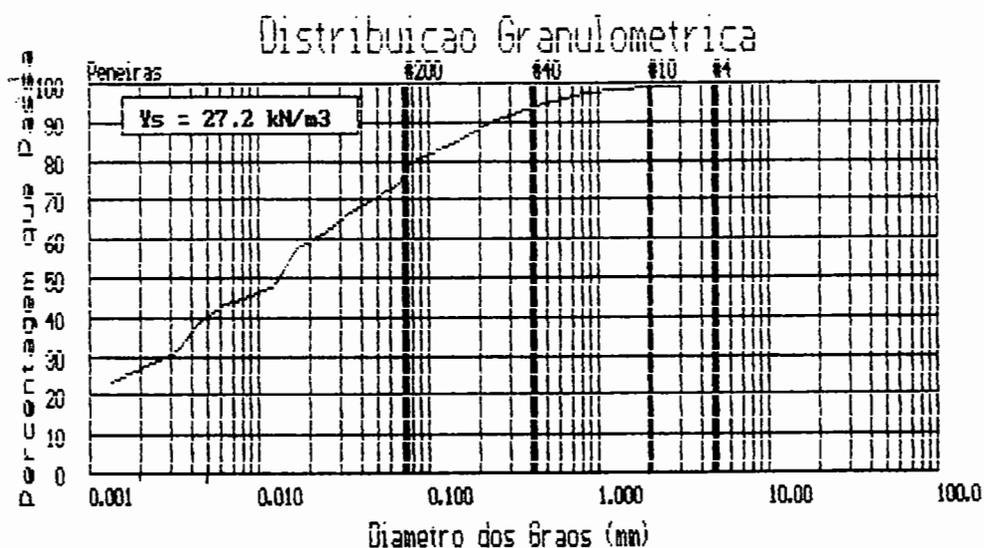


Amostra 05

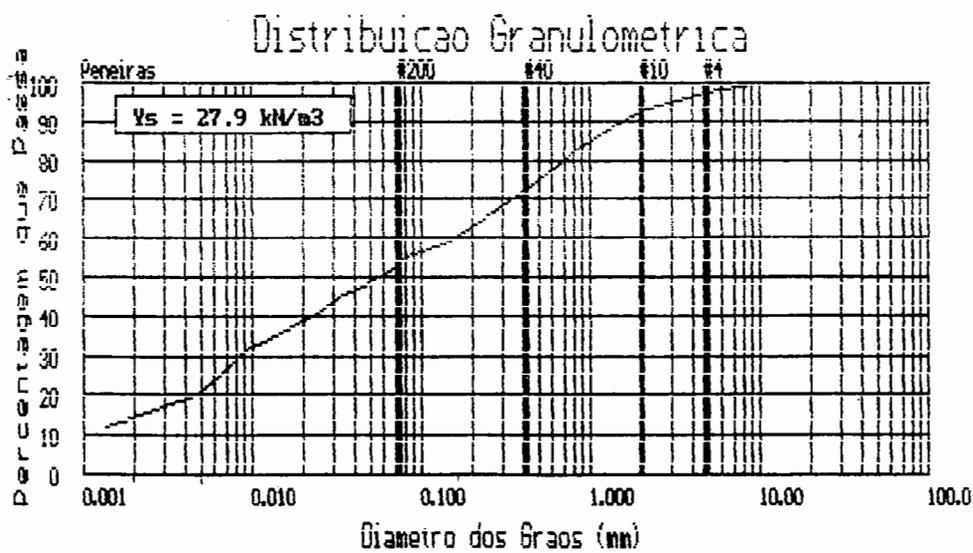
Distribuição Granulométrica



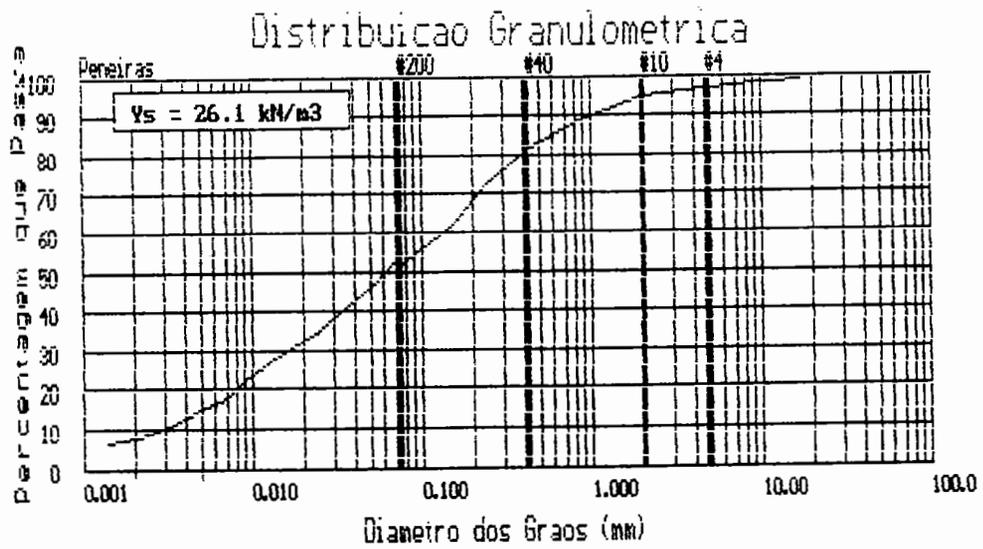
Amostra 06



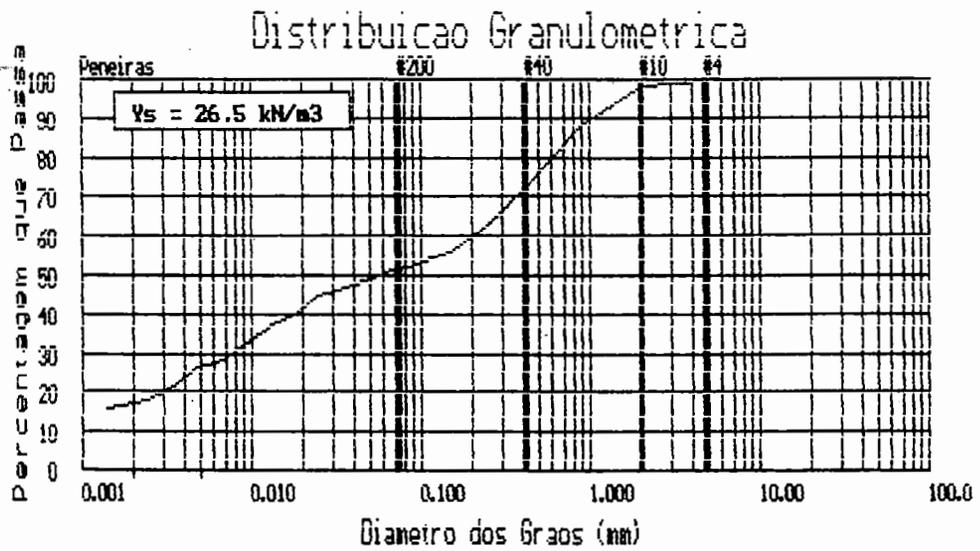
Amostra 07



