ALTERAÇÕES EM CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EM UMA TRANSEÇÃO DE SOLOS ORGÂNICOS DA PLANÍCIE COSTEIRA DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL POR EFEITO DA DRENAGEM.

Ivan Witte -

Dissertacão apresentada como um dos requisitos para a obtencão do Grau de Mestre em Ciência do Solo, Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre

Janeiro, 1990

1/ Engenheiro Agrônomo (UFSC, 1983)

CIP - CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

W828a Witte, Ian
Alterações em características físicas em uma transeção de solos orgânicos da planície costeira do estado do Rio Grande do Sul por efeito da drenagem / Ivan Witte. - Porto Alegre : Faculdade de Agronomia da UFRGS, 1990.
xi,119f. : il.

Diss. (Mestr. Ciência do Solo) - UFRGS. Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Porto Alegre, 1990.

1. Solo orgânico: Manejo. 2. Solo orgânico: Características físicas. 3. Solo orgânico: Subsidência. 4. Solo orgânico: Drenagem. I- Título.

CDD: 631.4
CDU: 631.4(043.5)

Catalogação na publicação: Biblioteca Setorial da Faculdade de Agronomia da UFRGS.

IVAN WITTE
Engº Agrº (UFSC-EMPASC)

DISSERTAÇÃO

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

MESTRE EM CIENCIA DO SOLO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
FACULDADE DE AGRONOMIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Aprovada em: 04.01.1990
Pela Banca Examinadora

NESTOR KÄMPF
Orientador

MÁRIO SÉRGIO VAZ-CABEDA

PAULO SCHNEIDER

Homologada em: 04.05.1990
Por,

CAIO VIDOR
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Agronomia

EMA MAGALHÃES LEBOUTE
Diretora da Faculdade de
Agronomia

AGRADECIMENTOS

Aos professores Nestor Kämpf e Paulo Schneider pela dedicação e incentivo a este trabalho.

A EMPASC, ao CNPq e ao PROJETO PROFIR/PROVÁRZEAS pelos apoios financeiros que possibilitaram a realização do curso e deste trabalho.

Aos funcionários e professores do Departamento de Solos, em especial ao Jorge e Finamor pelos auxílios nos trabalhos de campo.

Aos colegas de estudos, em particular ao Alcides, Caio, Felipe, Marilú, Rigoberto e Soeni pelas demonstrações de companheirismo.

Em especial à minha esposa Goretti pelo permanente apoio e espírito de sacrifício e aos nossos filhos Ivan Rodrigo, Indira, Yuri e Thiago, aos quais dedico este trabalho.

ALTERAÇÕES EM CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EM UMA TRANSEÇÃO DE SOLOS ORGÂNICOS DA PLANÍCIE COSTEIRA DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL POR EFEITO DA DRENAGEM.

1/

Autor: Ivan Witte
Orientador: Prof. Nestor Kampf

RESUMO

Este trabalho objetivou obter parâmetros que avaliem o potencial de modificação física de Solos Orgânicos pela drenagem.

Nas camadas subsuperficiais não drenadas a densidade de material orgânico (Dmo) é relativamente baixa e constante (0,085 g/cm3) e a densidade de cinzas (Dcz) tende a aumentar com a profundidade, condicionando a densidade de solo (Ds) (r=0,999) a qual é afetada pelo teor de material orgânico (%MO) (r=-O,986). A umidade gravimétrica (Ug) estima a Ds (r=-0,997) e a %MO (r=0,986). Estas camadas contraem por secagem de acordo com a sua Ds (r=0,935), %MO (r=-0,909) e Ug (r=0,948), ocorrendo aeração do solo somente após grandes reduções (superiores a 40%) no seu volume. Na camada superficial de 20cm drenada a %MO afeta a Ds (r=-0,906), não se verificando as demais relações obtidas nas camadas não drenadas.

Durante a subsidência ocorre acumulação de partículas minerais na camada superficial de 40cm. A Dmo atinge valor médio relativamente alto e constante (0,17 g/cm3) e a Dcz aumenta gradativamente condicionando a redução da %M0 até 38% e o aumento da Ds até 0,45 g/cm3; valores de %MO e de Ds respectivamente menores e maiores são atingidos quando a subsidência excluir o solo da categoria dos Solos Orgânicos por reduzir a sua espessura à menos de 40cm.

1/ Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (119p.) - Janeiro, 1990.

