

631.41 (679.9)

Jua
E.A.R-53

EXT-R-53



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE AGRONOMIA E ENGENHARIA FLORESTAL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA RURAL
SECÇÃO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

21309

SUSCEPTIBILIDADE DOS SOLOS DA PROVÍNCIA DE MAPUTO À COMPACTAÇÃO

Trabalho submetido ao Departamento de Engenharia
Agrícola da Faculdade de Agronomia e Engenharia
Florestal como pré-requisito para obtenção do grau
de Licenciatura em Agronomia

Autor: Elísio João Juarte

Supervisor: eng.º Alfredo Bernardino J. Nhantumbo - MSc

Supervisor: eng.º Armindo Cambule - MSc

Maputo, Julho de 2002

1, 2, 3, 4, 7, 10, 34, 85, 216

DEDICATÓRIA

Aos meus pais **João Juarte** e **Guliva Vasco**, pelo encorajamento e paciência durante os meus estudos; aos meus irmãos, pela atenção e à todos por mim estimados.

AGRADECIMENTOS

Um agradecimento especial ao meu supervisor e co-supervisor, **engenheiros Alfredo B. J. da Costa Nhantumbo e Armindo Cambule**, respectivamente, pela motivação na escolha do tema, ajuda na compreensão de alguns assuntos complexos e pelo todo apoio moral.

Aos técnicos da Secção de Engenharia Agrícola, em especial o senhor **Castilho Massico** pela ajuda no trabalho; apesar do complexo processo de compactação sempre esteve ao meu lado.

Ao engenheiro **Tomo** e a sua equipa do laboratório de ciências do solo.

Finalmente para todos que directa ou indirectamente contribuíram para que este trabalho chegasse ao fim, não menos importante a **Ruth Silvestre Licula**, o meu amigo **Abel Adriano Jóia**, meus colegas: **Abel J. Magibire, António I. José, Eleutério J. Gomes e Lucas F. Augusto** para eles vai o meu muito obrigado. Que também **Deus** os abençoe.

LISTA DE ABREVIATURAS, CÓDIGOS DE TEXTURA E DE UNIDADES DE SOLO

Abreviaturas usadas

- C.O. : Carbono orgânico
- DM : Densidade máxima do solo
- Eq. : Equação
- HGC : Humidade gravimétrica crítica
- INIA-DTA : Instituto Nacional de Investigação Agronómica-Departamento de Terra e Água (Ministério da Agricultura)
- MINED : Ministério da Educação
- M.O. : Matéria orgânica

Códigos de textura do solo

- Ar : Arenosa
- ArFr : Areia franca
- FrAgAr : Franco argilo arenosa
- Ag : Argilosa

Códigos de unidades de solo (INIA-DTA, 1992)

- Aa : Solos arenosos amarelados
- Cm : Solos de coluviões argilosos da mananga
- Cw : Solos de coluviões argilosos
- Fa : Solos de aluviões argilosos
- Fs : Solos de aluviões estratificados de textura grossa ou média
- M1 : Solos de mananga com camada arenosa de espessura variável
- P2 : Solos de post-mananga sobre basaltos
- Sc : Solos de coluviões sobre seixos rolados
- Wp : Solos pouco profundos sobre rocha não calcária

ÍNDICE

	Página
DEDICATÓRIA.....	i
AGRADECIMENTOS.....	ii
LISTA DE ABREVIATURAS, CÓDIGOS DE TEXTURA E DE UNIDADES DE SOLO.....	iii
Abreviaturas usadas.....	iii
Códigos de textura do solo.....	iii
Códigos de unidades de solo (INIA-DTA, 1992).....	iv
ÍNDICE.....	v
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE EQUAÇÕES.....	x
LISTA DE ANEXOS.....	xi
SUMÁRIO.....	1
1. INTRODUÇÃO.....	2
1.1. Problema de estudo.....	4
1.2. Objectivos.....	5
1.2.1. Objectivo geral.....	5
1.2.2. Objectivos específicos.....	5

2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1.	Factores que afectam a compactação.....	6
2.1.1.	Generalidades.....	6
2.1.2.	Textura.....	6
2.1.3.	Teor de matéria orgânica.....	7
2.1.4.	Teor de humidade gravimétrica.....	8
2.2.	Densidade máxima do solo.....	10
2.3.	Susceptibilidade dos solos à compactação.....	11
3.	MATERIAL E MÉTODOS	12
3.1.	Colheita e preparação de amostras de solo.....	12
3.2.	Determinação da textura.....	12
3.3.	Determinação da humidade gravimétrica e densidade máxima do solo.....	13
3.3.1.	Determinação da humidade gravimétrica.....	13
3.3.2.	Determinação da densidade máxima do solo.....	14
3.4.	Determinação do teor de matéria orgânica.....	16
3.5.	Determinação da susceptibilidade à compactação.....	17
3.6.	Análise de dados.....	17
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
4.1.	Introdução.....	18
4.2.	Resultados da análise laboratorial das amostras dos solos estudados.....	18
4.3.	Compactibilidade dos solos.....	20
4.4.	Densidade máxima e sua relação com a textura do solo.....	22
4.5.	Teor de humidade gravimétrica crítica e sua relação com a textura do solo..	28
4.6.	Matéria orgânica e sua relação com a textura do solo.....	30
4.7.	Comparação dos coeficientes de determinação do presente estudo com os obtidos por Smith <i>et al.</i> (1997b) e Nhantumbo (1998).....	32
4.8.	Susceptibilidade dos solos à compactação.....	34

5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	36
5.1.	Conclusões.....	36
5.2.	Recomendações.....	37
	 BIBLIOGRAFIA.....	 38
	 ANEXOS.....	 41

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 2.1. Classificação da compactibilidade dos solos, adaptado de Smith <i>et al.</i> (1997b).....	11
Tabela 4.1. Propriedades importante dos solos estudados.....	19
Tabela 4.2. Valores da textura, matéria orgânica e densidade máxima do solo.....	22
Tabela 4.3. Valores da textura (limo+argila) e humidade gravimétrica crítica.....	28
Tabela 4.4. Valores da textura (limo+argila) e matéria orgânica.....	30
Tabela 4.5a. Comparação dos coeficientes de determinação do presente estudo com os obtidos por Smith <i>et al.</i> (1997b) e Nhantumbo (1998) para a relação entre a textura e densidade máxima do solo.....	32
Tabela 4.5b. Comparação dos coeficientes de determinação do presente estudo com os obtidos por Nhantumbo (1998) para a relação entre a textura (limo+argila) e matéria orgânica.....	33
Tabela 4.5c. Comparação dos coeficientes de determinação do presente estudo com os obtidos por Nhantumbo (1998) para a relação entre a textura (limo+argila) e humidade gravimétrica crítica.....	33
Tabela 4.6. Classificação da compactibilidade dos solos da província de Maputo....	34

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1. Curva teórica da densidade do solo em função da humidade gravimétrica.....	9
Figura 2.2. Curva teórica da densidade máxima do solo em função da textura do solo (limo+argila ou argila).....	10
Figura 3.1. Esquema do aparelho usado na compactação para a determinação da densidade do solo.....	15
Figura 4.1. Relação entre a densidade do solo e a humidade gravimétrica dos solos Estudados.....	20
Figura 4.2. Relação entre a textura do solo (limo+argila) e a densidade máxima do solo.....	25
Figura 4.3. Relação entre a textura do solo (argila) e a densidade máxima do solo.....	26
Figura 4.4. Relação entre a textura do solo (limo+argila) e a humidade gravimétrica crítica.....	29
Figura 4.5. Relação entre a textura do solo (limo+argila) e a matéria orgânica.....	31

LISTA DE EQUAÇÕES

	Página
Equação 3.1. Estimacão da humidade gravimétrica crítica.....	13
Equação 3.2. Determinacão das quantidades de água a adicionar nas sub-amostras de solo.....	13
Equação 3.3. Determinacão da densidade do solo pelo "proctor method".....	16
Equação 3.4. Determinacão dos coeficientes de determinacão da relacão entre a textura do solo (argila e limo+argila) e a densidade máxima do solo..	17
Equacões 4.1a e 4.1b. Determinacão da densidade máxima dos solos da província de Maputo a partir da percentagem de limo+argila.....	25
Equacões 4.2a e 4.2.b. Determinacão da densidade máxima dos solos da província de Maputo a partir da percentagem de argila.....	27
Equação 4.3. Determinacão da humidade gravimétrica crítica dos solos da província de Maputo a partir da percentagem de limo+argila.....	30
Equação 4.4. Determinacão da matéria orgânica dos solos da província de Maputo a partir da percentagem de limo+argila.....	31

LISTA DE ANEXOS

	Página
Anexo 1. Tabelas de preparação de humidade gravimétrica.....	42
Anexo 2. Tabelas do ensaio de compactação das nove (9) amostras dos solos do estudo.....	44
Anexo 3. Tabelas dos valores para a determinação das equações de regressão e coeficientes de determinação da relação entre a textura (argila elimo+argila) e a densidade máxima do solo.....	54

SUMÁRIO

Este trabalho consistiu na determinação da susceptibilidade dos solos da província de Maputo à compactação. Para o efeito a susceptibilidade foi descrita em termos de densidade máxima do solo como função da textura, humidade gravimétrica e teor de matéria orgânica, considerados como factores intrínsecos da compactação.

Nove (9) amostras de solo da província de Maputo foram colhidas e sujeitas a determinação laboratorial de textura, matéria orgânica, densidade máxima do solo e humidade gravimétrica pelos métodos de crivação e sedimentação, Walkley and Black descrito por Houba *et al.* (1989), "proctor method" padrão de alta densidade de compactação segundo as instruções de Felt (1965) e proporção humidade-massa do solo seco, respectivamente.

A densidade máxima do solo mostrou-se dependente dos factores intrínsecos analisados, sendo a textura do solo o factor melhor relacionado com a densidade máxima. A densidade mais alta registada ocorreu aos teores de argila e limo+argila de 20 e 25% respectivamente. Dos solos estudados, o solo pouco profundo sobre rocha não calcária da região de Tongana, no distrito de Magude apresentou o valor de densidade máxima mais alto, enquanto que o menor, registou-se com o solo coluvionar argiloso da mananga da região de Mapapene também no distrito de Magude. As equações obtidas matematicamente que descrevem as relações entre os parâmetros considerados mostram uma boa regressão.

Os resultados deste trabalho estão de acordo com os obtidos por Smith *et al.* (1997b) e Nhantumbo (1998) em solos da África do Sul. Recomenda-se que futuros trabalhos de género devem incluir estudos da natureza mineralógica da fracção de argila assim como o teste de compressibilidade.

1. INTRODUÇÃO

Compactação de solos agrícolas é uma das causas da degradação dos solos que tem merecido a atenção de cientistas agrícolas e dos agricultores (Etana *et al.*, 1997).

A degradação do solo leva a instabilidade política e social; Ela afecta também a estrutura económica de diversos países (Taylor, 1992). Existe hoje unanimidade de pontos de vista de que velhas e florescentes civilizações desapareceram quando os homens introduziram profundas modificações na exploração da terra (Lal & Stewart, 1990). Este fenómeno mantém-se nos dias de hoje e de forma muito mais agravada. Em primeiro lugar, porque a população vai crescendo e a disponibilidade da terra diminui proporcionalmente exercendo-se sobre ela cada vez mais pressão. Em segundo lugar, conhecendo-se o comportamento dos terrenos sujeitos a uma intensificação cultural maior que a conveniente, nem isso inibe os homens de alterarem o equilíbrio natural (Ferrão, 1992).

Smith *et al.* (1997a) cita alguns autores e certas regiões por onde ocorreram estudos feitos tais como: nas plantações de timbala na África do sul (Grey e Jacob, 1987), Austrália (Jakobsen e Greacen, 1985; Incerti *et al.*, 1987) e Estados Unidos da América (Dikerson, 1976).

Na província de Maputo e em Moçambique em geral, não existem estudos relacionados com a compactação de solos agrícolas, sendo impossível obter uma informação oficial que pode servir de base para uma análise da degradação de solos por compactação nesta província. A informação existente sobre solos refere que na província de Maputo se podem encontrar áreas com solos férteis e com características (textura e matéria orgânica) muito semelhantes das que foram encontradas na África do Sul e nos Estados Unidos da América onde segundo Smith *et al.* (1997a), já existem problemas sérios de compactação.

Compactação é definida por Barnes *et al.* (1971) como sendo uma deformação física do solo (diminuição do volume do solo).

Segundo Smith *et al.* (1997a), citando Greacen e Sands (1980), em florestas comerciais, estudos feitos revelam que o uso de máquinas pesadas durante as operações de colheita, resultará num declínio considerável da produtividade porque estas máquinas facilmente podem conduzir a compactação do solo.

A compactação do solo é influenciada por factores externos e internos. Factores externos incluem a pressão exercida pelos equipamentos agrícolas, animais e queda de gotas de chuva. Mullins e Panayiotopoulos (1985) mencionaram um número de factores internos tais como: a textura, o teor em matéria orgânica, o teor em humidade gravimétrica, a forma e tamanho das partículas.

A humidade gravimétrica crítica é dada como sendo a quantidade de água que conduz mais facilmente o solo a atingir a densidade máxima quando é compactado pelo "proctor method" e este factor depende muito da textura.

O desenvolvimento e implementação de orientações práticas no sentido de controlar a compactação do solo por máquinas agrícolas depende do conhecimento da importância da pressão aplicada e teor de humidade gravimétrica durante o processo de compactação associado à factores internos do próprio solo (Nhantumbo, 1998).

A densidade máxima do solo é o parâmetro usado para a medição do estado de compactação; outros parâmetros que estão ligados a densidade máxima são a porosidade total e o volume do solo (Barnes *et al.*, 1971).

Neste trabalho a compactabilidade do solo representado pela densidade máxima do solo foi descrita baseando-se em solos da província de Maputo representado por uma larga diversidade da classe textural. A fracção granulométrica mais importante é a de argila e/ou limo+argila.

O clima de uma região é um dos aspectos a ter em conta no estudo da susceptibilidade dos solos à compactação, ele influencia a quantidade de matéria orgânica no solo.