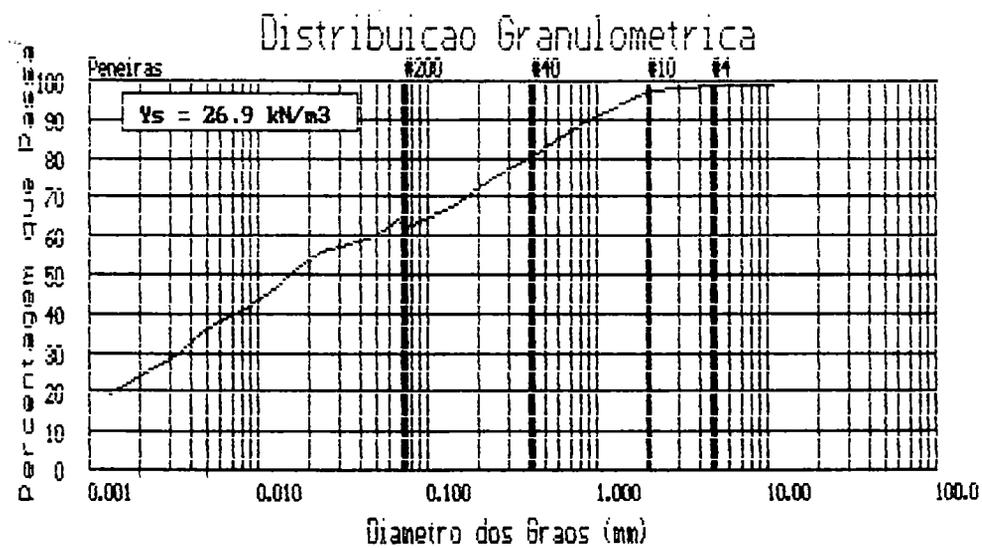
Amostra 08



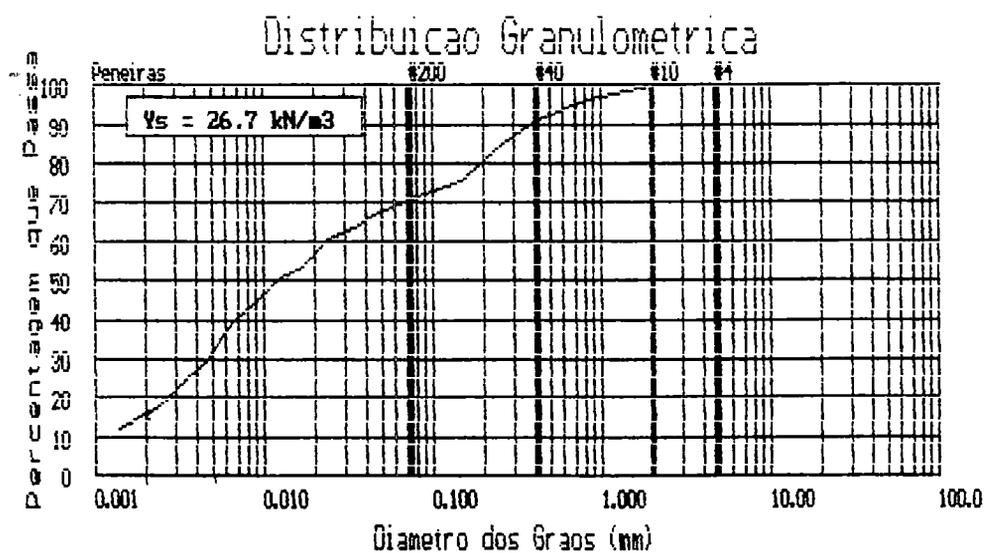
Amostra 09



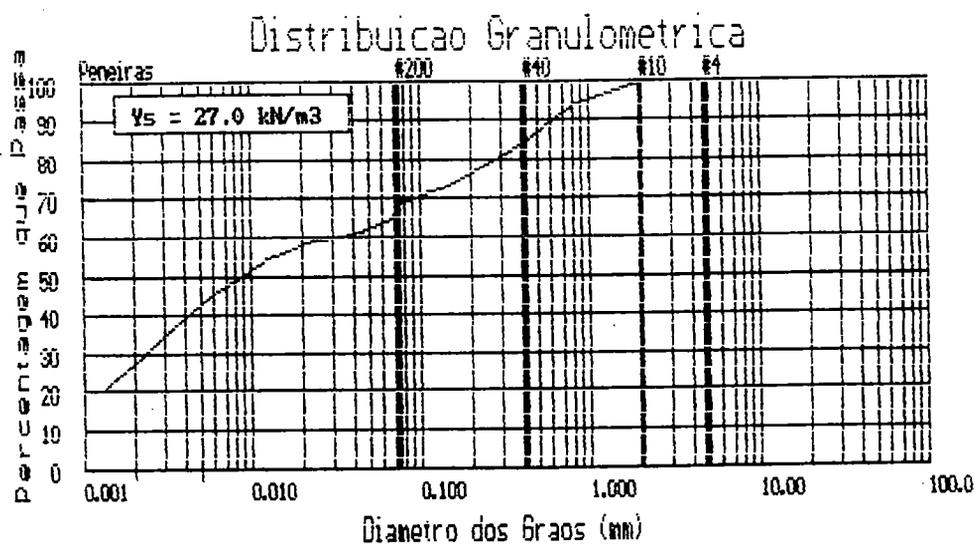
Amostra 10



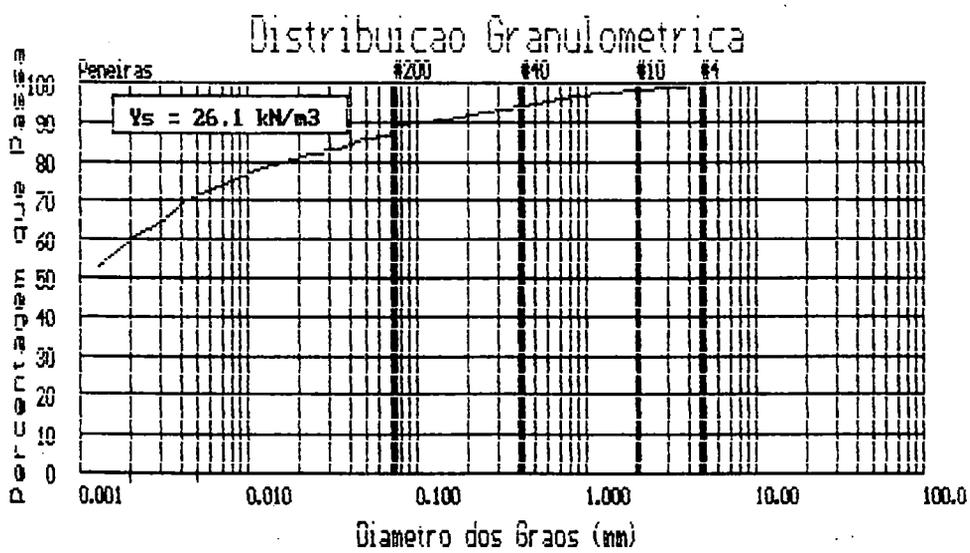
Amostra 11



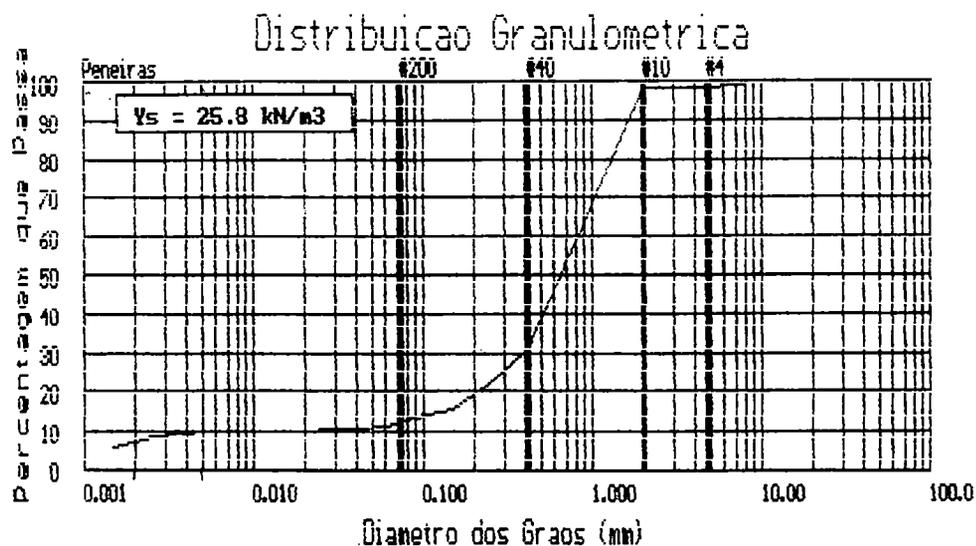
Amostra 12