MODIFICATIONS IN PHYSICAL PROPERTIES IN AN TRANSECTION OF ORGANIC SOILS IN THE COASTAL PLAIN OF THE RIO GRANDE DO SUL STATE BY DRAINAGE EFFECT. 1/

Author: Ivan Witte
Adviser: Prof. Nestor Kämpf

SUMMARY

The objetive of this work is to obtain parameters to evaluate the physical modification potential of Organic Soils by drainage.

In the undrained layers the organic matter bulk density (DbOM) is relatively low and constant (0,085 g/cm3) and the ash bulk density (DbASH) tends to increase according to the depth, affecting the soil bulk density (Db) (r=0.999) which is affected by organic matter content (OH%) (r=-0.986). The water content. (in weigth basis) estimates the BD (r=-0.997) and the OM% (r=0.986). Drying layers shrinck according to their Db (r=0.935), OM% (r=0.909) and water content (r=0.948); and the soil aeration occurs only after great reduction of its volum (higher than 40%). In the drained 20cm depth the OM% affects the Db (r=-O.906), but other relationships among the physical characteristics it doesn't happen.

With the subsidence occurs mineral particles acumulation up to 40cm depth. The DbOM gets medium value relatively hight and constant (0.17gicm3) and the DbASH gradually increases, conditioning the decrease of OM% until 38% and the increase of Db until 0.45g/cm3. These OM% and Db values are riched respectively to smaller and higher values when the subsidence excludes the soil from the Organic Soils category due to decrease of its tickness to less than 40cm.

1/ M.Sc. Dissertation in Soil Science, School of Agronomy, Federal University of Rio Grande do Sul (119p.) - January, 1990.

SUMARIO

Página

1. Introdução 1

2. Revisão Bibliográfica 4
   2.1. Formação dos Solos Orgânicos 4
   2.2. Caracterização dos Solos Orgânicos 6
      2.2.1. Teor de material orgânico e densidade de solo 7
      2.2.2. Umidade e densidade de solo 9
      2.2.3. Teor de fibras 10
   2.3. Drenagem, contração e subsidência 11
   2.4. Classificação dos Solos Orgânicos 15

3. Material e Métodos 17
   3.1. Material 17
   3.2. Métodos 18
      3.2.1. Metodologia de campo 18
      3.2.2. Metodologia de laboratório 20
         3.2.2.1. Umidade volumétrica, umidade gravimétrica e densidade de solo 20
         3.2.2.2. Resíduo mínimo por contração 20
         3.2.2.3. Teor de material orgânico ... 21
         3.2.2.4. Densidade de material orgânico e densidade de cinzas 21
         3.2.2.5. Densidade de partículas e Porosidade total do solo 21
         3.2.2.6. Resíduo mínimo por eliminação do material orgânico 22
         3.2.2.7. Densidade de solo contraído, densidade de material orgânico de solo contraído, densidade de cinzas de solo contraído e porosidade total de solo contraído 22
         3.2.2.8. Curvas da contração 22
      3.2.3. Análise estatística 23

4. Resultados e Discussão 24
4.1. Descrição geral 24
4.1.1. O perfil modelo 25
4.1.2. Classificação dos perfis 27
4.1.3. Teor de material orgânico e densidade de solo 27
4.1.4. Umidade do solo 31
4.2. A identificação das camadas não drenadas 33
4.3. As camadas não drenadas 34
4.3.1. Densidade de material orgânico e densidade de cinzas 38
4.3.2. Densidade de solo e teor de material orgânico 42
4.3.3. Porosidade e umidade do solo 49
4.3.4. Densidade de solo úmido 57
4.4. As camadas superficiais drenadas 59
4.5. Contração do solo 64
4.5.1. Estimativa da contração 65
4.5.2. Drenagem, contração e subsidência 76
4.5.3. Alterações nas características do solo por efeito da contração 79
4.6. Alterações do Solo Orgânico com a subsidência 84

5. Conclusões 95

6. Citações Bibliográficas 99

7. Apêndices 103

RELAÇÃO DE TABELAS

Página

1. Relações obtidas, por diferentes autores, entre a densidade de solo e o teor de cinzas, o teor de material orgânico, o teor de carbono e a umidade gravimétrica em Solos Orgânicos 8

2. Teores máximos e médios de material orgânico; amplitudes de variação e valores médios da densidade de solo na camada orgânica ao longo da transeção . 30

3. Amplitudes de variação e valores médios da umidade volumétrica e da umidade gravimétrica na camada orgânica ao longo da transeção 32