Os solos de diferentes regiões podem apresentar mesmas características citadas por Mullins e Panayiotopoulos (1985) mas pode haver variações da susceptibilidade à compactação devido a muitos outros factores (constituição química da água dos poros, estrutura do solo, material de origem e minerais constituintes). Para conhecer estes factores seria necessário fazer análises apropriadas tais como identificação dos componentes da água dos poros e dos minerais da argila.

1.1. Problema de estudo

Maputo é uma província que apresenta uma vasta área de solos arenosos. Este tipo de solos possui baixos teores de matéria orgânica (Spivey *et al.*, 1986). Segundo Barnes *et al.* (1971) e Smith *et al.* (1997b) os solos arenosos são muito susceptíveis a compactação; sendo assim, com o aumento do peso das máquinas agrícolas poder-se-á assistir uma compactação excessiva que pode causar consequências muito negativas tais como: aumento da erosão, um crescimento deficiente das plantas e asfixia a vida da fauna do solo.

A compactação de solos arenosos é mais fácil, sendo difícil a sua recuperação porque o volume destes solos não varia durante o processo de humedecimento e/ou secagem tal como pode acontecer com os restantes solos, particularmente aqueles com argilas expansíveis (Mullins e Panayiotopoulos, 1985).

O potencial produtivo dos solos da província de Maputo poderá reduzir. Assim aumentará a procura e ocupação de outros solos naturalmente férteis correndo-se assim o risco de degradação dos solos já ocupados porque a pressão exercida sobre eles será maior.

1.2. Objectivos

1.2.1. Objectivo geral

- Identificar e quantificar os factores internos que afectam a compactabilidade dos solos da província de Maputo e o relacionamento entre os mesmos.

1.2.2 . Objectivos específicos

- ◆ Determinar a densidade máxima do solo e sua relação com a textura
- ◆ Determinar a humidade gravimétrica crítica e sua relação com a textura
- ◆ Determinar a matéria orgânica e sua relação com a textura
- ◆ Determinar a susceptibilidade a compactação com base na densidade máxima do solo

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Factores que afectam a compactação do solo

2.1.1. Generalidades

Os tipos de solos são principalmente caracterizados pelas fracções de minerais e matéria orgânica (Nhantumbo, 1998). Smith *et al.* (1997b) afirmam que factores importantes incluem textura, a natureza da fracção da argila e o teor de matéria orgânica enquanto que Bradford e Gupta (1986) também consideram estrutura do solo, forças nas superfícies das partículas e a constituição química da água contida nos poros. Por sua vez, Barnes *et al.* (1971) e Etana *et al.* (1997) consideraram somente a textura e a humidade gravimétrica.

A textura, teor de matéria orgânica e de humidade gravimétrica são propriedades do solo medidas numa base de rotina nos trabalhos de investigação. Seria suficiente se este número limitado de propriedades do solo pudesse ser usado para estimar a densidade máxima e como meios de avaliação do efeito do cultivo do solo (Nhantumbo, 1998).

2.1.2. Textura

Os valores de densidades do solo que podem existir para um solo são dependentes da textura (Barnes *et al.*, 1971 e Smith *et al.*, 1997c). Em solos com textura franca há ocorrência relativa das classes de tamanho dos graus minerais individuais do solo (areia, limo e argila). Barnes *et al.* (1971), baseando-se nestas fracções designaram de solos com uma boa distribuição do tamanho das partículas para se referirem aos solos com a textura franca. Estes solos segundo os mesmos autores, compactam e consolidam facilmente com a aplicação da pressão. Van Der Watt (1969) concluiu que a análise de dados referentes a distribuição granulométrica era suficiente para avaliar a compactabilidade do solo que poderia ser o primeiro factor na avaliação da susceptibilidade de solos.

Os solos da província de Maputo na sua maior parte são de textura arenosa, principalmente nos distritos do litoral; as classes texturais franco arenosa à franco argilosa encontram-se distribuídas na região central da província. Os solos argilosos são de pouca ocorrência.

2.1.3. Teor de matéria orgânica

A matéria orgânica (m.o.) é também um factor muito importante no comportamento físico do solo. Segundo Ekwe (1990) a matéria orgânica desempenha um papel importante na compactabilidade dos solos agrícolas. Etana *et al.* (1997) e Da silva *et al.* (1997) encontraram que a densidade do solo decresce com o aumento do teor de matéria orgânica. Segundo Spivey, Busscher e Cammpbell (1986); Wagner, Ding (1994) esta relação negativa é largamente conhecida. O teor de matéria orgânica também pode reduzir a compressibilidade do solo (Smith *et al.*, 1997c). Todavia, não é todo material orgânico que melhora a estabilidade dos agregados do solo. Por exemplo, Ekwe (1990), Ekwe e Stone (1995) encontraram que a turfa tem somente efeito dilutivo da densidade do solo mas não afecta o comportamento físico do mesmo.

Foth (1990), afirma que a matéria orgânica no solo está muito ligada a fracção limo+argila, e por isso uma análise da relação entre a textura e a densidade do solo é importante tomar em consideração o teor de matéria orgânica.

A quantidade de matéria orgânica no solo é influenciada por vários factores tais como: o clima, a textura do solo, o tipo de vegetação e as condições de drenagem no solo. Foth (1990), afirma que é muito difícil determinar o teor em matéria orgânica no solo do que a determinação do teor de carbono orgânico como resultado, mudanças do teor de carbono no solo são usadas como medida do teor de matéria orgânica. Smith *et al.* (1997b) refere-se directamente ao teor de carbono orgânico como sendo o teor de matéria orgânica. Nhantumbo (1998) citou De Kimpe *et al.* (1982) que encontraram uma relação muito negativa entre a densidade máxima do solo seco e o teor de matéria orgânica quando

realizaram o teste de compactação usando o "proctor method" em solos de Quebec (Canadá).

Smith *et al.* (1997b) citou Angers (1990), Gupta & Larson (1982), que encontraram uma grande relação entre a densidade do solo e o teor de limo+argila mas não com o teor de matéria orgânica.

Ekwe e Stone (1995), encontraram que o aumento da força entre os parâmetros do solo com o mesmo esforço compactivo era afectado não só pela textura do solo mas também o tipo de matéria orgânica. A relação entre a densidade e a matéria orgânica é influenciada pelo tipo de matéria orgânica; assim dependendo do tipo de matéria orgânica, a densidade do solo pode ser ou não afectada.

2.1.4. Teor de humidade gravimétrica

A quantidade de água no solo é outro factor interno muito importante que afecta a compactibilidade do solo (Smith *et al.*, 1997a). Durante o processo de compactação realizado por Smith *et al.* (1997b) usando o "proctor method" (método padrão de alta densidade de compactação), notaram que havia uma certa quantidade de água sob a qual o solo era susceptível a produzir a densidade máxima. Esta quantidade de água é comumente chamada por "quantidade óptima da água". Etana *et al.* (1997) sugeriram o termo "humidade crítica"; pelo facto de este nível de água reflectir o efeito negativo da compactação em terras aráveis. Portanto, para o presente trabalho foi usado o termo "humidade gravimétrica crítica".

A humidade gravimétrica crítica (HGC) foi definida por Barnes *et al.* (1971) e Smith *et al.* (1997a) como sendo a quantidade de água que oferece uma densidade máxima quando o solo é compactado pelo "proctor method". Van Der Watt (1969) afirmou que o teor de humidade gravimétrica é o factor que mais influencia a compactibilidade, por isso a densidade máxima obtida no procedimento de compactação é grandemente dependente

sobretudo do teor de humidade gravimétrica. Segundo Nhantumbo (1998), isto é porque as propriedades do solo como a mudança do volume, dureza, plasticidade e compactabilidade são particularmente determinadas pelo teor de humidade gravimétrica.

A relação teórica entre o teor de humidade e a densidade do solo pode ser vista na figura 2.1.

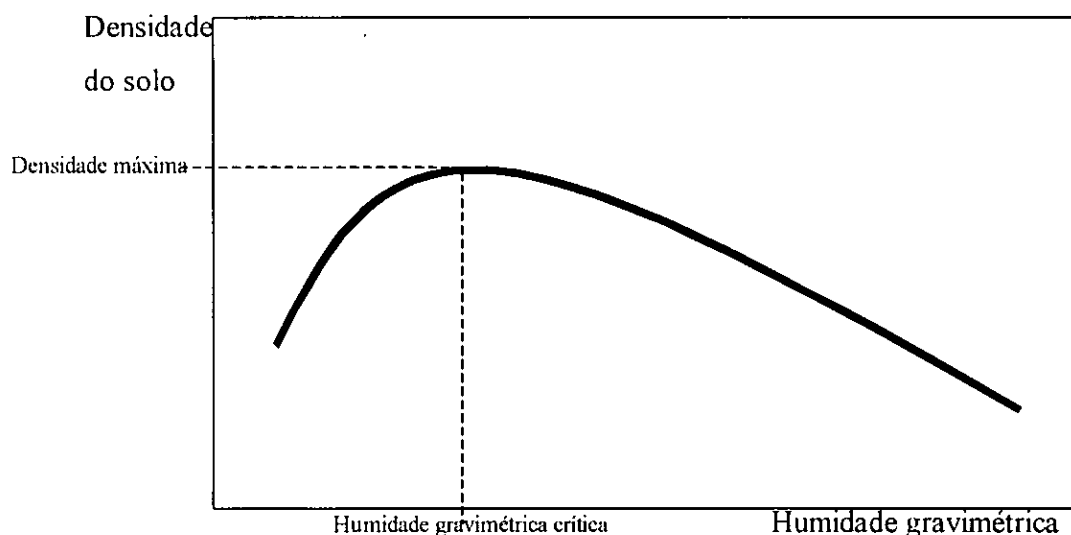


Figura 2.1: Curva teórica da densidade do solo em função da humidade gravimétrica. (Smith *et al.*, 1997b).

Bradford e Gupta (1995), afirmaram que a densificação do solo pode ser cinco (5) vezes mais no ponto em que se alcança a humidade gravimétrica crítica para uma dada pressão de compactação quando comparada com um solo seco. Segundo os mesmos autores, a facilidade de compactar o solo aumenta com o humidade gravimétrica do solo devido à redução das forças de coesão e dos ângulos de fricção até certo valor; assim eles atribuíram esta capacidade da água ao seu efeito lubrificante.

O valor de humidade gravimétrica crítica é fortemente influenciado pelo teor de matéria orgânica e aumenta com o aumento do teor da matéria orgânica porque a matéria orgânica aumenta os limites de consistência do solo.

De acordo com Mullins e Panayiotopulos (1985), solos sem estrutura podem compactar facilmente quando estão num estado húmido e tornam-se bastante densos para inibir o crescimento da raiz enquanto noutros casos forma-se uma camada somente solta que é susceptível a erosão do vento e que podem dar um mau contacto semente-solo.

2.2. Densidade máxima do solo

A densidade máxima para a qual um solo pode ser compactado por uma dada energia é chamada compactabilidade (Bradford e Gupta, 1986).

A compactação do solo resulta em : (1) decréscimo da porosidade total, (2) decréscimo total de macroporos, e (3) um aumento total de microporos e maior densidade do solo (Foth, 1990). A figura 2.2 mostra a relação típica entre o limo+argila ou argila e a densidade máxima do solo.

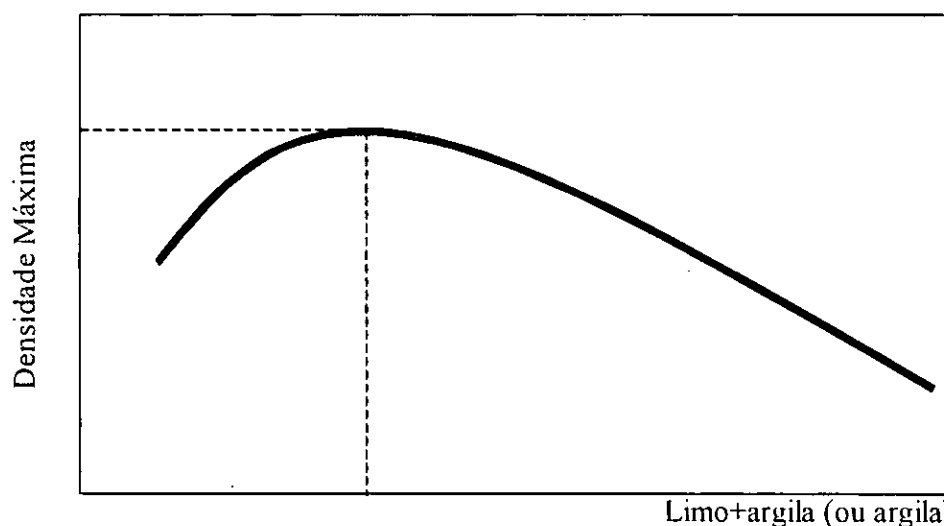


Figura 2.2. Curva teórica da densidade máxima do solo em função da textura do solo (limo+argila ou argila). Nhantumbo (1998)

O processo pela qual um volume de solo é reduzido devido a uma força externa sem a deformação das partículas do solo é chamado compressão e a facilidade com que a compressão pode ocorrer é a compressibilidade do solo (Bradford e Gupta, 1986).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Colheita e a preparação de amostras de solo

As amostras de solo colhidas representam uma variedade de solos usados para práticas agrícolas na província de Maputo com uma textura que varia de arenosa à argilosa. Esta região é predominantemente de clima tropical húmido à seco (MINED, 1986).

Os solos foram seleccionados baseando-se na legenda usada para as cartas de solos às escalas de 1:50 000 e 1: 250 000, referentes a “cartografia sistemática de solos” das províncias de Maputo e sul de Gaza (INIA-DTA, 1992). A partir desta legenda foram seleccionadas as unidades que perfaziam o intervalo de solos arenosos à argilosos, de textura.

As amostras foram colhidas nos seguintes distritos: Magude, Moamba, Matutuine, Manhiça Boane e Marracuene. A colheita foi feita na camada de 0 – 40 cm.

Antes de qualquer determinação laboratorial, as amostras foram secadas ao ar, os torrões foram quebrados cuidadosamente do modo semelhante dos procedimentos seguidos por Etana *et al.* (1997), Nhantumbo (1998) e Smith *et al.* (1997b). E finalmente foram separadas as raízes do solo usando-se crivo de 6 mm.