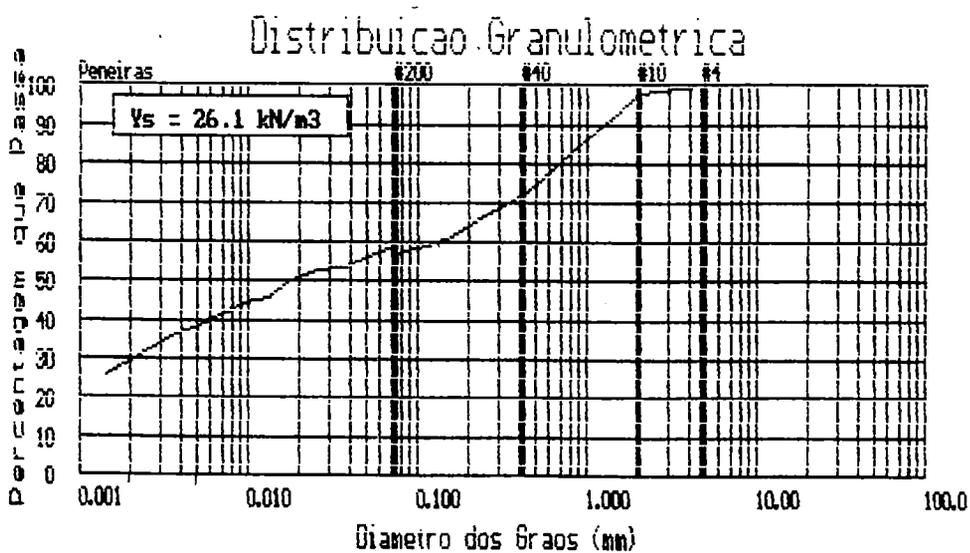
Amostra 13



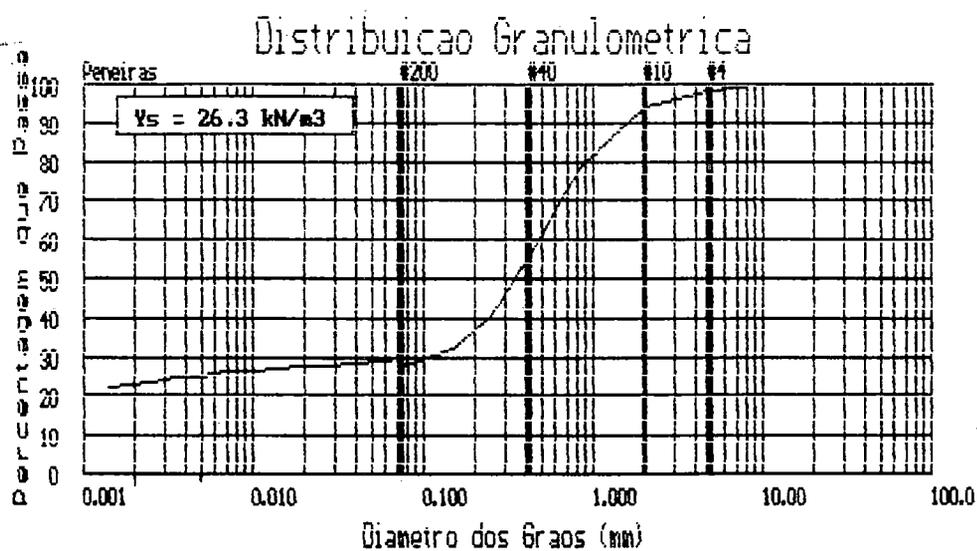
Amostra 14



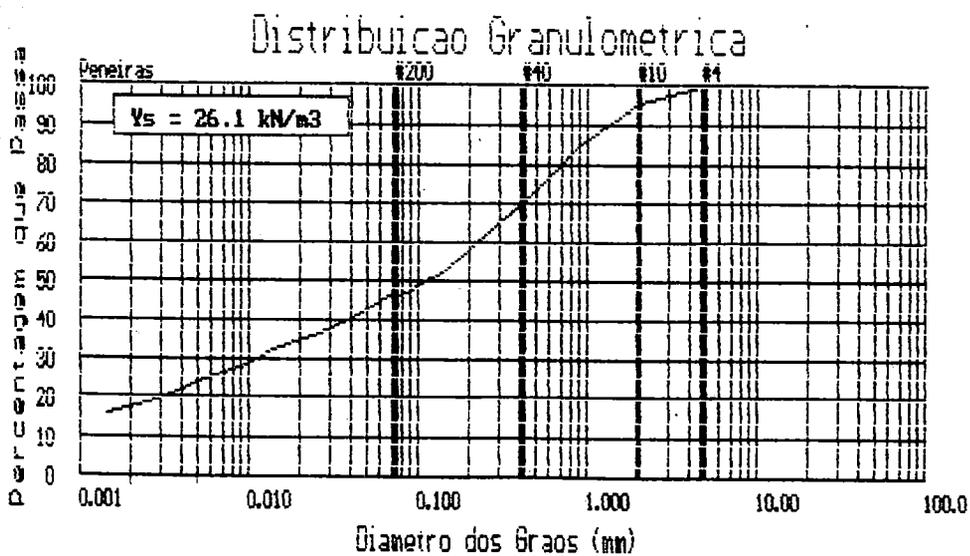
Amostra 15



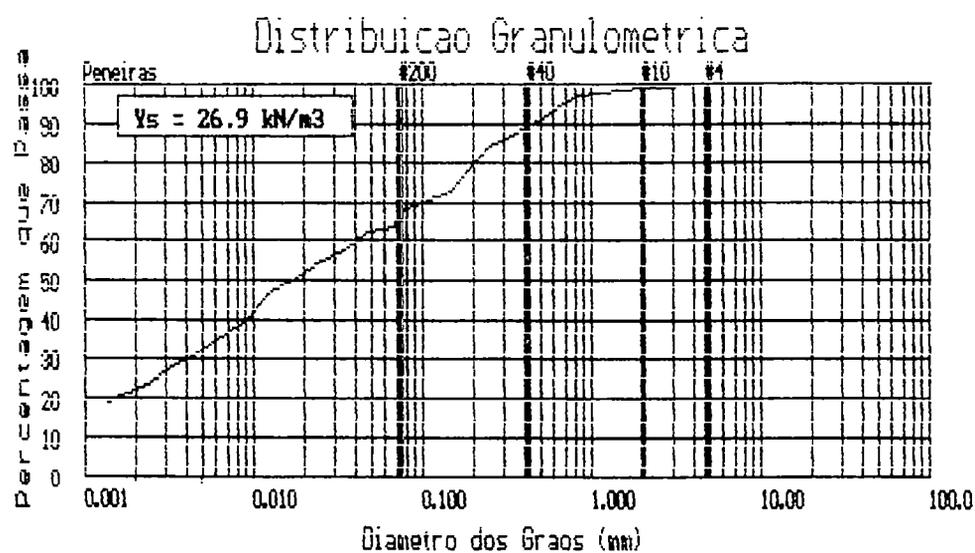
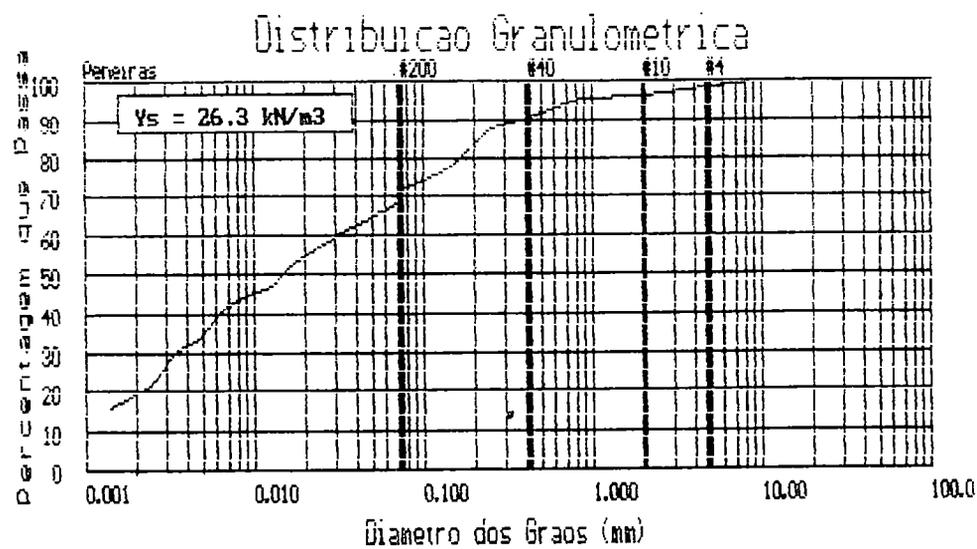
Amostra 16

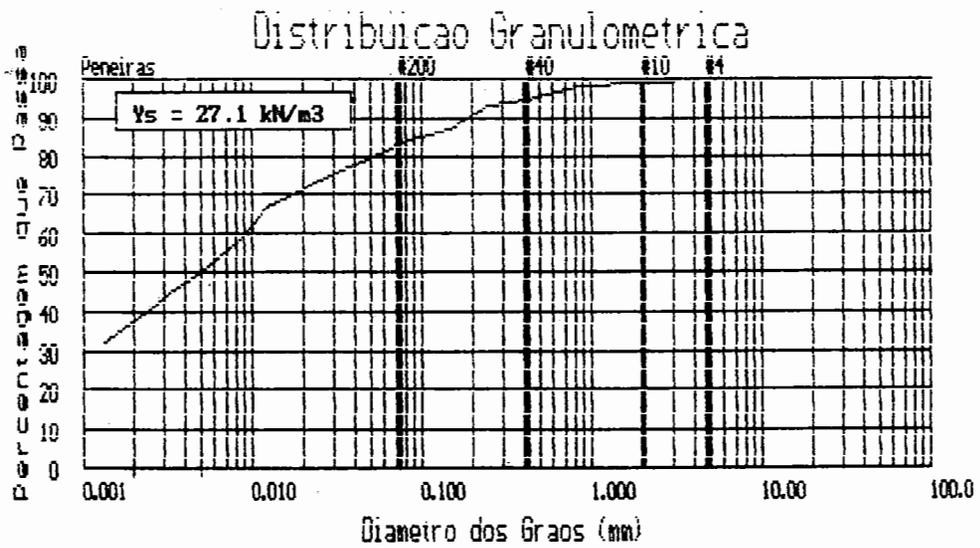


Amostra 17

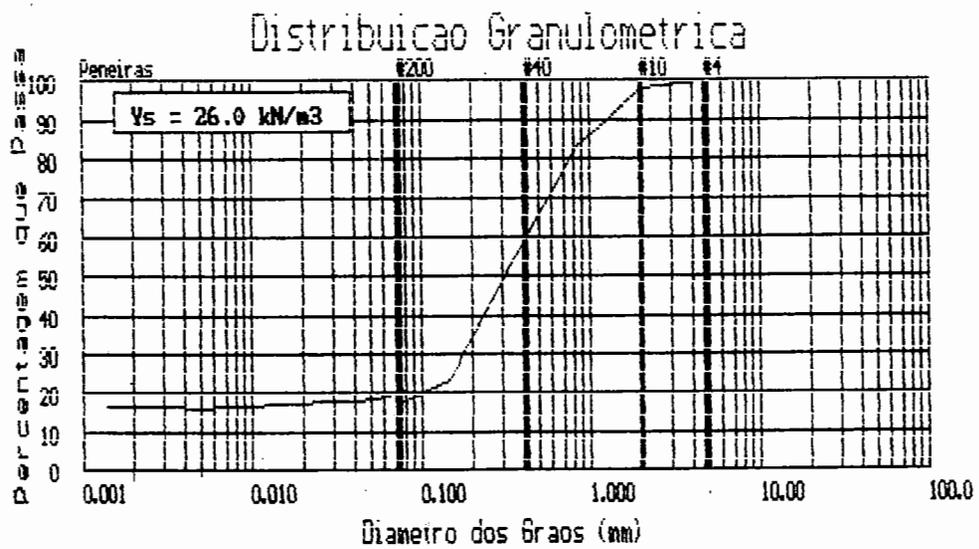


Amostra 18

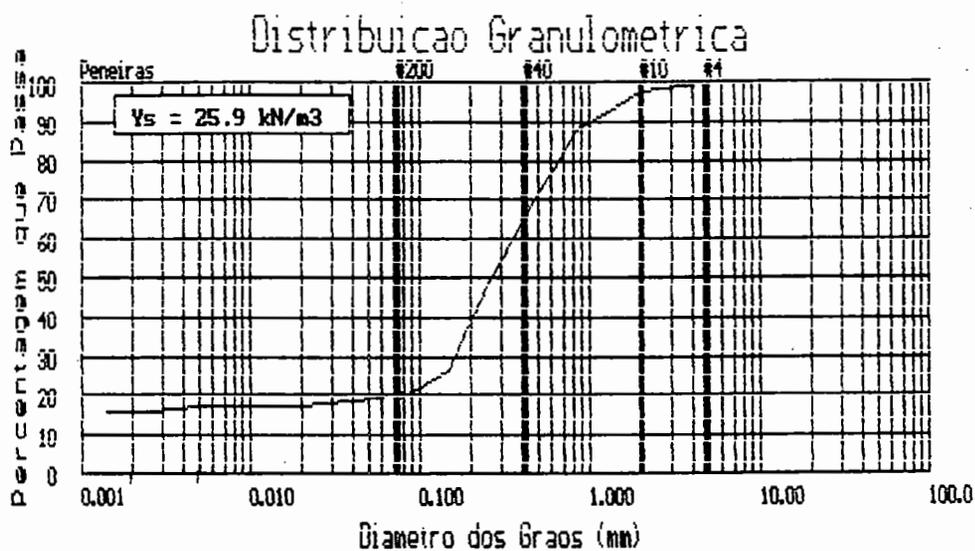




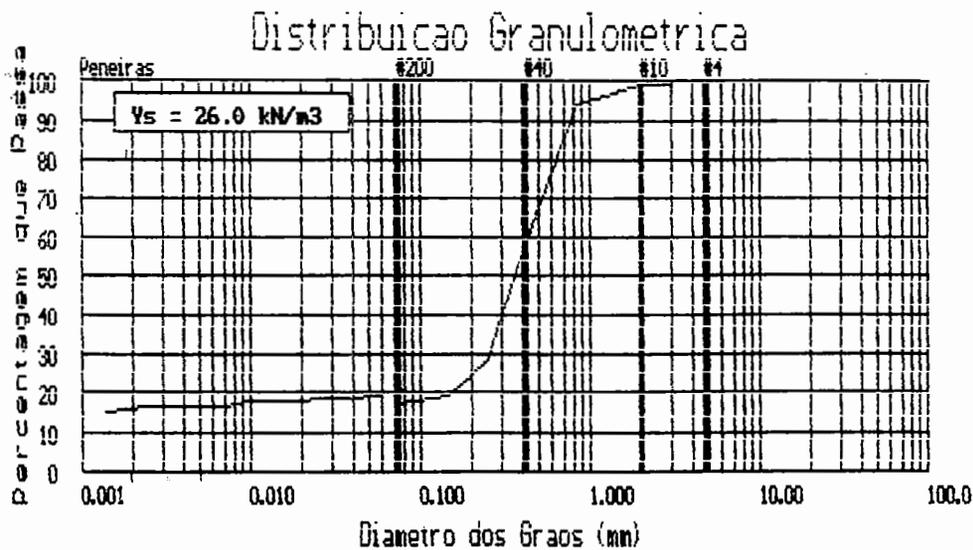
Amostra 21



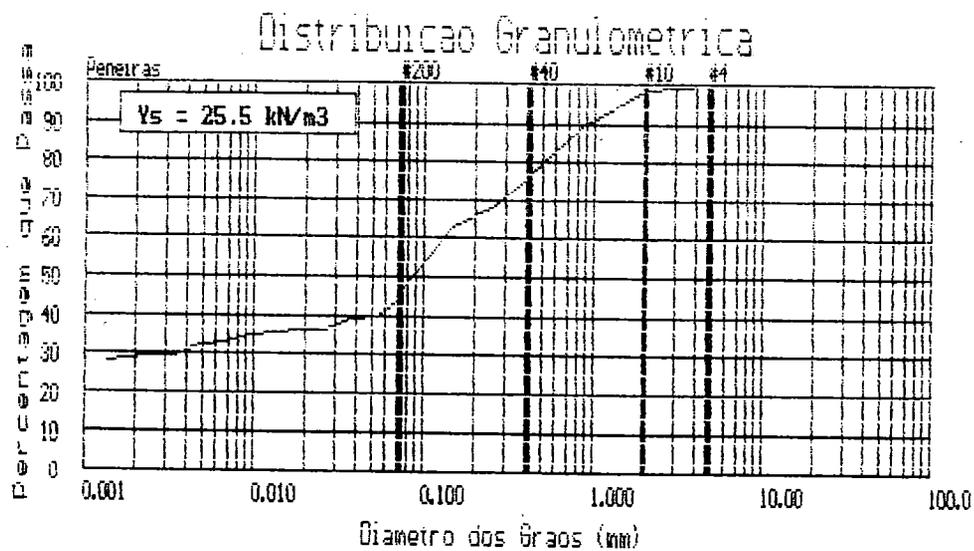
Amostra 22



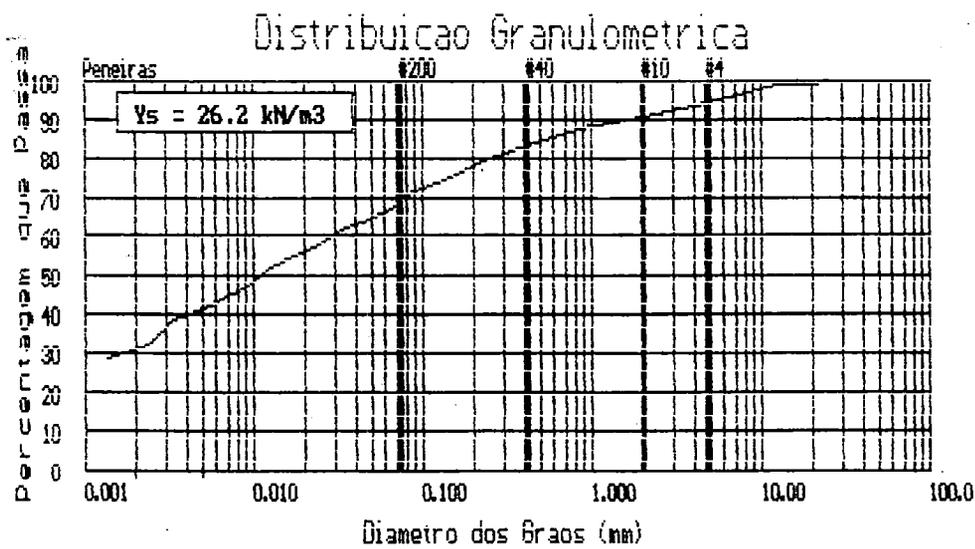
Amostra 23



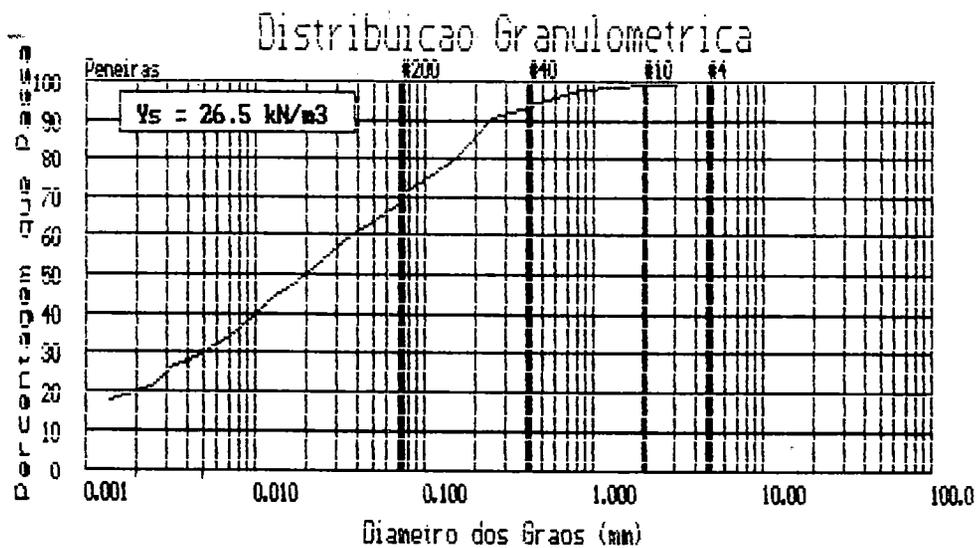
Amostra 24