3.2. Determinação da Textura

A textura foi determinada com base nos métodos de crivação e sedimentação, após dispersão das partículas elementares do solo. Estes métodos estão descritos no manual de Houba, *et al.* (1989) em uso no laboratório de ciências do solo da Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal.

A classe textural foi determinada pelo uso do triângulo textural.

3.3. Determinação da humidade gravimétrica e densidade máxima do solo

3.3.1. Determinação da humidade gravimétrica

Cada amostra foi subdividida em dez (10) sub-amostras de solo seco (ao ar) com um peso de 7 kg que anteriormente passaram por um crivo de 6 mm e a seguir eram colocadas em 10 sacos de plástico. Antes de humedecimento das sub-amostras, os sacos foram codificados por uma letra e dois números; a letra representa o local da colheita, o primeiro número indica o molde a ser usado para a compactação da sub-amostra e último número indica o nível de água a adicionar. O intervalo de valores de água adicionados nos plásticos foi seleccionado baseando-se na estimativa, a partir da equação de Nhantumbo (1998) para o cálculo da humidade gravimétrica crítica de solos da África do Sul (equação 3.1); assegurando-se assim um número igual de observações em ambos lados do ponto de inflexão (figura 2.1).

$$\text{HGC} = 9.011 - 0.0116 * (\text{limo} + \text{argila}) + 0.0032 * (\text{limo} + \text{argila})^2 \quad (\text{Eq. 3.1})$$

Onde :

HGC=humidade gravimétrica crítica (%)

Foram calculados os valores da humidade gravimétrica pela divisão da humidade gravimétrica crítica de cada solo, por três (3) para se obter cinco (5) valores de humidade gravimétrica pela soma sucessiva do primeiro valor. Assim, a partir dos valores de humidade gravimétrica anteriormente obtidos, foram calculadas as quantidades de água pela fórmula:

$$\text{HG} = \frac{\text{Ma}}{\text{Ms}} * 100 \quad (\text{Eq. 3.2})$$

Onde:

HG=humidade gravimétrica (%) Ma=massa da água (g)

Ms=massa do solo seco (g)

Os sacos foram selados para evitar evaporação e imediatamente mexidos internamente por um período de 3 minutos. Este processo era feito duas vezes por dia e os pequenos agregados formados eram esmagados à mão. Todas as amostras, eram deixadas para equilibrar-se a humidade por um período não inferior a 48 horas.

Os valores da humidade gravimétrica crítica estimados pela equação 3.1, estão representados na tabela 1.1 do anexo 1.

As quantidades de água adicionadas em cada plástico são apresentadas na tabela 1.2 do anexo 1.

3.3.2. Determinação da densidade máxima do solo

A densidade máxima de cada solo foi determinada usando o "Proctor method" Padrão de alta densidade de compactação, descrito por Felt (1965) que a seguir se apresenta:

Foram usados dois moldes cilíndricos designados por A1 (com uma altura de 127mm e diâmetro de 152mm) e A2 (com uma altura de 130mm e diâmetro de 151mm). O solo era posto nos moldes em 5 camadas de igual espessura e um número predeterminado de 25 lançamentos eram aplicados a cada camada usando um martelo de 4.5 Kg a uma altura de queda de 457 mm.

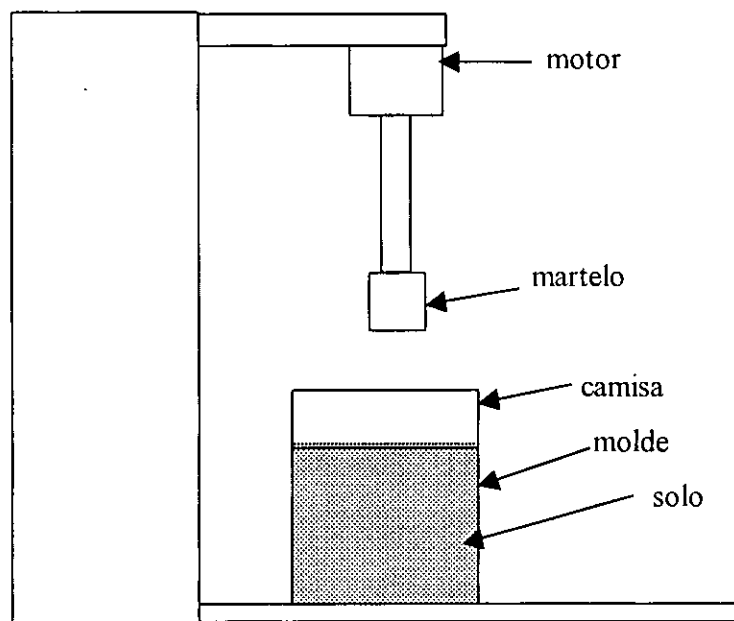


Figura 3.1. Esquema do aparelho usado na compactação para a determinação da densidade do solo (Vista lateral)

Para raspar o excesso de solo no molde usava-se uma faca. O molde de solo era pesado e registada a sua massa.

Era retirada uma pequena porção das sub-amostras e colocada num cartucho para depois serem pesados (sub-amostra húmida+cartucho). Esta sub-amostra húmida no cartucho era secada na estufa para a determinação da humidade gravimétrica e a densidade do solo. A humidade gravimétrica foi calculada através da equação 3.2 retirando o factor 100 para obter valores sem unidade que foram usados na equação 3.3 para a determinação da densidade do solo. Os valores da humidade gravimétrica (HG) determinados a partir deste procedimento encontram-se no anexo 2.

A equação 3.3 foi usada para a determinação da densidade do solo:

$$D = \frac{M}{\pi * R^2 * H} * 10^3 \quad (\text{Eq. 3.3})$$

Onde:

D=Densidade do solo (Mg/m³)

M=Quantidade total da amostra húmida compactada (kg)

HG=Teor de humidade gravimétrica (sem unidade)

R=Raio do molde (m)

H=Altura do molde (m)

π - Phi=3.14

10³ = Factor de correcção de kg/m³ para Mg/m³

$\pi * R^2 * H$ =Volume do molde (m³)

As curvas da humidade gravimétrica em relação a densidade do solo foram projectadas para se obter a humidade gravimétrica crítica e a densidade máxima correspondente usando-se uma borracha flexível e seguiu-se o mesmo procedimento para traçar os gráficos da relação entre a textura (argila e limo+argila) e a densidade máxima do solo (Nhantumbo, 2000 – Comunicação oral).

3.4. Determinação do teor de matéria orgânica

O teor de matéria orgânica (m.o.) foi representado pelo teor de carbono orgânico (c.o.). Porque segundo Foth (1990), mudanças de carbono orgânico no solo podem ser usadas como medida de teor de matéria orgânica. O teor de carbono orgânico foi determinado usando o método de oxidação húmida Walkley-Black, o procedimento laboratorial seguido consta do manual de Houba, *et al.* (1989) em uso no laboratório de ciências do solo da Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal.

3.5. Determinação da susceptibilidade à compactação

A susceptibilidade a compactação foi determinada com base na densidade máxima do solo que se verifica no ponto de inflexão dos gráficos da relação entre a humidade gravimétrica e a densidade do solo. Os valores da densidade máxima dos nove (9) solos foram enquadrados nas classes encontradas por Smtih *et al.* (1997b) apresentada na tabela 2.1.

3.6. Análise de dados

Para analisar a relação entre a textura e a matéria orgânica, a textura e a humidade crítica, a textura e a densidade do solo, os resultados obtidos foram submetidos a uma análise de regressão múltipla.

As equações da relação entre a textura do solo (argila e limo+argila) e a densidade máxima do solo com os respectivos coeficientes de determinação foram obtidos, através da determinação de dez (10) pontos ao longo dos gráficos e subsequente determinação dos valores dos coeficientes a, b e c considerando constantes para a equação do tipo $Y=aX^2 + bX + c$. Os valores destes pontos e dos coeficientes podem ser vistos nas tabelas 3.1, 3.2 e 3.3 do anexo 3. Os coeficientes de determinação (R^2) foram calculados pela equação 3.4; esta equação inclui os valores observados, teóricos e média dos valores observados da densidade do solo.

$$R^2 = \frac{\sum(Y_i - \bar{y})^2}{\sum(Y_i - \bar{y})^2 + \sum(Y_i - y_i)^2} \quad (\text{Eq. 3.4})$$

Onde:

R^2 - Coeficiente de determinação

Y_i - Valores teóricos (valores estimados pela equação de regressão)

y_i - Valores observados

\bar{y} - Média dos valores observados

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Introdução

Neste capítulo os dados foram organizados em tabelas e gráficos. Como discussão alguns resultados deste trabalho de solos para propósitos agrícolas das regiões de clima tropical húmido à seco (MINED, 1986) foram basicamente comparados com os obtidos pelo Smith *et al.* (1997b), em solos florestais das regiões de clima húmido com altos teores de matéria orgânica e pelo Nhantumbo (1998) em solos para agricultura das regiões semi-áridas durante o estudo de solos da África do Sul; também foram enquadradas algumas observações de outros autores (Etana *et al.*, 1997; Wagner, Ambe e Ding, 1994; Spivey, Busscher e Campbell, 1986; Bradford e Gupta, 1986; Van Der Watt, 1969; Barnes *et al.*, 1971; Ekwe, 1990 e Ekwe e Stone, 1995).

4.2. Resultados da análise laboratorial das amostras dos solos estudados

A codificação, a proveniência das amostras de solo, sua classificação segundo os critérios do INIA-DTA (1992), a composição orgânica e a textura podem ser vistas na tabela 4.1.

Tabela 4.1. Propriedades importantes dos solos estudados

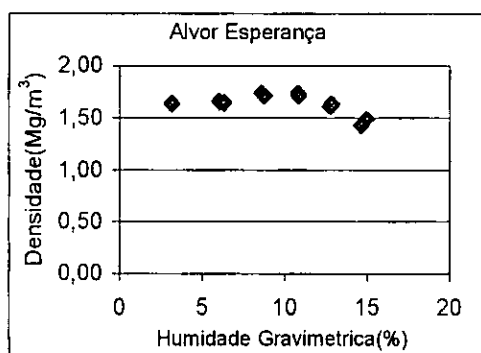
Local de colheita	Unidade de solo	M.O.	Textura				Classe
		C.O. (%)	Areia	limo	Argila	Limo + argila	
Panjane Sede	Cw	1.05	54.36	20.54	24.90	45.44	FrAgAr
Tongana Norte	Wp	0.82	77.9	3.34	18.76	22.10	ArFr
Mapapene	Cm	2.25	29.48	10.78	59.75	70.53	Ag
Manhiça Cambeve	Fs	0.79	61.81	4.90	33.30	38.20	FrAgAr
Alvor Esperança	Aa	0.49	89.61	1.28	9.12	10.40	Ar
Marracuene Chineses	Fa	2.11	45.43	10.04	44.53	54.57	Ag
Maguaza	Sc	2.11	41.09	11.18	45.98	57.16	Ag
Bush-in Bar	P2	0.61	85.14	2.78	12.08	14.86	Ar
Desvio Razak	M1	0.90	73.25	5.64	21.11	26.75	ArFr

As amostras de Mapapene (limo+argila=70.53%) e Alvor Esperança (limo+argila=10.40%), apresentam valores máximo e mínimo da soma de limo e argila, respectivamente.

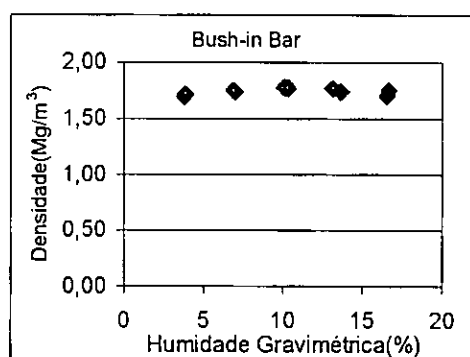
Considerando as quantidades de limo e argila que existem em cada amostra se pode notar que o domínio do presente trabalho se limita aos teores de limo menor que 21% e argila menor que 60%.

4.3. Compactibilidade dos solos

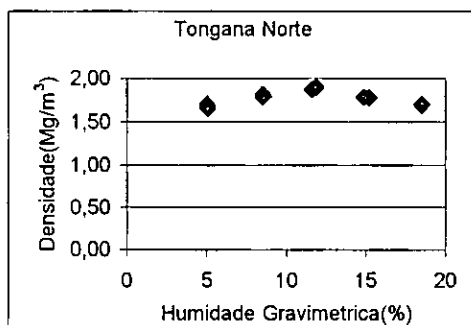
A relação entre a humidade gravimétrica e a densidade do solo é mostrada nos gráficos seguintes para os nove solos em análise. A variação de limo+argila vai de 10.40 até 70.53%.