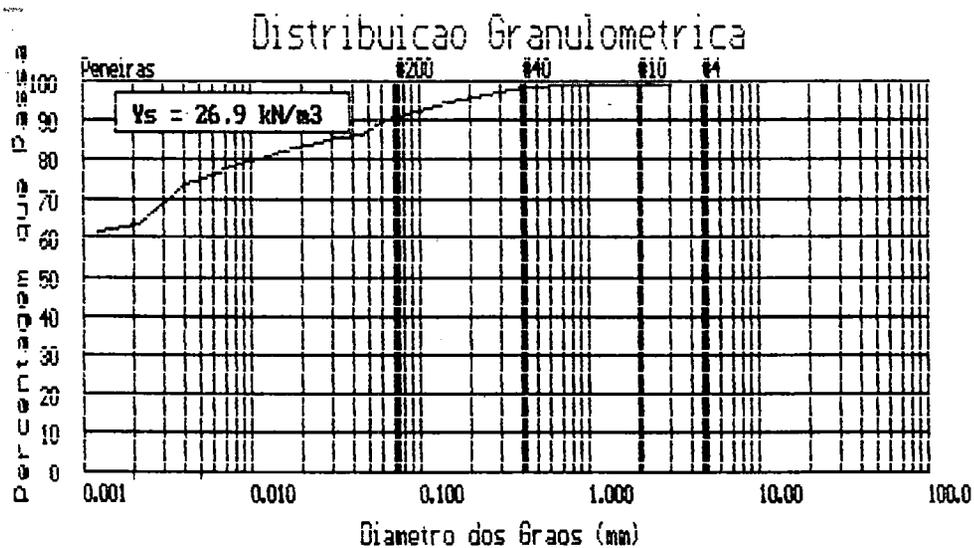
Amostra 25



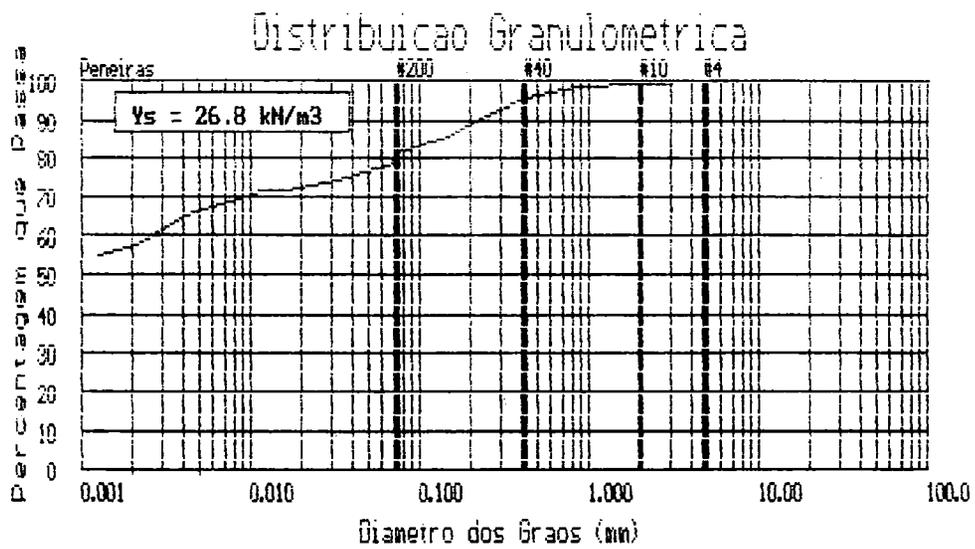
Amostra 26



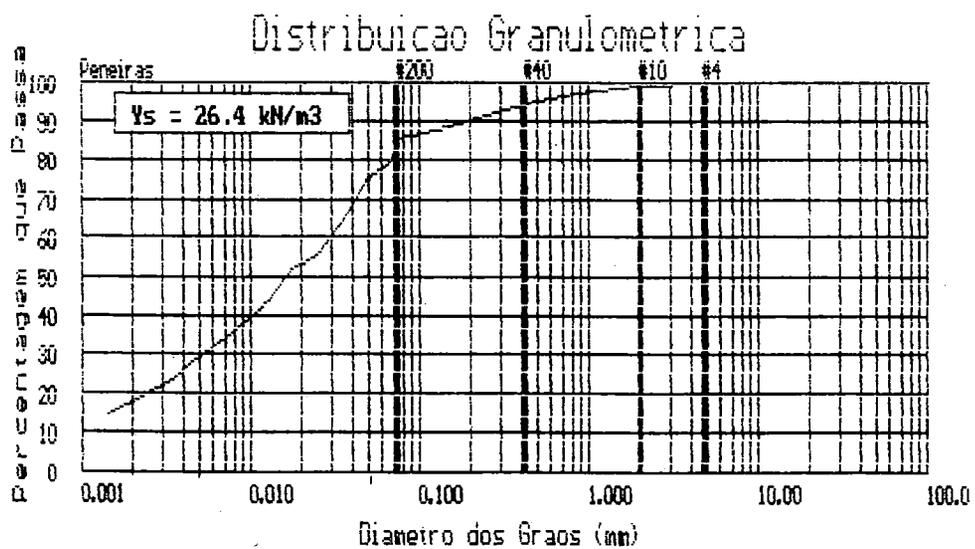
Amostra 27



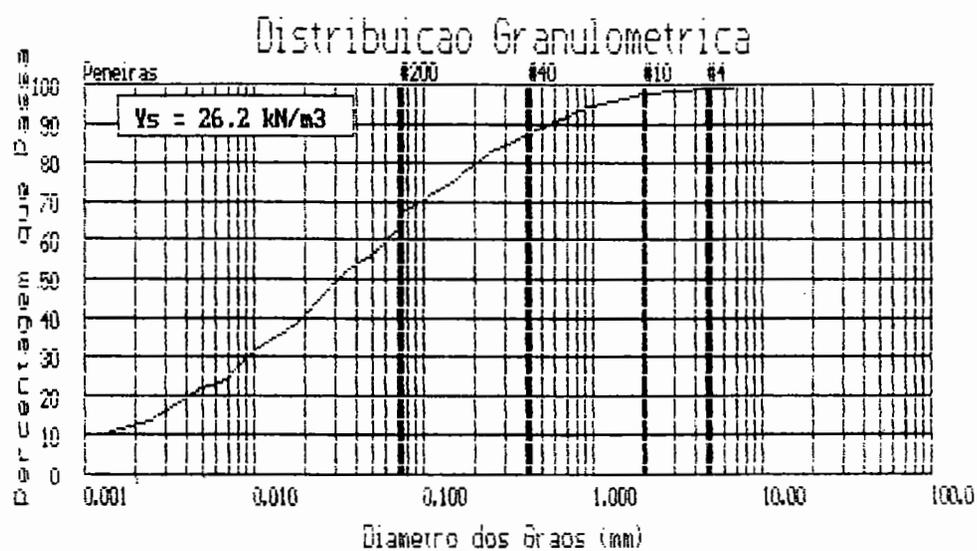
Amostra 28



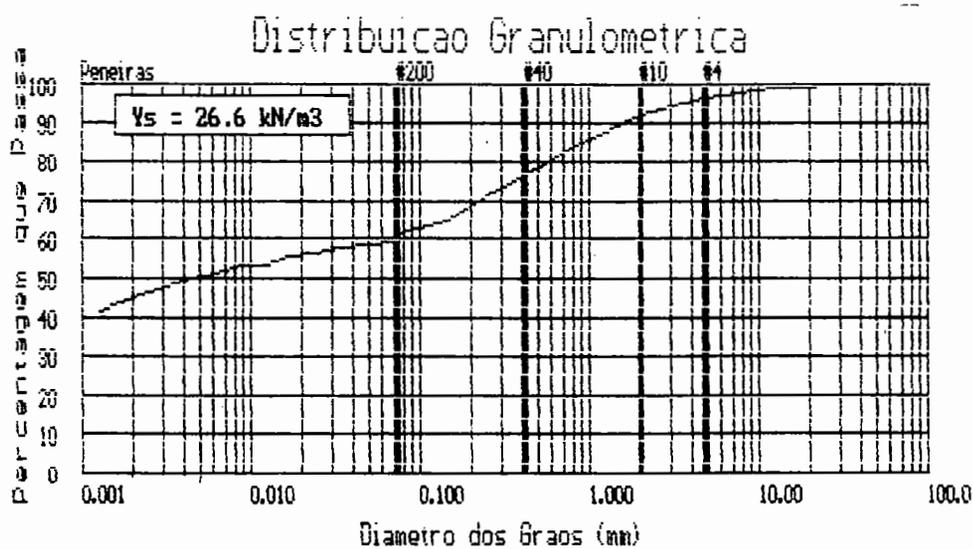
Amostra 29



Amostra 30



Amostra 31



Amostra 32

Azul de Metileno (5 µm)

Método de FABBRI (1994)

Amostra	M úmida (g)	w (%)	M seca (g)	P 200 %	% < 5 µm	V (ml)	Va (10 ³ g/g)	CA (10 ³ g/g %)	SE (m ² /g) # 200	SE (m ² /g) argila	CTC (meq/100 g) #200	CTC (meq/100 g) argila
1	1,00	5,63	0,947	61	41	15	9,665	23,574	38,76	94,53	4,94	12,06
2	1,00	3,81	0,963	61	42	13	8,232	19,600	33,01	78,59	4,21	10,03
3	1,00	4,72	0,955	53	37	12	6,660	18,001	30,74	83,07	3,92	10,60
4	1,00	21,97	0,820	77	64	8	7,513	11,740	23,87	37,29	3,04	4,76
5	1,00	8,21	0,924	77	64	15	12,498	19,529	39,70	62,03	5,06	7,91
6	1,00	6,73	0,937	70	29	17	12,701	43,796	44,38	153,04	5,66	19,52
7	1,00	8,18	0,924	80	41	18	15,578	37,995	47,63	116,17	6,08	14,82
8	1,00	12,61	0,888	54	21	34	20,675	98,453	93,65	445,96	11,95	56,88
9	1,00	8,50	0,922	52	15	19	10,720	71,465	50,42	336,16	6,43	42,88
10	1,00	4,78	0,954	52	26	13	7,083	27,243	33,32	128,15	4,25	16,35
11	1,00	6,01	0,943	63	36	16	10,686	29,683	41,49	115,24	5,29	14,70
12	1,00	6,56	0,938	71	32	30	22,697	70,929	78,19	244,36	9,97	31,17
13	1,00	4,71	0,955	69	43	16	11,560	26,884	40,98	95,30	5,23	12,16
14	1,00	4,95	0,953	89	71	19	17,747	24,996	48,77	68,70	6,22	8,76
15	1,00	1,50	0,985	13	10	12	1,583	15,834	29,79	297,92	3,80	38,00
16	1,00	6,09	0,943	58	38	11	6,769	17,812	28,54	75,12	3,64	9,58
17	1,00	8,21	0,924	27	25	11	3,214	12,855	29,11	116,46	3,71	14,86
18	1,00	6,71	0,937	47	24	16	8,025	33,436	41,76	174,01	5,33	22,20
19	1,00	8,90	0,918	71	35	22	17,010	48,601	58,60	167,43	7,47	21,36
20	1,00	8,00	0,926	68	32	24	17,626	55,080	63,40	198,13	8,09	25,27
21	1,00	2,99	0,971	84	50	19	16,437	32,874	47,86	95,73	6,11	12,21
22	1,00	2,92	0,972	18	16	6	1,112	6,947	15,10	94,40	1,93	12,04
23	1,00	9,49	0,913	18	17	6	1,182	6,956	16,07	94,52	2,05	12,06
24	1,00	8,93	0,918	17	16	12	2,222	13,889	31,97	199,83	4,08	25,49
25	1,00	6,67	0,937	46	32	11	5,398	16,867	28,70	89,69	3,66	11,44
26	1,00	5,19	0,951	70	41	20	14,727	35,919	51,46	125,51	6,56	16,01
27	1,00	4,74	0,955	71	30	25	18,591	61,971	64,05	213,50	8,17	27,23
28	1,00	15,24	0,868	91	75	94	98,576	131,435	264,96	353,29	33,80	45,06
29	1,00	14,41	0,874	81	66	82	75,991	115,138	229,47	347,69	29,27	44,35
30	1,00	9,86	0,910	85	29	18	16,809	57,961	48,37	166,79	6,17	21,27
31	1,00	12,90	0,886	68	22	21	16,122	73,282	57,99	263,60	7,40	33,62
32	1,00	12,09	0,892	61	50	6	4,102	8,205	16,45	32,90	2,10	4,20

Azul de Metileno (2 µm)

Amostra	M úmida (g)	w (%)	M seca (g)	P 200 %	% < 2 µm	V (ml)	Va (10 ⁻³ g/g)	CA (10 ⁻³ g/g %)	SE (m ² /g) #200	SE (m ² /g) argilla	CTC (meq/100 g) #200	CTC (meq/100 g) argilla
1	1,00	5,63	0,947	61	33	15	9,665	29,288	38,76	117,44	4,94	14,98
2	1,00	3,81	0,963	61	34	13	8,232	24,212	33,01	97,09	4,21	12,38
3	1,00	4,72	0,955	53	31	12	6,660	21,484	30,74	99,15	3,92	12,65
4	1,00	21,97	0,820	77	58	8	7,513	12,954	23,87	41,15	3,04	5,25
5	1,00	8,21	0,924	77	57	15	12,498	21,927	39,70	69,65	5,06	8,88
6	1,00	6,73	0,937	70	20	17	12,701	63,504	44,38	221,90	5,66	28,30
7	1,00	8,18	0,924	80	27	18	15,578	57,696	47,63	176,41	6,08	22,50
8	1,00	12,61	0,888	54	15	34	20,675	137,835	93,65	624,34	11,95	79,64
9	1,00	8,50	0,922	52	8	19	10,720	133,998	50,42	630,30	6,43	80,40
10	1,00	4,78	0,954	52	17	13	7,083	41,665	33,32	195,99	4,25	25,00
11	1,00	6,01	0,943	63	24	16	10,686	44,524	41,49	172,87	5,29	22,05
12	1,00	6,56	0,938	71	16	30	22,697	141,858	78,19	488,71	9,97	62,34
13	1,00	4,71	0,955	69	28	16	11,560	41,286	40,98	146,35	5,23	18,67
14	1,00	4,95	0,953	89	60	19	17,747	29,578	48,77	81,29	6,22	10,37
15	1,00	1,50	0,985	13	7	12	1,583	22,620	29,79	425,60	3,80	54,29
16	1,00	6,09	0,943	58	29	11	6,769	23,340	28,54	98,43	3,64	12,56
17	1,00	8,21	0,924	27	23	11	3,214	13,973	29,11	126,59	3,71	16,15
18	1,00	6,71	0,937	47	17	16	8,025	47,203	41,76	245,66	5,33	31,34
19	1,00	8,90	0,918	71	20	22	17,010	85,051	58,60	293,01	7,47	37,37
20	1,00	8,00	0,926	68	22	24	17,626	80,116	63,40	288,18	8,09	36,76
21	1,00	2,99	0,971	84	38	19	16,437	43,256	47,86	125,96	6,11	16,07
22	1,00	2,92	0,972	18	16	6	1,112	6,947	15,10	94,40	1,93	12,04
23	1,00	9,49	0,913	18	16	6	1,182	7,391	16,07	100,43	2,05	12,81
24	1,00	8,93	0,918	17	16	12	2,222	13,889	31,97	199,83	4,08	25,49
25	1,00	6,67	0,937	46	29	11	5,398	18,612	28,70	98,97	3,66	12,62
26	1,00	5,19	0,951	70	31	20	14,727	47,505	51,46	166,00	6,56	21,17
27	1,00	4,74	0,955	71	20	25	18,591	92,957	64,05	320,24	8,17	40,85
28	1,00	15,24	0,868	91	64	94	98,576	154,025	264,96	414,01	33,80	52,81
29	1,00	14,41	0,874	81	57	82	75,991	133,318	229,47	402,59	29,27	51,35
30	1,00	9,86	0,910	85	18	18	16,809	93,381	48,37	268,72	6,17	34,28
31	1,00	12,90	0,886	68	13	21	16,122	124,016	57,99	446,09	7,40	56,90
32	1,00	12,09	0,892	61	45	6	4,102	9,117	16,45	36,56	2,10	4,66

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

ANTUNES, F. S. (1989).

O Uso da Pedologia na Engenharia. In: II COLÓQUIO DE SOLOS TROPICAIS E SUBTROPICAIS E SUAS APLICAÇÕES EM ENGENHARIA CIVIL, Porto Alegre, v. 1, p. 25 - 33.

BARATA, F. E. (1981).

Algumas Considerações Críticas Sobre Lateritas e Materiais Lateríticos. Necessidade de Terminologia Adequada. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS TROPICAIS EM ENGENHARIA, Rio de Janeiro, v. 1, p. 308 - 323.

BARROSO, S. H. A. & FABBRI, G. T.P. (1996a).

Algumas Considerações sobre a Classificação MCT e seus Índices. In: 30ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, Salvador, v. 2, p. 495 - 503.

BARROSO, S. H. A. & FABBRI, G. T.P. (1996b).

Utilização do Ensaio de Adsorção de Azul de Metileno para a Previsão de Algumas Propriedades Tecnológicas dos Solos In: 30ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, Salvador, v. 2, p. 473 - 493.

BEAULIEU, J. (1979).

Identification géotechnique de matériaux argileux naturels par la mesure de leur surface au mureu du blue de méthylène. Thèse de doctorat de 3º cycle, Univ. de Paris-Sud, Orsay, 133 p.

BOGOSSIAN, F.; LIMAS, S. A. (1974).

Sobre os Limites de Consistência das Argilas Orgânicas. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS, São Paulo, v. 2, p. 293 - 299.

BRADY, N. C. (1989).

Natureza e Propriedades dos Solos. Sétima Edição - Livraria Freitas Bastos, 878 p.

CAMARGO, O. A. ; MONIZ, A. C. ; JORGE, J. A. ; VALADARES, J. M. S. (1989).

Métodos de Análises Químicas, Mineralógicas e Físicas dos Solos. Instituto Agrônomo de Campinas - Boletim Técnico Nº 106, 94 p.

CARVALHO, J. B. Q. (1981).

Um Método Simples Para Quantificar os Componentes da Fração Tamanho Argila de Solos Lateríticos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS TROPICAIS EM ENGENHARIA, Rio de Janeiro, v. 1, p. 179 - 186.