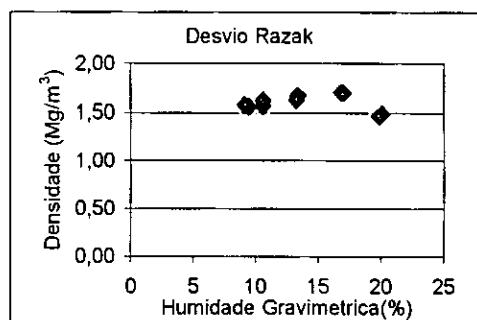
a) Limo+argila=10.40%



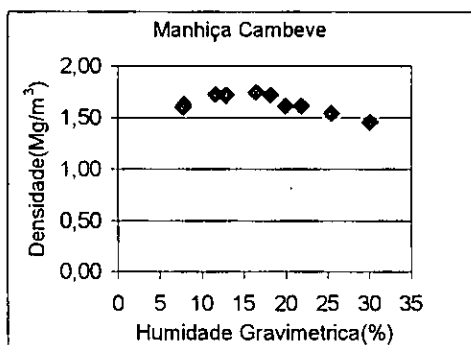
b) Limo+argila=14.86%



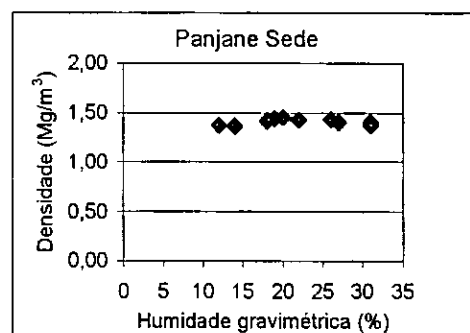
c) Limo+argila=22.10%



d) Limo+argila=26.76%

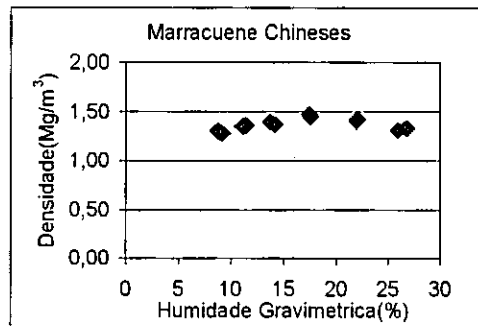


e) Limo+argila=38.20%

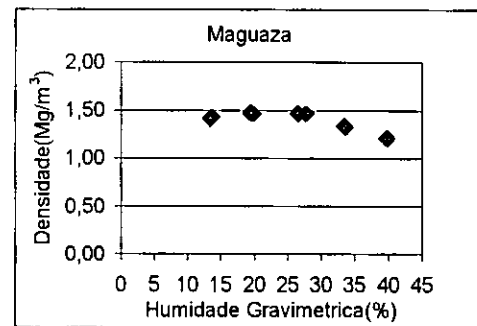


f) Limo+argila= 45.44%

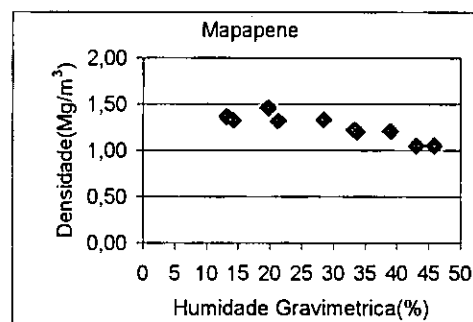
Figura 4.1. Relação entre a densidade do solo e a humidade gravimétrica dos solos estudados



g) Limo+argila=54.70%



h) Limo+argila=57.16%



i) Limo+argila=70.53%

Figura 4.1. Relação entre a densidade do solo e a humidade gravimétrica dos solos estudados (Continuação)

Na figura 4.1 se pode ver que para cada solo, a compactibilidade aumenta com aumento do teor em humidade gravimétrica até certo valor, e depois deste ponto diminui; este ponto máximo alcançado é aquele que foi referido como o ponto em que se verifica a humidade gravimétrica crítica para cada solo. Este comportamento dos gráficos é porque segundo Bradford e Gupta (1986) quando a humidade gravimétrica do solo aumenta há uma redução das forças de coesão e dos ângulos de fricção. Há forte indicação da humidade gravimétrica crítica ter tendências de aumentar a medida que a percentagem de limo+argila aumenta, isto leva a crer que existe uma dependência directa entre a textura e a humidade gravimétrica crítica. Para dizer que solos com alta percentagem de limo+argila precisam de grandes quantidades de água para alcançarem a densidade máxima. E isto pode ser explicado com base na estrutura do solo. Os solos com estrutura apresentam menor espaço entre as

partículas, sendo assim, o número de contacto entre estas partículas é maior; por isso se pode dizer que os solos argilosos resistem mais a compactação.

As fichas do ensaio da compactação dos nove (9) solos encontram-se no anexo 2.

4.4. Densidade máxima e sua relação com a textura do solo

Na tabela 4.2 são apresentados os valores da textura, matéria orgânica e densidade máxima dos solos deste trabalho, onde se pode ver que em geral, os valores da densidade máxima do solo aumentam com o aumento de limo+argila de 10.40% (Alvor Esperança) até 22.10% (Tongana Norte), a partir deste último ponto os valores decrescem mesmo com o aumento de limo+argila.

Tabela 4.2. Valores da textura, matéria orgânica e densidade máxima do solo

Local de colheita	Limo+Argila (%)	Argila (%)	Matéria orgânica	DM (Mg/m ³)
			C.O. (%)	
Alvor Esperança	10.40	9.12	0.49	1.74
Bush-in Bar	14.86	12.08	0.61	1.78
Tongana Norte	22.10	18.76	0.82	1.89
Desvio Razak	26.75	21.11	0.90	1.76
Manhiça Cambeve	38.20	33.30	0.79	1.73
Panjane Sede	45.44	24.90	1.05	1.48
Marracuene Chineses	54.57	44.53	2.11	1.46
Maguaza	57.16	45.98	2.11	1.45
Mapapene	70.53	59.75	2.25	1.35

Os valores da densidade máxima (DM) variam entre 1.35Mg/m³ (Mapapene) e 1.89Mg/m³ (Tongana Norte). Esta constatação não difere substancialmente da que foi obtida por Smith *et al.* (1997b) num trabalho similar, com um universo de 35 solos de diferentes texturas. Neste caso a densidade máxima variava entre 1.20 e 2.00 Mg/m³. Nhantumbo (1998) trabalhando com 22 amostras de solos para fins agrícolas da província de Free State na África do Sul, encontrou valores de densidade máxima variando num intervalo de 1.60 a 2.00 Mg/m³. De forma similar Wagner, Ambe e Ding (1994) trabalharam com 39 solos e encontraram valores de "DM" variando entre 1.46 a 1.99 Mg/m³.

O solo da região de Mapapene apresenta menor valor de "DM" sendo igual a 1.35 Mg/m³, este solo tem carbono orgânico de 2.25%. Da mesma forma, tal como Smith *et al.* (1997b) e Spivey *et al.* (1997), observaram que teores moderados de carbono orgânico (c.o.>1.5 %) aparecem como tendo efeitos de diminuir a "DM". Este valor de "DM" é exactamente igual ao encontrado por Smith *et al.* (1997) de um solo com limo+argila=77%; e neste trabalho o solo tem limo+argila 70.54%; isto quer dizer que , tanto para o presente trabalho como o do Smith *et al.* (1997b) trata-se de um solo argiloso (Ag).

O solo da região de Tongana norte apresenta maior valor de densidade máxima; a razão de Tongana norte apresentar maior "DM" pois ele tem argila+limo de 22.10% que é um valor bastante crítico, nestas condições a combinação das partículas é feita muito facilmente, isto é o número de contactos entre as partículas é maior.

O valor de "DM" mais alto neste trabalho não foi exactamente igual ao de Smith *et al.* (1997b) e outros autores. Esta diferença de valores pode dever-se a uma provável diferença na composição dos solos, visto que neste trabalho não foi analisado a origem do material e os minerais constituintes tal como fez o Smith *et al.* (1997b). Outro aspecto a considerar é que a percentagem de carbono orgânico no solo de Tongana norte foi de 0.82%.

A não coincidência total de valores extremos deste trabalho com os de Smith *et al.* (1997b) e Nhantumbo (1998), pode se dever ao reduzido número de amostras consideradas neste trabalho e a origem destas amostras. Para este trabalho o intervalo de limo+argila é de

10.40 à 70.53%. Smith *et al.* (1997b), trabalharam com solos com limo+argila variando de 14 à 96%. Enquanto que Nhantumbo (1998), trabalhou com solos que apresentavam limo+argila variando entre 5 à 68 %. Isto leva a crer que mesmo que os trabalhos sejam feitos em regiões com climas diferentes se pode afirmar que os valores da densidade máxima deste trabalho estão dentro do intervalo de Smith *et al.* (1997b).

Para Smith *et al.* (1997b), o valor de "DM" mais alto (2.00Mg/m^3) foi encontrado quando compactaram um solo com limo+argila=26%, de textura franco arenosa, enquanto que o solo de Smith *et al.* (1997b), tinha uma percentagem de carbono orgânico de 0.32%; também é de lembrar que eles trabalharam em solos florestais e o método para a determinação de matéria orgânica foi de "combustão via seca". Um caso semelhante é da "DM" mais alta obtida pelo Nhantumbo (1998) que era de 2.00Mg/m^3 , compactando um solo para propósitos agrícolas com limo+argila=22% e um teor de carbono orgânico igual a 0.25%.

Os solos de Alvor Esperança, Bush-in Bar e Tongana Norte têm uma alta proporção de areia-argila e sendo assim apresentam altos valores de "DM". Smith *et al.* (1997b), citando Basma e Tuncer (1992), afirmaram que, eles observaram sob o mesmo teste "Proctor", que solos arenosos não se compactavam à valores tão altos de "DM". E que solos com uma maior razão areia-argila compactavam a valores muito altos de densidade do solo.

A curva da densidade máxima em relação a textura do solo (limo+argila) mostra que a densidade máxima se expressa em solos com limo+argila a volta de 24.80% correspondente a uma densidade máxima de 1.91Mg/m^3 . Este valor de limo+argila está muito perto de 25%, valor encontrado pelo Smith *et al.* (1997b) e Nhantumbo (1998).

Os solos com valores de "DM" muito altos apresentam-se no intervalo de limo+argila de 20 a 30%. Smith *et al.* (1997b), observaram que solos com 20 a 30 % de limo+argila tem os valores de "DM" muito altos. Assim se pode considerar que não obstante o número reduzido de amostras para este trabalho, os resultados sugerem que o comportamento dos

solos da província de Maputo é similar aos solos da África do Sul. O mesmo comportamento foi observado por Etana *et al.* (1997).

Os altos coeficientes de determinação (R^2) asseguram a validade e a confiança que se pode ter em relação as equações de regressão determinadas para as duas situações (limo+argila<25% e limo+argila>25%) para o cálculo da densidade máxima dos solos da província de Maputo. Estes coeficientes também mostram que existe uma boa relação entre limo+argila e a densidade máxima dos solos da província de Maputo.

A figura a seguir ilustra os valores da "DM" dos diferentes nove (9) solos usados neste presente estudo.

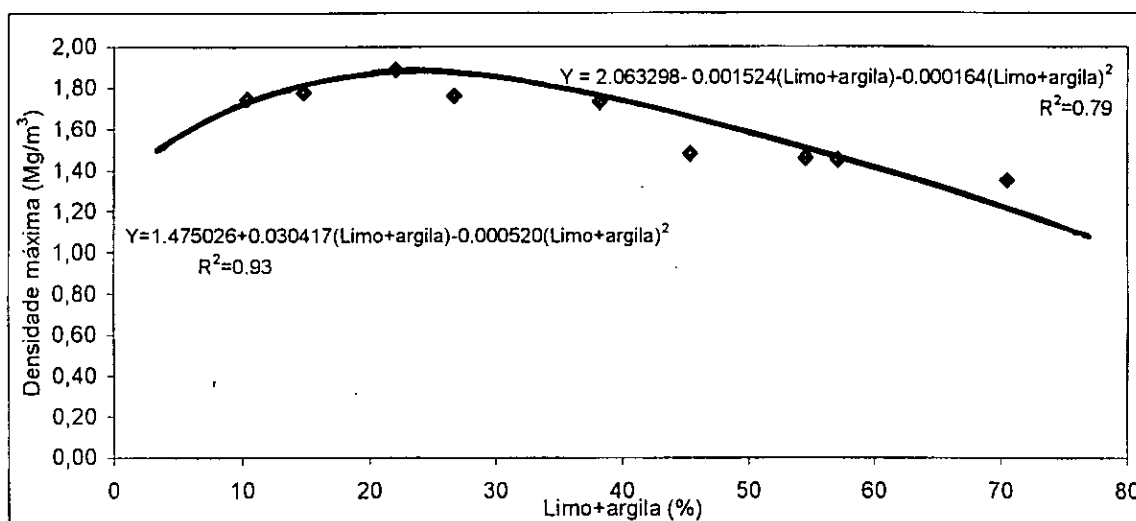


Figura 4.2. Relação entre a textura do solo (limo+argila) e a densidade máxima do solo

As equações 4.1a e 4.1b podem ser usadas para a determinação da densidade máxima dos solos da província de Maputo.

$$DM=1.475026+0.030417(Limo+argila)-0.000520(Limo+argila)^2 \quad (Eq. 4.1a)$$

$$Limo+argila < 25\% \quad R^2=0.93$$

$$DM=2.063298-0.001524(Limo+argila)-0.000164(Limo+argila)^2 \quad (Eq. 4.1b)$$

$$limo+argila > 25\% \quad R^2=0.79$$

Um caso particular observa-se quando Smith *et al.* (1997b) citando Moolman (1981), Bennie e Burger (1988) afirmando que aumentando limo+argila resultava em um aumento progressivo da "DM", o mesmo autor ainda defende que isto se deveu ao facto do solo conter limo+argila a baixo de 40 %. Também o efeito da diminuição de "DM" foi notado por outros autores como Van Der Watt (1969); Bodman e Constantin, (1965).

Quando se expressa o gráfico da densidade máxima do solo em função da percentagem de de argila, o valor de argila de 19.50%, apresenta a densidade máxima de 1.91 Mg/m³. A figura 4.3 mostra o comportamento do gráfico da relação entre argila e a densidade máxima dos nove (9) solos.

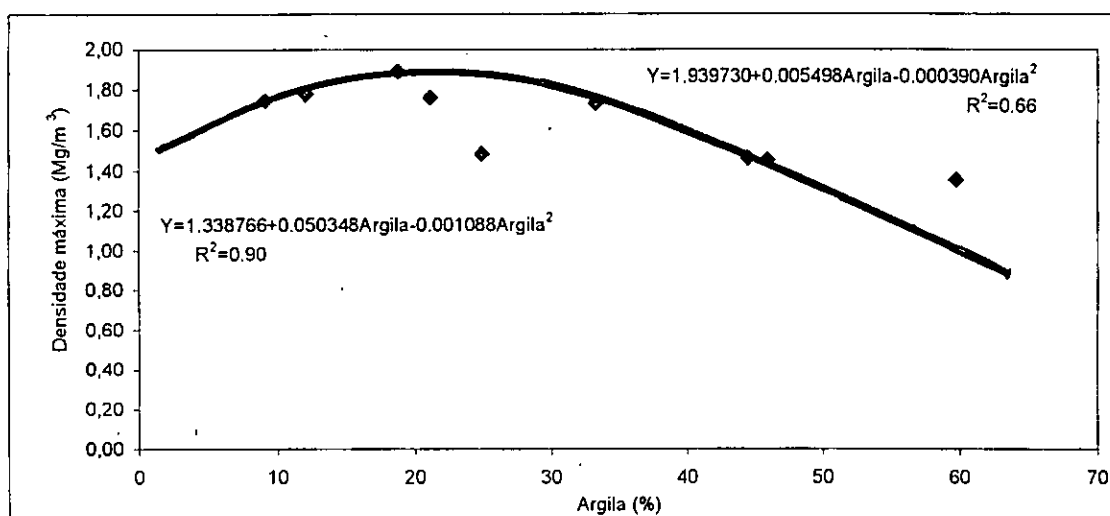


Figura 4.3. Relação entre a textura do solo (argila) e a densidade máxima do solo

Isto sugere que usando argila+limo ou então simplesmente argila a relação textura densidade máxima não altera.

Os valores dos coeficientes de determinação asseguram que as equações obtidas nas duas situações (argila < 20% e argila > 20%) são válidas para o cálculo da densidade máxima dos solos da província de Maputo usando-se somente a percentagem de argila.

O baixo valor de coeficiente de determinação (R^2) obtido para argila>20% pode ser devido de outros factores diferentes da textura que não foram tomados em consideração na relação da figura 4.3 e nas respectivas equações.

Tendo o teor de argila de um solo da província de Maputo, a densidade máxima pode ser determinada usando as equações 4.2a e 4.2b.

$$DM=1.338766+0.050348Argila-0.001088Argila^2 \quad (Eq. 4.2a)$$

Argila < 20% $R^2=0.90$

$$DM=1.939730+0.005498Argila-0.000390Argila^2 \quad (Eq. 4.2b)$$

Argila > 20% $R^2=0.66$

Assim se pode constatar que para este trabalho, a "DM" aumenta com o aumento do teor de argila até cerca de 19.50%. Smith *et al.* (1997b), fazendo a mesma análise, notaram um aumento da "DM" com aumento do teor de argila a volta de 20 % de argila e depois uma diminuição com o aumento de argila.

A razão do comportamento dos gráficos da relação entre a textura e a "DM" é porque valores mais altos da densidade máxima ocorrem em solos que apresentam textura franca (limo+argila a volta de 25% e argila a volta de 20%) isto porque estes solos apresentam uma boa combinação entre as partículas do solo, enquanto que solos argilosos possuem muita quantidade de matéria orgânica que reduz a densidade do solo, e por sua vez solos arenosos a pesar de apresentarem altos valores de "DM" a disposição das partículas e o espaço entre estas partículas faz com que a "DM" nestes solos seja menor em comparação com a "DM" dos solos de textura franca.

Comparando os valores dos coeficientes de determinação da relação entre a textura (limo+argila e argila) e a densidade máxima do solo pode notar-se que menores valores foram encontrados quando somente se toma em consideração a percentagem de argila no solo. Provavelmente porque os solos argilosos possuem muita matéria orgânica e na fracção

limo+argila a matéria orgânica é adsorvida nas partículas da argila porque têm maior superfície específica; A matéria orgânica reduz a compressibilidade do solo e também aumenta os limites de consistência do solo. De salientar que Smith *et al.* (1997b) também observaram uma redução dos valores de coeficiente de determinação quando analisaram a relação entre a argila e a densidade máxima do solo.

4.5. Teor de humidade gravimétrica crítica e sua relação com a textura do solo

Na tabela 4.3, são apresentados os valores de limo+argila e a humidade gravimétrica crítica dos nove solos.

Tabela 4.3 Valores da textura (limo+argila) e humidade gravimétrica crítica

Local de colheita	Limo+argila (%)	HGC (%)
Alvor Esperança	10.40	9.08
Bush-in Bar	14.86	10.80
Tongana Norte	22.10	11.71
Desvio Razak	26.75	15.40
Manhiça Cambeve	38.20	16.17
Panjane Sede	45.44	19.02
Marracuene Chineses	54.57	19.00
Maguaza	57.16	21.13
Mapapene	70.53	23.14

Os solos arenosos compactam-se sob baixos teores de humidade gravimétrica, isto também foi constatado por Barnes *et al.* (1971) e Spivey *et al.* (1986); depois seguem-se os francos e finalmente são os argilosos (Ag).

A relação humidade gravimétrica crítica em função da percentagem de limo+argila é linear como ilustra a figura 4.4.

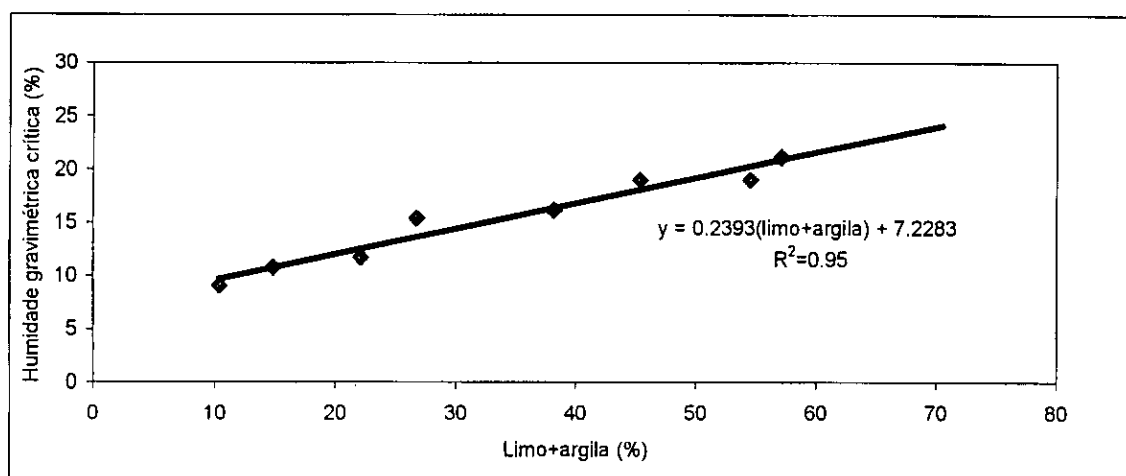


Figura 4.4. Relação entre a textura do solo (limo+argila) e a humidade gravimétrica crítica

Na figura 4.4, se pode ver um aumento do teor de humidade gravimétrica crítica quando o limo+argila aumenta. Para dizer que há uma relação directa entre a textura e a humidade gravimétrica crítica, isto é, os solos argilosos resistem mais a compactação. Em solos argilosos as forças de coesão são maiores, isto porque o número de contactos entre as partículas de argila é muito maior.

Muitos autores encontraram uma relação linear com a excepção de Nhantumbo (1998), que encontrou uma função exponencial. É de salientar que as características dos solos usados têm muita influência no comportamento dos gráficos. Neste trabalho o intervalo da humidade gravimétrica crítica é de 9 à 23%; para o trabalho de Smith *et al.* (1997b), o intervalo foi de 7 à 36%; enquanto que para Nhantumbo (1998) o seu intervalo foi de 8.0 à 20.83%. Nisto é fácil notar que estes intervalos dependem muito da textura dos solos.

A partir do alto valor do coeficiente de determinação (R^2) se pode crer que existe uma boa relação entre a textura (limo+argila) e a humidade gravimétrica crítica. Assim o teor de

humidade gravimétrica crítica para os solos da província de Maputo pode ser determinado usando a equação:

$$\text{HGC}(\%) = 0.2393 * (\text{limo} + \text{argila}) + 7.2283 \quad (\text{Eq. 4.3})$$

$$R^2 = 0.95$$

4.6. Matéria orgânica e sua relação com a textura do solo

Na tabela 4.4 são apresentados os valores da matéria orgânica dos diferentes nove solos estudados.

Tabela 4.4. Valores da textura (limo+argila) e matéria orgânica

Local de colheita	Limo+argila (%)	Matéria Orgânica
		C.O. (%)
Alvor Esperança	10.40	0.49
Bush-in Bar	14.86	0.61
Tongana Norte	22.10	0.82
Desvio Razak	26.75	0.90
Manhiça Cambeve	38.20	0.79
Panjane Sede	45.44	1.05
Marracuene Chineses	54.57	2.11
Maguaza	57.16	2.11
Mapapene	70.53	2.25

Em relação a matéria orgânica, se pode ver que o teor em carbono orgânico varia entre 0.49 e 2.25%. O solo que apresenta maior densidade máxima (Tongana Norte) é relativamente pobre quando comparado com aquele que apresentam menor densidade máxima

(Mapapene). O mesmo comportamento foi observado por Ekwe (1990), e Ekwe e Stone (1995).

A matéria orgânica aumenta com o aumento de limo+argila. É preciso realçar que é um comportamento esperado pois a relação entre a textura do solo (limo+argila) e a matéria orgânica é linear. Provavelmente este comportamento deve-se ao facto de que as partículas de argila têm maior superfície específica criando-se assim maior área que pode adsorver a matéria orgânica para a formação de complexos orgânicos (partículas de argila-matéria orgânica). A relação entre a textura (limo+argila) e a matéria orgânica pode ser vista na figura 4.5.

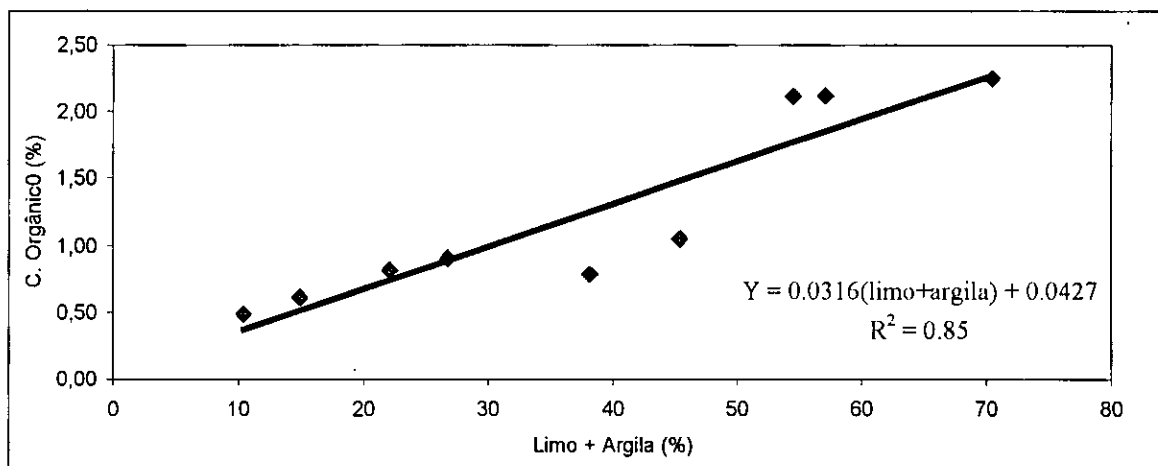


Figura 4.5. Relação entre a textura do solo (limo+argila) e a matéria orgânica

O valor do coeficiente de determinação assegura a importância da matéria orgânica na avaliação da susceptibilidade dos solos da província de Maputo à compactação.

Assim a matéria orgânica para os solos considerados pode ser calculada usando a equação:

$$\%C.O = 0.0316(\text{Limo+argila}) + 0.0427 \quad (\text{Eq. 4.4})$$
$$R^2 = 0.85$$

4.7. Comparação dos coeficientes de determinação do presente estudo com os obtidos por Smith *et al.* (1997b) e Nhantumbo (1998)

Em seguida são apresentadas tabelas para a comparação dos coeficientes de determinação (R^2) deste presente estudo com os valores de outros autores que fizeram trabalhos similares na África do sul.

Tabela 4.5a. Comparação dos coeficientes de determinação deste presente estudo com os obtidos por Smith *et al.* (1997b) e Nhantumbo (1998) para a relação entre a textura e a densidade máxima do solo.

Classe mineralógica	Intervalos de textura do solo	Equações	R^2	Fonte	
Argila (%)	9.12-59.75	$Y=1338766+0.050348X-0.001088X^2$	0.90	Presente estudo	
		$Y=1.939730+0.005498X-0.000390X^2$	0.66		
	8-66	$Y=1.8381-0.0001X^2$	0.66	Smith (1997b)	
Limo + argila (%)	10.40-70.53	$Y=1.475026+0.030417X-0.000520X^2$	0.93	Presente estudo	
		$Y=2.063298-0.001524X-0.000164X^2$	0.79		
	5-68	$Y=1.6864+0.02133X-0.0004X^2$	0.94	Nhantumbo (1998)	
		$Y=2.1527-0.00668X-0.000023X^2$	0.98		
	14-96	$Y=1.8777+0.0011X-0.000088X^2$	0.83	Smith (1995)*	
	5-96	**	$Y=1.614+0.034991X-0.00077X^2$	0.82	Nhantumbo (1998)
			$Y=2.146-0.003788X-0.000056X^2$	0.87	
	14-96		$Y=1.7569+0.0052X-0.00011X^2$	0.79	Smith (1997b)

** Dados combinados de Nhantumbo (1998) e Smith (1995)*

*Smith (1995) citado por Nhantumbo (1998).

X- indica percentagem de argila ou limo+argila

Y- indica valores da densidade máxima do solo

Tabela 4.5b. Comparação dos coeficientes de determinação do presente estudo com os obtidos por Nhantumbo (1998) para a relação entre a textura (limo+argila) e matéria orgânica

Intervalos de carbono orgânico (%)	Equações	R ²	Fonte
0.49-2.25	$Y=0.0316X+0.0427$	0.85	Presente estudo
0.21-1.16	$Y=0.016X$	0.81	Nhantumbo (1998)

X- indica a percentagem de limo+argila

Y- indica a percentagem de carbono orgânico

Tabela 4.5c. Comparação dos coeficientes de determinação do presente estudo com os obtidos por Nhantumbo (1998) para a relação entre a textura (limo+argila) e humidade gravimétrica crítica

Intervalos de humidade gravimétrica crítica (HGC)	Equações	R ²	Fonte
9-23	$Y=0.2393X+7.2283$	0.95	Presente estudo
8-20.83	$Y=8.75-0.01848X+0.002815X^2$	0.97	Nhantumbo (1998)

X- indica a percentagem de limo+argila

Y- indica a percentagem de humidade gravimétrica crítica

A partir das tabelas 4.5a, 4.5b, 4.5c se pode ver que os coeficientes de determinação do presente estudo exprimem fortemente a relação representada pelos respectivos gráficos. Nesta comparação também pode observar-se que o reduzido número de amostras de solo do presente estudo não criou grandes diferenças na quantificação dos factores e na determinação da relação entre estes factores quando se toma como base de comparação os resultados obtidos por Smith *et al.* (1997b) e Nhantumbo (1998).