CARVALHO, J. B. Q. ; LUCENA, F. B. ; COSTA, C. R. V. ; DINIZ, A. A. ; LIMA, R. C. (1986).

Estudo de Solos Lateríticos: Definição e Classificação. In: 21ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, Salvador, v. 1, p. 176 - 194.

CASANOVA, F. J. (1986).

O Ensaio do Azul de Metileno na Caracterização de Solos Lateríticos. In: 21ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, Salvador, v. 2, p. 276 - 283.

CASTRO, F. J. C. O. (1989).

Solo, Sociedade e Trópicos. In: II COLÓQUIO DE SOLOS TROPICAIS E SUB TROPICAIS E SUAS APLICAÇÕES EM ENGENHARIA CIVIL, Porto Alegre, v. 1, p. 34 - 42.

CHEN, T. J. ; SANTOS, P. S. ; FERREIRA, H. C. ; CALIL, S. F. ZANDONADI, A. R. ; CAMPOS, L. V. (1974).

Determinação da capacidade de troca de cátions e da área específica de algumas argilas e caulins cerâmicos brasileiros pelo azul de metileno e sua correlação com algumas propriedades tecnológicas. *Cerâmica*, 79, julho a setembro, p. 305 - 326.

COSTA, A. C. (1988).

Estudos Tecnológicos de Pavimentos de Baixo Custos na Bahia. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da USP, São Paulo.

COSTA FILHO, L. M. ; SIMÕES, P. R. M. (1981).

Características Mineralógicas, Químicas e Geotécnicas de Solos Expansivos do Recôncavo Baiano. Artigo Técnico, PUC - RJ. p. 569 - 588.

COZZOLINO, V. M. ; NOGAMI, J. S. (1993).

Classificação Geotécnica MCT para Solos Tropicais. In: *Solos e Rochas*, ABMS -ABGE, v. 16, n. 2, p. 77 - 91.

DIAS, R. D. (1989).

Geomecânica dos Solos Lateríticos do Sul do Brasil. In: II COLÓQUIO DE SOLOS TROPICAIS E SUBTROPICAIS E SUAS APLICAÇÕES EM ENGENHARIA, Porto Alegre, v. 1, p. 96 - 120.

FABBRI, G. T. P. (1994).

Caracterização da Fração Fina de Solos Tropicais Através da Adsorção de Azul de Metileno. Tese de Doutorado. EESC/USP.

FABBRI, G. T. P. ; SÓRIA, M. H. A. (1991).

Aplicação do Ensaio de Azul de Metileno à Classificação de Solos - Uma Primeira Aproximação. In: 25ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, São Paulo, v. , p. 381 -399.

FABBRI, G. T. P. ; SÓRIA, M. H. A. (1994a).

Caracterização da Fração Fina de Solos Tropicais Através da Adsorção de Azul de Metileno. In: 28ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, Belo Horizonte, v. 1. p. 157 - 183.

FABBRI, G. T. P. ; SÓRIA, M. H. A. (1994b).

O Azul de Metileno na Caracterização de Solos Tropicais. In: X CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, v. 4, p. 1309 - 1316.

FABBRI, G. T. P. ; SÓRIA, M. H. A. (1995).

A Atividade dos Solos Tropicais. In: IX ANPET - CONGRESSO DE PESQUISAS E ENSINO EM TRANSPORTES, v. 1, p. 162 - 172.

FORTES, R. M. (1990).

Método Expedito de Identificação MCT de Solos Tropicais, para Finalidades Rodoviárias, Utilizando-se de Anéis de PVC Rígido. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da USP, São Paulo.

FORTES, R. M. ; NOGAMI, J. S. (1991).

Método Expedito de Identificação do Grupo MCT de Solos Tropicais Utilizando-se de Anéis de PVC Rígido. In: 25^a REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, São Paulo, v. 1, p. 591 - 604.

GOBARA, W. ; AUGUSTO JÚNIOR, F. ; BARROS, J. M. C. (1986).

Os Ensaios de Caracterização - 9 Anos de Programa Interlaboratorial. In: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, Porto Alegre, v. 1, p. 21 - 32.

GODOY, H. (1997).

Identificação e Classificação Geotécnica de Latossolos do Estado de São Paulo pelo Método das Pastilhas MCT. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências/USP.

GODOY, H. ; NOGAMI, J. S.; CARVALHO, A. C. (1994).

Procedimentos para Caracterização Geotécnica de Perfis em Solos de Granitos e Gnaisses, para Obras Viárias. In: *Solos e Rochas*, ABMS - ABGE, v.17, n. 1, p. 31 - 44.

HAWKINS, A. B. (1990).

The Quarterly Journal of Engineering Geology. Geological Society Engineering Group Working Party Report: Tropical Residual Soils, v. 23, nº1.

HEAD, K. H. (1992).

Manual of soil laboratory testing. v. 1; soil classification and compaction tests. 2. Ed. London, Pentech, 1992.

IGNATIUS, S. G. (1988).

Uso dos Limites de Atterberg e da Análise Granulométrica na Identificação e Classificação de Solos Tropicais para Fins de Engenharia Civil. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da USP, São Paulo.

IGNATIUS, S. G. (1990).

Limites de Atterberg, Granulometria e Classificação MCT de Solos Tropicais. In: 6º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA e IX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE DE FUNDAÇÕES, Salvador, v. 2, p. 271 - 280.

IGNATIUS, S. G. (1991).

Solos Tropicais: Proposta de Índice Classificatório. In: *Solos e Rochas*, ABMS - ABGE, v. 14, n. 2, p. 89 - 93.

KLAMT, E. (1989).

Relevância da Pedologia na Avaliação do Comportamento de Solos. In: II COLÓQUIO DE SOLOS TROPICAIS E SUBTROPICAIS E SUAS APLICAÇÕES EM ENGENHARIA, Porto Alegre, v. 1, p. 13 - 24.

**LABORATOIRES DES PONTS ET CHAUSSÉES, MINISTÈRE DE
ENVIRONNEMENT ET DU CADRE DE VIE (1979).**

L'Essai au Bleu de Méthylène - Avant Projet de Mode Opérateur. França.

LAN, T. N. (1977).

Un Nouvel Essai d'Identification des Sols - L'Essai au Bleu de Méthylène.
Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées. N° 88. França.

LAN, T. N. (1980).

L'Essai au Bleu de Méthylène - Un Progrès dans la Mesure et le Contrôle de la
Propreté des Granulats. *Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et
Chaussées.* N° 107. França.

LAUTRIN, D. (1987).

Une Procédure Rapide d'Identification des Argiles. *Bulletin de Liaison des
Laboratoires des Ponts et Chaussées.* N° 152. França.

LAUTRIN, D. (1989).

Utilisation Pratique des Paramètres Dérivés de L'Essai au Bleu de Méthylène
Dans Les Projets de Génie Civil. *Bulletin de Liaison des Laboratoires des
Ponts et Chaussées.* N° 160. França.

LEPSCH, I. F. (1976).

Solos. Formação e Conservação. Série Prisma, Brasil. Ed. Melhoramentos. 160
p.

LUCENA, F. B. (1990).

Definição, Origem e Formação dos Solos Lateríticos. In: 24ª REUNIÃO ANUAL
DE PAVIMENTAÇÃO, Belém, v. 1, p. 384 - 401.

MAGNAN, J. P. ; YOUSSEFIAN, G. (1989).

Essai au Bleu de Méthylène et Classification Géotechnique des Sols. *Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*. N^o 159. França.

MEDINA, J. (1989).

A Importância do Estudo de Solos Tropicais na Engenharia. In: II COLÓQUIO DE SOLOS TROPICAIS E SUBTROPICAIS E SUAS APLICAÇÕES EM ENGENHARIA CIVIL, Porto Alegre, v. 1. p. 1 - 12.

MELFI, A. J. (1994).

Lateritas e Processos de Laterização. São Carlos, EESC - USP. 29 p.

MELLO, V. F. B. (1994).

Apreciações Sobre a Engenharia de Solos à Solos Residuais. Tradução n^o 9 ABGE. Publicação Original na 3^a CONFERÊNCIA SUL ASIÁTICA DE ENGENHARIA DE SOLOS, Hong Kong, 1972. 60 p.

MITCHELL, J K. (1993).

Fundamentals of Soil Behavior. Segunda Edição, University of California, Berkeley, 437 p.

MITCHELL, G. ; POOLE, P. ; SEGROVE, H. D. (1955).

Adsorption of Méthylène Blue by High-Silica Sands. *Nature*. N. 26.

MITCHELL, J. K. ; SITAR, N. (1982).

Engineering Properties of Tropical Residual Soils. Proceedings of the ASCE Geotechnical Engineering. Division Specialty Conference. Engineering and Construction in Tropical and Residual Soils, Hawai, Jan., p. 30 - 57.

MONIZ, A. (1972).

Elementos de Pedologia. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo. 458 p.

MORI, R. T. (1983).

Propriedades de Engenharia de Solos Saprolíticos. In: SIMPÓSIO SOBRE A GEOTECNIA DA BACIA DO ALTO PARANÁ. ABMS / ABGE / CBMR, v. 1 A, p. 125 - 139.

NASCIMENTO, U. (1974).

Mecânica dos Solos. Conceitos Fundamentais 1. In: Serviço de Geotecnia, Curso 110, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal, v. 1, p. 15 - 24.