Para dizer que mesmo com um número reduzido de amostras, e os trabalhos a serem feitos em regiões com diferentes clima e em solos com propósitos diferentes há forte indicação de que os resultados do presente trabalho são similares aos resultados dos dois autores (Smith *et al.*, 1997b e Nhantumbo, 1998).

4.8. Susceptibilidade dos solos à compactação

A susceptibilidade dos solos à compactação foi analisada em termos de compactibilidade do solo. No entanto, a compactibilidade foi avaliada com base na densidade máxima segundo a escala de Smith *et al.* (1997b), adaptada.

Tabela 4.6. Classificação da compactibilidade dos solos da provincia de Maputo

Solos do presente estudo	Classe textural	DM (Mg/m ³)	Classe
Tongana Norte	ArFr	> 1.80	Muito alta
Alvor esperança, Bush-in Bar, Desvio Razak e Manhiça Cambeve	Ar, Ar, ArFr e FrAgAr	1.60-1.80	Alta
Marracuene Chineses, Maguaza e Panjane Sede	Ag, Ag e FrAgAr	1.40-1.60	Moderada
Mapapene	Ag	<1.40	Baixa

Pode observar-se que solos com maior compactibilidade podem ser encontrados se tiverem valores a volta de 25% limo+argila que são os solos de textura areia franca. Uma classe textural obtida neste estudo não aparece na escala de Smith *et al.* (1997b) provavelmente deve-se ao facto de eles terem trabalhado em solos florestais que têm muita matéria orgânica. Para dizer que dentro da classificação do Smith *et al.* (1997b) há falta de informação sobre os solos arenosos, assim segundo os mesmos autores estes solos não

deveriam constar em qualquer classe. Neste presente estudo de solos para propósitos agrícolas se pode crer que os solos arenosos e os que têm a textura areia franca compactam-se à altos valores de "DM" desde que tenham baixos teores de matéria orgânica e percentagem de limo+argila a volta de 25% respectivamente.

Os solos com textura franco argilo arenosa podem estar na classe moderada desde que apresentem valores aproximadamente moderados de matéria orgânica, mas se estes solos possuírem baixos teores de matéria orgânica pertencerão a classe alta.

Os solos argilosos deste trabalho enquadram-se bem nas classes moderada e baixa; estes solos apresentam valores de "DM" a baixo de 1.60Mg/m^3 porque as partículas de argila têm maior superfície específica e a matéria orgânica é adsorvida nestas superfícies. A matéria orgânica vai contribuir para a formação e estabilidade da estrutura do solo reduzindo-se o espaço entre as partículas do solo e conseqüentemente uma redução na susceptibilidade à compactação dos solos argilosos.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5. 1. Conclusões

A análise estatística confirma que é possível quantificar os factores que afectam a susceptibilidade dos solos da província de Maputo à compactação.

Os resultados sugerem existir uma boa relação entre a textura e os outros parâmetros considerados (densidade máxima, humidade gravimétrica crítica e matéria orgânica), também foi encontrada uma boa relação entre a humidade gravimétrica e a densidade do solo. A textura e humidade gravimétrica são dois (2) factores internos que afectam a compactabilidade dos solos da província de Maputo.

A susceptibilidade dos solos da província de Maputo à compactação pode ser medida pela compactabilidade que é descrita em termos de densidade máxima do solo. Os solos que têm argila e limo+argila a volta de 20% e 25% respectivamente apresentam valores altos de densidade máxima. Estes solos podem apresentar a textura arenosa, areia franca ou franco argilo arenosa. A análise de dados referentes a textura é suficiente para avaliar a susceptibilidade dos solos da província de Maputo à compactação.

Para o cálculo da densidade máxima dos solos da província de Maputo podem ser usadas as equações obtidas neste estudo.

5.2. Recomendações

Para criar mais possibilidades do conhecimento dos factores internos que afectam a compactabilidade dos solos da província de Maputo, recomenda-se a realização de um trabalho do género incluindo o estudo da natureza mineralógica da fracção de argila assim como o teste de compressibilidade para verificar o comportamento dos diferentes solos face a mudanças de pressões aplicadas.

Para um estudo da susceptibilidade dos solos de Moçambique à compactação recomenda-se que sejam feitos trabalhos do género em outras províncias do país.

BIBLIOGRAFIA

BARNES, K. K.; CARLETON, W. M.; TAYOR, H.M.; THROCKMORTON, R. I. e VAN DEN BERG, G. E., 1971. Compaction of agricultural soils. *Am. Soc. Agric. Eng. Michigan*.

BODMAN, G.B. e CONSTANTIN, G.K., 1965. Influence of particle size distribution in soil compaction. *Hilgardia* **36**: 567-591.

BRADFORD, J.M. e GUPTA, S.C., 1986. Compressibility. In A. Klute (ed). methods of soil analysis. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America., Madison. 479-492 pp.

DA SILVA, A. P.; KAY, B.D. e PERFECT, E., 1997. Management versus inherent soil properties effects on bulk density and relative compaction. *Soil & Tillage Research* **44**: 81-93

EKWE, E.I., 1990. Organic Matter Effects on Soil Strength. *Soil & Tillage Research*; **16**:289-297.

EKWE, E.I. e STONE, R.J., 1995. Organic matter effect on the strength properties of compacted agricultural soils. *Trans. Am. Soc. Agric. Engrs.* **38**: 357-365.

ETANA, A.; COMIA, R. A. e HAKANSON, I., 1997. Effects of uniaxial stress on physical properties of four Swedish soils. *Soil & Tillage res.* **44**: 13-21.

FELT, E.J., 1965. Compactibility. In C. Black (ed). Methods of soil analysis. American Society of Agronomy. Madison. 401-413 pp.

FERRÃO, J. E. M., 1992. Agricultura e Desertificação. Lisboa. 11-14 pp.

FOTH, H. D., 1990. Fundamentals of soil science. 8th ed. John Wiley & Sons Michigan State University; New York.

HOUBA, V.J.G.; VAN DER LEE, J.J.; NOVOZAMSKY, I.; WALINGA, I., 1989. Soil and Plant Analysis a series of Syllabi; Part 5: Soil Analysis Procedures. Wageningen Agricultural University.

INIA-DTA, 1992. Legenda explicativa. Carta de solos. Ministério da Agricultura.

LAL, R. e STEWART, B.A., 1990. Soil degradation: A global threat. *Adv. Soil Sci.* 11, xiii-xvii.

MINED, 1986. Atlas Geográfico. Volume 1, 2^a edição. Estocolmo.

MULLIN, C.E., e PANAYIOTOPOULUS, K.P., 1985. Packing of sands. *J. Soil Sci.* 36: 129-139.

NHANTUMBO, A.B.J. DA COSTA, 1998. The compaction susceptibility of soils in the Free State. MSc dissertation. University of the Free State, Bloemfontein, RSA.

SMITH, C.W.; JOHNSTON, M.A. e LORENTZ, S., 1997a. Assessing the compaction susceptibility of South African forestry soils. I. The effects of soil type, water content and applied pressure on uni-axial compaction. *Soil & Tillage Res.* 41: 53-73.

SMITH, C.W.; JOHNSTON, M.A. e LORENTZ, S., 1997b. Assessing the compaction susceptibility of South African forestry soils. II. Soil properties affecting compactibility and compressibility. *Soil & Tillage Res.* 43: 335-354.

SMITH, C.W.; JOHNSTON, M.A. e LORENTZ, S., 1997c. the effect of soil compaction and soil physical properties on mechanical resistance of South African forestry soils. *Geoderma* **78**: 93-111.

SPIVEY, L. D.; BUSSCHER, W. J. e CAMPBELL, R.B., 1986. The effect of texture on strength of Southeastern coastal plain soils. *Soil & Tillage Res.* **6**: 351-363.

TAYLOR, J.H., 1992. Editorial. Reductin of traffic-induced soil compaction. *Soil & Tillage Res.* **24**: 301-302.

WAGNER, L.E.; AMBE, N.M. e DING, D., 1994. Estimating a proctor density curve from intrinsic soil properties. *Trans. Am soc. Agri. Eng.* **37**: 1121-1125.

VAN DER WATT, H.V.H., 1969. Influence of particle size distribution on soil compactibility. *Agrochemophysica* **1**: 79-86.

ANEXOS

Anexo 1

Tabelas de preparação de humidade gravimétrica

Tabela 1.1. Humidade gravimétrica crítica estimada.....	43
Tabela 1.2. Quantidades de água adicionadas nas sub-amostras de solo.....	43

Tabela 1.1. Humidade gravimétrica crítica estimada

Local de colheita	Unidade de solo	limo+argila (%)	HGC estimada (%)
Panjane Sede	Cw	45.44	15.09
Tongana Norte	Wp	22.10	10.32
Mapapene	Cm	70.53	24.11
Manhiça Cambeve	Fs	38.20	13.24
Alvor Esperança	Aa	10.40	9.24
Marracuene Chineses	Fa	54.57	17.91
Maguaza	Sc	57.16	18.80
Bush-in Bar	P2	14.86	9.63
Desvio Razak	M1	26.75	10.99

Tabela 1.2. Quantidades de água adicionadas nas sub-amostras de solo

Limo+argila (%)	HGC estimada (%)	Níveis de água para humidade gravimétrica (ml de H ₂ O)				
		1.1 e 2.1	1.2 e 2.2	1.3 e 2.3	1.4 e 2.4	1.5 e 2.5
45.44	15.09	352.1	704.3	1056.4	1406.3	1760.5
22.10	10.32	240.7	481.5	722.2	963.0	1203.7
70.53	24.11	562.6	1125.2	1687.8	2250.4	2813.0
38.20	13.24	308.9	617.7	926.6	1235.5	1544.4
10.40	9.24	215.6	431.2	646.8	863.8	1077.6
54.57	17.91	417.9	835.8	1253.7	1671.7	2089.5
57.16	18.80	438.7	877.5	1316.2	1755.0	2193.7
14.86	9.63	222.7	445.4	668.2	890.9	1113.6
26.75	10.99	215.6	431.2	769.3	1025.8	1281.0

Anexo 2

Tabelas do ensaio de compactação das nove (9) amostras dos solos do estudo

Tabela 2.1. Alvor Esperança.....	45
Tabela 2.2. Bush-in Bar.....	46
Tabela 2.3. Tongana Norte.....	47
Tabela 2.4. Desvio Razak.....	48
Tabela 2.5. Manhiça Cambeve.....	49
Tabela 2.6. Panjane Sede.....	50
Tabela 2.7. Marracuene Chineses.....	51
Tabela 2.8. Maguaza.....	52
Tabela 2.9. Mapapene.....	53

2.1. ALVOR ESPERANÇA
(Distrito de Manhica)

Anexo 2.1

Limo + argila = 10.40%

Unidade de solo: Aa

Local de colheita: Alvor Esperança

Data de colheita: 19/10/00

Código: E

Data da Compactação: 02/08/2001

Elementos envolvidos:

Elisio Juarte (estudante)

Massico (técnico)

Peso do molde A1 = 4862.5 g

Peso do molde A2 = 4829.3 g

Volume do molde A1 = 2.312dm³

Volume do molde A2 = 2.335dm³

Amostra	Molde (g)	Molde + solo húmido (g)	Solo húmido no molde (g)	Cartucho (g)	Sub amostra Húmida + cartucho(g)	Sub amostra seca + cartucho(g)	Massa da H ₂ O no cartucho (g)
E.1.1	4862.5	8950.0	4087.5	14.2	1456.7	1374.9	81.8
E.2.1	4829.3	8900.0	4070.7	14.2	1333.2	1254.7	78.5
E.1.2	4862.5	9248.7	4386.2	14.2	1006.8	928.5	78.3
E.2.2	4829.3	9152.2	4322.9	14.2	1010.3	930.2	80.1
E.1.3	4862.5	9340.8	4478.3	14.2	1043.9	943.7	100.2
E.2.3	4829.3	9230.3	4401.0	14.2	1023.2	924.8	98.4
E.1.4	4862.5	9085.9	4223.4	14.2	1051.5	934.3	117.2
E.2.4	4829.3	9083.2	4253.9	14.2	1039.0	922.6	116.4
E.1.5	4862.5	8850.0	3987.5	14.2	1511.1	1316.6	194.5
E.2.5	4829.3	8650.0	3820.7	14.2	1355.0	1184.0	171.0

Amostra	Massa da H ₂ O no cartucho (g)	Sub amostra húmida no cartucho (g)	Solo Húmido no molde (Kg)	Massa da H ₂ O no molde(kg)	M/(1+HG)	HG	HG (%)	D (Mg/m ³)
E.1.1	81.8	1442.5	4.0875	0.2318	0.0039	0.06	6	1.66
E.2.1	78.5	1319.0	4.0707	0.2423	0.0038	0.06	6	1.65
E.1.2	78.3	992.6	4.3862	0.3460	0.0040	0.09	9	1.74
E.2.2	80.1	996.1	4.3229	0.3476	0.0040	0.09	9	1.71
E.1.3	100.2	1029.7	4.4783	0.4358	0.0040	0.11	11	1.74
E.2.3	98.4	1009.0	4.401	0.4292	0.0040	0.11	11	1.71
E.1.4	117.2	1037.3	4.2234	0.4772	0.0037	0.13	13	1.61
E.2.4	116.4	1024.8	4.2539	0.4832	0.0038	0.12	12	1.63
E.1.5	194.5	1496.9	3.9875	0.5181	0.0035	0.15	15	1.49
E.2.5	171.0	1340.8	3.8207	0.4873	0.0033	0.15	15	1.43