NOGAMI, J. S. (1985).

Aspectos Gerais de Solos Tropicais e Suas Aplicações em Estradas de Rodagem. In: COLÓQUIO SOLOS TROPICAIS E SUAS APLICAÇÕES EM ENGENHARIA CIVIL, Porto Alegre, v. 1, p. 1 - 15.

NOGAMI, J. S. (1989).

Ensaio MCT e Suas Aplicações em Pavimentação. In: II COLÓQUIO DE SOLOS TROPICAIS E SUBTROPICAIS E SUAS APLICAÇÕES EM ENGENHARIA CIVIL, Porto Alegre, v. 1, p. 59 - 72.

NOGAMI, J. S. ; COZZOLINO, V. M. N. (1985).

A Identificação de Solos Tropicais: Dificuldades e Propostas de Um Método Preliminar, 20ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, Fortaleza, v. 1, p. 113 - 134.

NOGAMI, J. S. ; VILLIBOR, D. F. (1979).

Soil characterization of mapping units for highway purposes in a tropical area. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 19, p. 196 - 199.

NOGAMI, J. S. ; VILLIBOR, D. F. (1980).

Caracterização e Classificação Gerais de Solos Para a Pavimentação: Limitações do Método Tradicional, Apresentação de uma Nova Sistemática. In: 15ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, Belo Horizonte.

NOGAMI, J. S. ; VILLIBOR, D. F. (1981).

Uma Nova Classificação de Solos Para Finalidades Rodoviárias. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS TROPICAIS EM ENGENHARIA, Rio de Janeiro, v. 1, p. 30 - 41.

NOGAMI, J. S. ; VILLIBOR, D. F. (1982).

Algumas Comparações Entre Uma Nova Classificação de Solos e as Tradicionais, Principalmente Para Finalidades Rodoviárias. In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, Olinda, Recife, v. V, p. 160 - 173.

NOGAMI, J. S. ; VILLIBOR, D. F. (1983).

Os Solos Tropicais Lateríticos e Saprolíticos e a Pavimentação. In: 18ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, Porto Alegre, v. 2, p. 463 - 484.

NOGAMI, J. S. ; VILLIBOR, D. F. (1994).

Identificação Expedida dos Grupos da Classificação MCT Para Solos Tropicais. In: X CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, Foz do Iguacú, v. 4, p. 1293 - 1300.

NOGAMI, J. S. ; VILLIBOR, D. F. (1995).

Pavimentação de Baixo Custo com Solos Lateríticos. Editora Villibor, São Paulo, 213 p.

NOGAMI, J. S. ; VILLIBOR, D. F. (1996).

Importância e Determinação do Grau Laterização em Geologia de Engenharia. In: 8º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, Rio de Janeiro, v. 1, p. 345 - 358.

NOGAMI, J. S. ; VILLIBOR, D. F. ; SÓRIA, M. H. A. ; FABBRI, G. T. P. (1993).

Pavimentação com Solos Lateríticos. In: Solos do Interior de São Paulo - ABMS / USP-EESC, p. 315 - 335.

NOGUEIRA, J. B. (1988).

Mecânica dos Solos, São Carlos, EESC - USP. 197 p.

NOGUEIRA JR., J. (1985).

Lateritas. *Boletim Técnico n. 1, Themag Engenharia*. 47 p.

PARSONS, A. W. (1976).

The Rapid Measurement of the Moisture Condition of Earthwork Material.
Transport and Road Research Laboratory, Report nº 750.

**PASTORE, E. L. ; IGNATIUS, S. G. ; SALOMÃO, F. X. T. ; CAMPOS, J. O. ;
BONGIOVANI, S. (1990).**

Correlação entre as Classificações Pedológicas e Geotécnicas de alguns Solos do Interior do Estado de São Paulo. In: 6º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA e IX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, Salvador, v. 2, p. 261 - 270.

PEJON, O. J. (1992).

Mapeamento Geotécnico Regional da Folha de Piracicaba (Esc.1 : 100.000):
Estudo de Aspectos Metodológicos, de Caracterização e de Apresentação de Atributos. Tese de Doutorado. EESC - USP, São Carlos.

PETRI, S. ; FÚLFARO, V. J. (1983).

Geoloia do Brasil. Editora da Universidade de São Paulo, 631 p.

PROJETO RADAMBRASIL (1981).

Levantamento de Recursos Naturais, Folha SD. - 24 Salvador, 624 p.

QUEIROZ, DE CARVALHO, J. B. (1984).

Efeito da Secagem na Plasticidade de Solos Lateríticos. In: 19ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, Rio de Janeiro, v. , p. 83 - 97.

RESENDE, M ; CURI, N. REZENDE, S. B. ; CORRÊA, G. F. (1995).

Pedologia: Base para distinção de ambientes. Viçosa-NEPUT, 304 p.

REICHARDT, K. (1987).

A Água em Sistemas Agrícolas. Editora Manole, São Paulo, 188 p.

RIBEIRO, L. P. (1991).

Alguns Aspectos dos Solos da Cidade do Salvador e Suas Relações com Processos de Degradação. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, 3 (5 e 6): p. 59-73.

SIMÕES, P. R. M. (1987).

Aspectos Relevantes Sobre a Implantação de Obras de Engenharia em Solos e Rochas Expansivas. Informe Técnico do CEPED - Ba, n. 026, Camaçari. 24 p.

SOBRAL, H. S. (1956).

Contribuição ao Estudo dos Massapês como Solos para Construção. Tese para Cátedra de Materiais de Construção. Universidade Federal da Bahia. Escola de Belas Artes, Salvador.

SÓRIA, M. H. A. (1985).

Reflexões Lógicas Sobre Classificação dos Solos. Tese de Doutorado. EESC - USP, São Carlos.

SÓRIA, M. H. A. ; FABBRI, G. T. P.(1980).

O Ensaio Mini-MCV: Um Ensaio de MCV, Moisture Condition Value, com Corpos de Prova de Dimensões Reduzidas. 15ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, Belo Horizonte, 1980.

SÓRIA, M. H. A. (1986).

Os Limites de Atterberg, o Argilo-Mineral e o Teor de Argila. In: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, Porto Alegre, v. , p. 161 - 171.

SOUZA, N. C. D. C. ; ZUQUETTE, L. V. (1991).

Mapeamento Geotécnico com Base em Perfis Típicos de Alteração para Caracterização de Unidades de Terreno. Atas - 2º SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE - SBG / SP-RJ, São Paulo. 345 - 352 p.

SOUZA, N. M. (1984).

Revestimento de Canais - Estado da Arte. Proposta de Estudos Específicos para Revestimentos de Solo Estabilizado com Cimento e/ou Cal. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba.

SKEMPTON, A. W. (1953).

The Colloidal Activity of Clays, In: International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 3, Proceedings, Zurich, Suíça, International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1:57-61.

VARGAS, M. (1977).

Introdução à Mecânica dos Solos, Ed. USP / Mc Graw - Hill, São Paulo. 509 p.

VARGAS, M. (1982).

O Uso dos Limites de Atterberg na Classificação dos Solos Tropicais. In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, Olinda, Recife, v. 5, p. 262 - 278.

VARGAS, M. (1985).

The Concept of Tropical Soils. In: FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMECHANICS IN TROPICAL LATERITIC AND SAPROLITIC SOILS, Brasília, v. 3, p.101 - 134.

VERTAMATTI, E. (1988).

Novas Considerações Geotécnicas Sobre Solos Tropicais Amazônicos de Textura Fina. In: 23ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, Florianópolis, v.1 , p. 533 - 564.

VERTAMATTI, E. (1990).

Novos Padrões Geotécnicos para o Tratamento de Solos Tropicais da Amazônia. In: 6º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA e IX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, Salvador, v. 2, p. 271 - 280.

VERTAMATTI, E. (1994).

O Emprego de Solos Transicionais em Obras Civas. In: X CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, Foz, do Iguaçu, v.4 , p. 1317 - 1323.

VERTAMATTI, E. ; ARAÚJO, F. A. R. (1990).

Critério para Previsão do Potencial Erosivo de Solos Tropicais. In: 24ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, Belém, v. 1, p. 327 - 348.

VERTAMATTI, E. ; OLIVEIRA, L. E.(1990).

Novas Considerações Sobre Solos Lateríticos de Formações Sedimentares, para Fins de Pavimentação. In: 24ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, Belém, v. 1, p. 350 - 370.

VILAR, O. M. ; PRANDI, E. C. (1993).

Erosão dos Solos. In: *Solos do Interior de São Paulo*, ABMS/Departamento de Geotecnia da EESC/USP, p. 177 - 206.

VILLIBOR, D. F. ; NOGAMI, J. S. (1982).

Novo Critério Para a Escolha de Solos Arenosos Finos para Bases de Pavimentos. In: 17ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, Brasília, v. 2, p. 103 - 127.

VILLIBOR, D. F. ; NOGAMI, J. S. ; FABBRI, G. T. P. (1986).

Proteção à Erosão em Pavimentos de Baixo Custo. In: 21ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, Salvador, v.II , p. 413 - 430.

YARDLEY, B. W. D. (1994).

Introdução à Petrologia Metamórfica. Editora Universidade de Brasília, 340 p.

WINKLER, H. G. F. (1977).

Petrogênese das Rochas Metamórficas. Editora Edgard Blucher Ltda. e Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 254 p.