D=Densidade do solo

M=Massa do solo húmido no molde

HG=Humidade gravimétrica

2.2. BUSHI-IN BAR

(Distrito de Matutuine)

Anexo 2.2

Limo + argila = 14.86%

Unidade de solo: P2

Local de colheita: Bush-in Bar

Data de colheita: 08/11/00

Código: H

Data da Compactação: 20/08/2001

Elementos envolvidos:

Elísio Juarte (estudante)

Massico (técnico)

eng. Tomo

Sr. Machava (técnico)

Sr. Matusse

Peso do molde A1 = 4862.5 g

Peso do molde A2 = 4829.3 g

Volume do molde A1 = 2.312dm³

Volume do molde A2 = 2.335dm³

Amostra	Molde (g)	Molde + solo húmido(g)	Solo húmido no molde (g)	Cartucho (g)	Sub amostra húmida + cartucho(g)	Sub amostra seca + cartucho (g)	Massa da H ₂ O no cartucho(g)
H.1.1	4862.5	8964.3	4101.8	14.2	1219.1	1174.9	44.2
H.2.1	4829.3	8963.9	4134.6	14.2	1262.0	1215.4	46.6
H.1.2	4862.5	9180.0	4317.5	14.2	1349.9	1262.2	87.7
H.2.2	4829.3	9177.1	4347.8	14.2	1284.9	1202.7	82.2
H.1.3	4862.5	9380.3	4517.8	14.2	1336.6	1212.4	124.2
H.2.3	4829.3	9363.7	4534.4	14.2	1387.8	1261.6	126.2
H.1.4	4862.5	9496.3	4633.8	14.2	1460.1	1292.0	168.1
H.2.4	4829.3	9430.3	4601.0	14.2	1432.7	1262.2	170.5
H.1.5	4862.5	9617.9	4755.4	14.2	1353.4	1162.2	191.2
H.2.5	4829.3	9462.3	4633.0	14.2	1515.9	1302.8	213.1

Amostra	Massa da H ₂ O no cartucho(g)	Sub amostra húmida no cartucho(g)	Solo húmido no molde (Kg)	Massa da H ₂ O no molde(kg)	M/(1+HG)	HG	HG (%)	D (Mg/m ³)
H.1.1	44.2	1204.9	4.1018	0.1505	0.0039	0.04	4	1.70
H.2.1	46.6	1247.8	4.1346	0.1544	0.0040	0.04	4	1.71
H.1.2	87.7	1335.7	4.3175	0.2835	0.0040	0.07	7	1.73
H.2.2	82.2	1270.7	4.3478	0.2813	0.0041	0.07	7	1.75
H.1.3	124.2	1322.4	4.5178	0.4243	0.0041	0.10	10	1.77
H.2.3	126.2	1373.6	4.5344	0.44166	0.0041	0.10	10	1.77
H.1.4	168.1	1445.9	4.6338	0.5387	0.0041	0.13	13	1.76
H.2.4	170.5	1418.5	4.6010	0.5530	0.0040	0.14	14	1.74
H.1.5	191.2	1339.2	4.7554	0.6789	0.0041	0.17	17	1.75
H.2.5	213.1	1501.7	4.6330	0.6574	0.0040	0.17	17	1.70

D=Densidade do solo

M=Massa do solo húmido no molde

HG=Humidade gravimétrica

2.3. TONGANA NORTE
(Distrito de Magude)

Anexo 2.3

Limo + argila = 22.10%

Unidade de solo: WP
Local de colheita: Tongana Norte
Data de colheita: 18/10/00
Código: B

Data da Compactação: 20/08/2001
Elementos envolvidos:
Elísio Juarte (estudante)
Massico (técnico)
eng. Tomo
Sr. Machava (técnico)

Peso do molde A1 = 4862.5 g
Peso do molde A2 = 4829.3 g
Volume do molde A1 = 2.312dm³
Volume do molde A2 = 2.335dm³

Amostra	Molde (g)	Molde + solo húmido (g)	Solo húmido no molde (g)	Cartucho (g)	Sub amostra húmida + cartucho (g)	Sub amostra seca + cartucho (g)	Massa da H ₂ O no cartucho (g)
B.1.1	4862.5	9007.5	4145.0	14.2	1200.4	1143.5	56.9
B.2.1	4829.3	8873.7	4044.4	14.2	1093.1	1041.1	52.0
B.1.2	4862.5	9461.8	4599.3	14.2	1216.1	1121.7	94.4
B.2.2	4829.3	9359.1	4529.8	14.2	1115.4	1028.8	86.6
B.1.3	4862.5	9727.0	4864.5	14.2	1329.3	1192.5	136.8
B.2.3	4829.3	9772.5	4943.2	14.2	1111.0	994.4	116.6
B.1.4	4862.5	9620.7	4758.2	14.2	1317.5	1145.2	172.3
B.2.4	4829.3	9602.2	4772.9	14.2	1140.4	994.5	145.9
B.1.5	4862.5	9566.9	4704.4	14.2	1443.5	1220.0	223.5
B.2.5	4829.3	9511.7	4682.4	14.2	1251.4	1058.2	193.2

Amostra	Massa da H ₂ O no cartucho (g)	Sub amostra húmida no cartucho (g)	Solo húmido no molde (Kg)	Massa da H ₂ O no molde (kg)	M/(1+HG)	HG	HG(%)	D (Mg/m ³)
B.1.1	56.9	1186.2	4.1450	0.1988	0.0039	0.05	5	1.70
B.2.1	52.0	1078.9	4.0444	0.1949	0.0039	0.05	5	1.66
B.1.2	94.4	1201.9	4.5993	0.3612	0.0042	0.09	9	1.81
B.2.2	86.6	1101.2	4.5298	0.3562	0.0042	0.09	9	1.79
B.1.3	136.8	1315.1	4.8645	0.5060	0.0043	0.12	12	1.87
B.2.3	116.6	1096.8	4.9432	0.5255	0.0044	0.12	12	1.90
B.1.4	172.3	1303.3	4.7582	0.6290	0.0041	0.15	15	1.78
B.2.4	145.9	1126.2	4.7729	0.6183	0.0042	0.15	15	1.78
B.1.5	223.5	1429.3	4.7044	0.7356	0.0040	0.19	19	1.70
B.2.5	193.2	1237.2	4.6824	0.7312	0.0039	0.19	19	1.69

D=Densidade do solo

M=Massa do solo húmido no molde

HG=Humidade gravimétrica

2.4. DESVIO RAZAK
(Distrito de Boane)

Anexo 2.4

Limo + argila = 26.75%

Unidade de solo: M1

Local de colheita: Desvio Razak

Data de colheita: 08/11/00

Código: I

Data da Compactação: 03/08/2001

Elementos envolvidos:

Elísio Juarte (estudante)

Massico (técnico)

Peso do molde A1 = 4862.5 g

Peso do molde A2 = 4829.3 g

Volume do molde A1 = 2.312dm³

Volume do molde A2 = 2.335dm³

Amostra	Molde (g)	Molde + solo húmido (g)	Solo húmido no molde (g)	Cartucho (g)	Sub amostra húmida + cartucho (g)	Sub amostra Seca + cartucho (g)	Massa da H ₂ O no cartucho(g)
1.1.1	4862.5	8809.5	3947.0	14.2	1004.6	918.9	85.7
1.2.1	4829.3	8819.2	3989.9	14.2	1081.5	992.2	89.3
1.1.2	4862.5	8899.8	4037.3	14.2	1012.8	917.2	95.6
1.2.2	4829.3	9010.3	4181.0	14.2	1094.4	990.8	103.6
1.1.3	4862.5	9250.0	4387.5	14.2	1060.0	936.6	123.4
1.2.3	4829.3	9100.0	4270.7	14.2	1052.3	930.7	121.6
1.1.4	4862.5	9500.0	4637.5	14.2	1399.1	1199.4	199.7
1.2.4	4829.3	9450.0	4620.7	14.2	1391.0	1190.5	200.5
1.1.5	4862.5	9005.2	4142.7	14.2	1080.7	902.3	178.4
1.2.5	4829.3	8900.5	4071.2	14.2	1050.4	878.6	171.8

Amostra	Massa da H ₂ O no cartucho (g)	Sub amostra húmida no cartucho(g)	Solo húmido no molde (Kg)	Massa da H ₂ O no molde(kg)	M/(1+HG)	HG	HG (%)	D (Mg/m ³)
1.1.1	85.7	990.4	3.9470	0.3415	0.0036	0.09	9	1.56
1.2.1	89.3	1067.3	3.9899	0.3338	0.0037	0.09	9	1.57
1.1.2	95.6	998.6	4.0373	0.3865	0.0036	0.11	11	1.56
1.2.2	103.6	1080.2	4.1810	0.4010	0.0038	0.11	11	1.62
1.1.3	123.4	1045.8	4.3875	0.5177	0.0039	0.13	13	1.67
1.2.3	121.6	1038.1	4.2707	0.5003	0.0038	0.13	13	1.62
1.1.4	199.7	1384.9	4.6375	0.6687	0.0040	0.17	17	1.70
1.2.4	200.5	1376.8	4.6207	0.6729	0.0039	0.17	17	1.70
1.1.5	178.4	1066.5	4.1427	0.6930	0.0035	0.20	20	1.48
1.2.5	171.8	1036.2	4.0712	0.6750	0.0034	0.20	20	1.46

D=Densidade do solo

M=Massa do solo húmido no molde

HG=Humidade gravimétrica

2.5. MANHIÇA CAMBEVE
(Distrito da Manhiça)

Anexo 2.5

Limo + argila = 38.20%

Unidade de solo: Fs
Local de colheita: Manhiça Cambeve
Data de colheita: 19/10/00
Código: D

Data da Compactação: 20/08/2001
Elementos envolvidos:
Elísio Juarte (estudante)
Massico (técnico)
eng. Tomo
Sr. Machava (técnico)
Sr. Matusse

Peso do molde A1 = 4862.5 g
Peso do molde A2 = 4829.3 g
Volume do molde A1 = 2.312dm³
Volume do molde A2 = 2.335dm³

Amostra	Molde (g)	Molde + solo húmido(g)	Solo húmido no molde (g)	Cartucho (g)	Sub amostra húmida + cartucho(g)	Sub amostra seca+cartucho (g)	Massa da H ₂ O no cartucho(g)
D.1.1	4862.5	8937.3	4074.8	14.2	1179.5	1094.4	85.1
D.2.1	4829.3	8845.0	4015.7	14.2	1202.6	1116.8	85.8
D.1.2	4862.5	9354.3	4491.8	14.2	1208.2	1083.8	124.4
D.2.2	4829.3	9337.5	4508.2	14.2	1359.8	1205.8	154.0
D.1.3	4862.5	9570.4	4707.9	14.2	1086.4	934.8	151.6
D.2.3	4829.3	9550.0	4720.7	14.2	1161.6	984.6	177.0
D.1.4	4862.5	9360.6	4498.1	14.2	1056.4	882.8	173.6
D.2.4	4829.3	9399.0	4569.7	14.2	1429.0	1175.0	254.0
D.1.5	4862.5	9263.3	4400.8	14.2	1393.0	1070.8	322.2
D.2.5	4829.3	9318.7	4489.4	14.2	1140.5	908.9	231.6

Amostra	Massa da H ₂ O no cartucho (g)	Sub amostra húmida no cartucho(g)	Solo húmido no molde (Kg)	Massa da H ₂ O no molde(kg)	M/(1+HG)	HG	HG (%)	D (Mg/m ³)
F.1.1	85.1	1165.3	4.0748	0.2976	0.0038	0.08	8	1.62
D.2.1	85.8	1188.4	4.0157	0.2899	0.0037	0.08	8	1.60
D.1.2	124.4	1194.0	4.4918	0.4680	0.0040	0.12	12	1.72
D.2.2	154.0	1345.6	4.5082	0.5160	0.0040	0.13	13	1.72
D.1.3	151.6	1072.2	4.7079	0.6657	0.0041	0.16	16	1.74
D.2.3	177.0	1147.4	4.7207	0.7293	0.0040	0.18	18	1.72
D.1.4	173.6	1042.2	4.4981	0.7493	0.0037	0.20	20	1.61
D.2.4	254.0	1414.8	4.5697	0.8204	0.0037	0.22	22	1.61
D.1.5	322.2	1393.0	4.4008	1.0179	0.0034	0.30	30	1.46
D.2.5	231.6	1140.5	4.4894	0.9117	0.0036	0.25	25	1.54

D=Densidade do solo

M=Massa do solo húmido no molde

HG=Humidade gravimétrica

2.6. PANJANE SEDE
(Distrito de Magude)

Anexo 2.6

Limo + argila = 22.10%

Unidade de solo: Cw

Local de colheita: Panjane Sede

Data de colheita: 18/10/00

Código: A

Data da Compactação: 07/08/2001

Elementos envolvidos:

Elísio Juarte

(estudante)

Sr. Massico (técnico)

Peso do molde A1 = 4862.5 g

Peso do molde A2 = 4829.3 g

Volume do molde A1 = 2.312dm³

Volume do molde A2 = 2.335dm³

Amostra	Molde (g)	Molde + solo húmido (g)	Solo húmido no molde (g)	Cartucho (g)	Sub Amostra húmida + cartucho (g)	Sub amostra seca + cartucho (g)	Massa da H ₂ O no cartucho (g)
A.1.1	4862.5	8450.0	3587.5	14.2	1242.4	1107.5	134.9
A.2.1	4829.3	8450.0	3620.7	14.2	1177.3	1031.6	145.7
A.1.2	4862.5	8850.0	3987.5	14.2	1019.4	858.6	160.8
A.2.2	4829.3	8700.0	3870.7	14.2	1095.1	928.9	166.2
A.1.3	4862.5	8900.0	4037.5	14.2	1135.8	950.0	185.8
A.2.3	4829.3	8850.0	4020.7	14.2	1153.3	948.2	205.1
A.1.4	4862.5	8998.0	4135.5	14.2	1011.2	800.7	210.5
A.2.4	4829.3	9041.3	4212.0	14.2	1007.6	799.6	208.0
A.1.5	4862.5	9140.2	4277.7	14.2	1068.3	818.5	249.8
A.2.5	4829.3	9006.0	4176.7	14.2	1066.4	817.9	248.5

Amostra	Massa da H ₂ O no cartucho (g)	Sub amostra húmida no cartucho (g)	Solo húmido no molde (Kg)	Massa de H ₂ O no molde (kg)	M/(1+HG)	HG	HG (%)	D (Mg/m ³)
A.1.1	134.9	1228.2	3.5875	0.3940	0.0032	0.12	12	1.37
A.2.1	145.7	1163.1	3.6207	0.4536	0.0032	0.14	14	1.36
A.1.2	160.8	1005.2	3.9875	0.6379	0.0034	0.19	19	1.44
A.2.2	166.2	1080.9	3.8707	0.5952	0.0033	0.18	18	1.41
A.1.3	185.8	1121.6	4.0375	0.6688	0.0034	0.20	20	1.45
A.2.3	205.1	1139.1	4.0207	0.7239	0.0033	0.22	22	1.42
A.1.4	210.5	997.0	4.1355	0.8731	0.0033	0.27	27	1.40
A.2.4	208.0	993.4	4.2120	0.8819	0.0033	0.26	26	1.43
A.1.5	249.8	1054.1	4.2777	1.0137	0.0033	0.31	31	1.40
A.2.5	248.5	1052.2	4.1767	0.9864	0.0032	0.31	31	1.37

D=Densidade do solo M=Massa do solo húmido no molde HG=Humidade gravimétrica

2.7. MARRACUENE CHINESES
(Distrito de Marracuene)

Anexo 2.7

Limo + argila = 54.57%

Unidade de solo: Fa

Local de colheita: Marracuene Chineses

Data de colheita: 19/10/00

Código: F

Data da Compactação: 06/08/2001

Elementos envolvidos:

Elísio Juarte (estudante)

Massico (técnico)

Peso do molde A1 = 4862.5 g

Peso do molde A2 = 4829.3 g

Volume do molde A1 = 2.312dm³

Volume do molde A2 = 2.335dm³

Amostra	Molde (g)	Molde + solo húmido (g)	Solo Húmido no molde (g)	Cartucho (g)	Sub amostra Húmida + cartucho (g)	Sub amostra Seca + cartucho (g)	Massa da H ₂ O no cartucho (g)
F.1.1	4862.5	8382.2	3519.7	14.2	1059.7	952.3	107.4
F.2.1	4829.3	8320.0	3490.7	14.2	1166.5	1050.9	115.6
F.1.2	4862.5	8550.0	3687.5	14.2	1105.0	973.2	131.8
F.2.2	4829.3	8450.0	3620.7	14.2	1138.4	998.3	140.1
F.1.3	4862.5	8699.6	3837.1	14.2	1130.7	963.5	167.2
F.2.3	4829.3	8730.2	3900.9	14.2	1131.9	965.8	166.1
F.1.4	4862.5	8780.8	3918.3	14.2	1168.1	960.3	207.8
F.2.4	4829.3	8799.9	3970.6	14.2	1122.9	922.0	200.9
F.1.5	4862.5	8700.0	3837.5	14.2	1168.4	930.5	237.9
F.2.5	4829.3	8750.0	3920.7	14.2	1130.4	894.6	235.8

Amostra	Massa da H ₂ O no cartucho (g)	Sub amostra húmida no cartucho (g)	Solo húmido no molde (Kg)	Massa de H ₂ O no Molde(kg)	M/(1+HG)	HG	HG (%)	D (Mg/m ³)
F.1.1	107.4	1045.5	3.5197	0.3616	0.0032	0.11	11	1.36
F.2.1	115.6	1152.3	3.4907	0.3502	0.0031	0.11	11	1.35
F.1.2	131.8	1090.8	3.6875	0.4456	0.0032	0.14	14	1.39
F.2.2	140.1	1124.2	3.6207	0.4512	0.0032	0.14	14	1.37
F.1.3	167.2	1116.5	3.8371	0.5746	0.0034	0.14	18	1.45
F.2.3	166.1	1117.7	3.9009	0.5797	0.0034	0.14	17	1.47
F.1.4	207.8	1153.9	3.9183	0.7056	0.0033	0.20	22	1.40
F.2.4	200.9	1108.7	3.9706	0.7195	0.0033	0.20	22	1.42
F.1.5	237.9	1154.2	3.8375	0.7910	0.0030	0.26	26	1.31
F.2.5	235.8	1116.2	3.9207	0.8283	0.0031	0.27	27	1.33

D=Densidade do solo M=Massa do solo húmido no molde HG=Humidade gravimétrica

2.8. MAGUAZA

(Distrito de Moamba)
Limo + argila = 57.16%

Anexo 2.8

Unidade de solo: Sc

Local de colheita: Maguaza

Data de colheita: 27/10/00

Código: G

Data da Compactação: 21/08/2001

Elementos envolvidos:

Elísio Juarte (estudante)

Sr. Massico (técnico)

eng. Tomo

Sr. Machava (técnico)

Sr. Matusse

Peso do molde A1 = 4862.5 g

Peso do molde A2 = 4829.3 g

Volume do molde A1 = 2.312dm³

Volume do molde A2 = 2.335dm³

Amostra	Molde (g)	Molde + solo húmido(g)	Solo húmido no molde (g)	Cartucho (g)	Sub amostra húmida + cartucho(g)	Sub amostra seca+cartucho (g)	Massa de H ₂ O no cartucho (g)
G.1.1	4862.5	8652.8	3790.3	14.2	1034.7	911.9	122.8
G.2.1	4829.3	8539.6	3710.3	14.2	1078.8	952.7	126.1
G.1.2	4862.5	8938.1	4075.6	14.2	1026.2	861.3	164.9
G.2.2	4829.3	8911.6	4082.3	14.2	1171.9	980.6	191.3
G.1.3	4862.5	9215.8	4353.3	14.2	1067.5	838.9	228.6
G.2.3	4829.3	9158.0	4328.7	14.2	1111.9	881.8	230.1
G.1.4	4862.5	8989.3	4126.8	14.2	1099.3	827.7	271.6
G.2.4	4829.3	8954.4	4125.1	14.2	1077.5	809.9	267.6
G.1.5	4862.5	8770.3	3907.8	14.2	1007.7	724.9	282.8
G.2.5	4829.3	8837.7	4008.4	14.2	1117.2	808.5	308.7

Amostra	Massa de H ₂ O no Cartucho (g)	Sub amostra Húmida no cartucho (g)	Solo húmido no molde (Kg)	Massa de H ₂ O no molde(kg)	M/(1+HG)	HG	HG (%)	D (Mg/m ³)
G.1.1	122.8	1020.5	3.7903	0.4561	0.0033	0.14	14	1.43
G.2.1	126.1	1064.6	3.7103	0.4395	0.0033	0.13	13	1.41
G.1.2	164.9	1012.0	4.0756	0.6641	0.0034	0.19	19	1.47
G.2.2	191.3	1157.7	4.0823	0.6746	0.0034	0.20	20	1.46
G.1.3	228.6	1053.3	4.3533	0.9448	0.0034	0.28	28	1.46
G.2.3	230.1	1097.7	4.3287	0.9074	0.0034	0.27	27	1.47
G.1.4	271.6	1085.1	4.1268	1.0329	0.0031	0.33	33	1.33
G.2.4	267.6	1063.3	4.1251	1.0382	0.0031	0.34	34	1.32
G.1.5	282.8	993.5	3.9078	1.1124	0.0028	0.39	40	1.21
G.2.5	267.6	1063.3	4.1251	1.0382	0.0031	0.34	34	1.32

D=Densidade do solo

M=Massa do solo húmido no molde

HG=Humidade gravimétrica

2.9. MAPAPENE

(Distrito de Magude)

Anexo 2.9

Limo + argila = 70.53%

Unidade de solo: Cm

Local de colheita: Mapapene (Quinta alvorada)

Data de colheita: 18/10/00

Código: C

Data da Compactação: 01/08/2001

Elementos envolvidos:

Elisio Juarte (estudante)

Massico (técnico)

Peso do molde A1 = 4862.5 g

Peso do molde A2 = 4829.3 g

Volume do molde A1 = 2.312dm³

Volume do molde A2 = 2.335dm³

Amostra	Molde (g)	Molde +solo húmido(g)	Solo húmido no molde (g)	Cartucho (g)	Sub amostra Húmida+cartucho(g)	Sub amostra seca +cartucho (g)	Massa da H ₂ O no cartucho (g)
C.1.1	4862.5	8450.0	3587.5	14.2	1142.7	1011.3	131.4
C.2.1	4829.3	8350.0	3520.7	14.2	1222.0	1071.6	150.4
C.1.2	4862.5	8562.0	3699.5	14.2	1074.1	888.0	186.1
C.2.2	4829.3	8900.0	4070.7	14.2	1181.0	988.4	192.6
C.1.3	4862.5	8750.0	3887.5	14.2	1153.2	833.5	319.7
C.2.3	4829.3	8800.0	3970.7	14.2	1062.3	829.9	232.4
C.1.4	4862.5	8600.0	3737.5	14.2	1125.3	844.7	280.6
C.2.4	4829.3	8600.0	3770.7	14.2	1266.6	953.8	312.8
C.1.5	4862.5	8350.0	3487.5	14.2	1187.9	834.3	353.6
C.2.5	4829.3	8400.0	3570.7	14.2	1058.1	730.0	328.1

Amostra	Massa da H ₂ O no cartucho (g)	Sub amostra húmida no cartucho (g)	Solo húmido no molde (Kg)	Massa da H ₂ O no molde(kg)	M/(1+HG)	HG	HG (%)	D (Mg/m ³)
C.1.1	131.4	1128.5	3.5875	0.4177	0.0032	0.13	13	1.37
C.2.1	150.4	1207.8	3.5207	0.4384	0.0031	0.14	14	1.33
C.1.2	186.1	1059.9	3.6995	0.6496	0.0031	0.21	21	1.31
C.2.2	192.6	1166.8	4.0707	0.6719	0.0034	0.2	20	1.46
C.1.3	319.7	1139.0	3.8875	1.0912	0.0028	0.39	39	1.20
C.2.3	232.4	1048.1	3.9707	0.8804	0.0031	0.28	28	1.33
C.1.4	280.6	1111.1	3.7375	0.9439	0.0028	0.34	34	1.20
C.2.4	312.8	1252.4	3.7707	0.9418	0.0028	0.33	33	1.22
C.1.5	353.6	1173.7	3.4875	1.0507	0.0024	0.43	43	1.05
C.2.5	328.1	1043.9	3.5707	1.1223	0.0024	0.46	46	1.05

D=Densidade do solo

M=Massa do solo húmido no molde

HG=Humidade gravimétrica

Anexo 3

Tabelas dos valores para a determinação das equações de regressão e coeficientes de determinação da relação entre a textura (argila e limo+argila) e a densidade máxima do solo

Tabela 3.1. Valores da textura (argila e limo+argila) e da densidade máxima do solo para a determinação das equações de regressão.....	55
Tabela 3.2. Valores dos coeficientes para as equações da densidade máxima do solo em função da percentagem de argila e limo+argila.....	56
Tabela 3.3. Valores para o cálculo dos coeficientes de determinação (R^2).....	57

4

Tabela 3.1. Valores da textura (argila e limo+argila) e da densidade máxima do solo para a determinação das equações de regressão

Dados da relação entre a textura (limo+argila) e a densidade máxima do solo		Dados da relação entre a textura (argila) e a densidade máxima do solo			
Limo+argila (%)	DM (Mg/m ³) (valores lidos no gráfico)	Argila (%)	DM (Mg/m ³) (valores lidos no gráfico)		
Limo+argila < 25%	10.40	1.74	Argila < 20%	9.12	1.71
	12.02	1.76		10.33	1.74
	13.64	1.79		11.54	1.77
	15.26	1.82		12.75	1.81
	16.88	1.84		13.96	1.83
	18.50	1.86		15.16	1.85
	20.12	1.88		16.37	1.87
	21.74	1.89		17.58	1.89
	23.36	1.90		18.79	1.90
	25.00	1.91		20.00	1.91
Limo+argila > 25%	25.00	1.91	Argila > 20%	20.00	1.91
	28.89	1.89		22.78	1.90
	32.78	1.85		25.56	1.87
	36.67	1.79		28.33	1.84
	40.56	1.73		31.11	1.79
	44.48	1.67		33.89	1.74
	48.36	1.60		36.67	1.69
	52.26	1.53		39.44	1.65
	56.14	1.46		42.22	1.59
	60.00	1.39		45.00	1.52

Tabela 3.2. Valores dos coeficientes (a, b e c) para as equações da densidade máxima do solo em função da percentagem de argila e limo+argila.

	Textura	Valores das constantes		
		a	b	c
Limo+argila	Limo+argila<25%	-0.000520	0.030417	1.475026
	Limo+argila>25%	-0.000164	-0.001524	2.063298
Argila	Argila<20%	-0.001088	0.050348	1.338766
	Argila>20%	-0.000390	0.005498	1.939730

Tabela 3.3. Valores para o cálculo dos coeficientes de determinação (R^2)

	Limo+argila e a "DM"					Argila e a "DM"			
	x_i	y_i	Y_i	R^2		x_i	y_i	Y_i	R^2
Limo+argila < 25%	10.40	1.74	1.74	0.93	Argila < 20%	9.12	1.74	1.71	0.90
	14.86	1.78	1.81			12.08	1.78	1.80	
	22.10	1.89	1.89			18.76	1.89	1.90	
Limo+argila > 25%	26.75	1.76	1.91	0.79	Argila > 20%	21.11	1.76	1.88	0.66
	38.20	1.73	1.77			33.30	1.73	1.69	
	45.44	1.48	1.66			24.90	1.48	1.83	
	54.57	1.46	1.49			44.53	1.46	1.41	
	57.16	1.45	1.46			45.98	1.45	1.36	
	70.53	1.35	1.14			59.75	1.35	0.88	

x_i – Valores observados da textura (Argila ou Limo+argila)

y_i – Valores observados da densidade máxima do solo

Y_i – Valores teóricos da densidade máxima do solo (estimados pela equação de regressão).