4. Valores médios do teor de material orgânico, da densidade de solo, da densidade de cinzas e da densidade de material orgânico na camada superficial de 20cm ao longo da transeção 61

5. Valores médios do teor de material orgânico, da densidade de solo, da densidade de cinzas e da densidade de material orgânico na camada superficial de 40cm ao longo da transeção 86

6. Valores médios do resíduo mínimo por contração, do resíduo mínimo por eliminação do material orgânico e da espessura residual por contração e por eliminação do material orgânico da camada orgânica ao longo da transeção 92

RELAÇAO DE FIGURAS

Página

1. Planta plani-altimétrica da área com a localização da transeção 19

2. Distribuição vertical da densidade de cinzas, da densidade de solo e do teor de material orgânico no perfil modelo 26

3. Variações das cotas da superfície do solo e do substrato mineral ao longo da transeção 28

4. Distribuição da densidade de material orgânico ao longo da transeção 35

5. Distribuição da densidade de cinzas ao longo da transeção 36

6. Relação entre o teor de material orgânico e a densidade de partículas nos solos estudados 37

7. Relação entre a densidade de cinzas e a densidade de material orgânico nas camadas não drenadas e e drenadas 40

8. Relação entre a densidade de cinzas e a densidade de solo nas camadas não drenadas 45

9. Relação entre o teor de material orgânico e a densidade de solo nas camadas não drenadas e drenadas 47

10. Relação entre a densidade de solo e a porosidade total do solo nas camadas não drenadas e drenadas 50

11. Relação entre a densidade de solo e a densidade de partículas nas camadas não drenadas 51

12. Relação entre a densidade de solo e a umidade volumétrica nas camadas não drenadas 52

13. Relação entre a umidade volumétrica e a umidade gravimétrica nas camadas não drenadas 53

14. Relacão entre o teor de material orgânico e a umidade gravimétrica nas camadas não drenadas 55

15. Relação entre a densidade de solo e a umidade gravimétrica nas camadas não drenadas e drenadas 56

16. Relação entre a densidade de solo e a densidade de solo úmido nas camadas não drenadas 58

17. Relação entre o teor de material orgânico e a densidade de solo úmido nas camadas não drenadas 60

18. Relação entre o teor de material orgânico e a densidade de solo nas camadas superficiais de 20cm drenadas 63

19. Relação entre a densidade de solo e o resíduo mínimo por contração nas camadas orgânicas não drenadas 66

20. Relação entre a umidade volumétrica e o resíduo mínimo por contração nas camadas orgânicas não drenadas 68

21. Relação entre a umidade gravimétrica e o resíduo mínimo por contração nas camadas orgânicas não drenadas 70

22. Relação entre o teor de material orgânico e o resíduo mínimo por contração nas camadas orgânicas não drenadas 71

23. Relação entre a densidade de solo úmido e o resíduo mínimo por contração nas camadas orgânicas não drenadas 72

24. Relação entre a densidade de cinzas e a densidade de material orgânico nas camadas orgânicas não drenadas e drenadas após contração máxima por secagem 74

25. Gráfico para determinação do resíduo mínimo por contração e do resíduo mínimo por eliminacão do material orgânico 75

26. Relacão entre o volume residual de solo e o volume residual de água, a umidade volumétrica e a porosidade total do solo durante a contração por secagem 78

27. Relação entre o teor de material orgânico e a porosidade total do solo nas camadas não drenadas antes e após contração máxima por secagem 81

28. Relação entre o teor de material orgânico e a umidade gravimétrica nas camadas não drenadas antes e após contração máxima por secagem 82

29. Relação entre o teor de material orgânico e a densidade de solo nas camadas não drenadas antes e após contração máxima por secagem 83

30. Representação da estimativa da densidade de cinzas, da densidade de material orgânico, da densidade de solo e do teor de material orgânico na camada superficial de 40cm com o avanco da subsidência 88

1. INTRODUÇAO

Os Solos Orgânicos possuem particularidades que os diferenciam significativamente dos solos minerais e entre si. Entre elas destacam-se seus altos e variáveis teores de material orgânico, associados a baixas densidades de solo, e sua elevada porosidade total e capacidade de retenção de água. Normalmente ocorrem em locais com relevo plano, com cotas inferiores às áreas adjacentes, sendo conseqüentemente mal drenados.

A retirada de parte da água pela drenagem resulta, em curto espaço de tempo, em alterações irreversíveis no solo, principalmente de ordem física, como o aumento de sua densidade por efeito da contração física. As condições aeróbias criadas favorecem a decomposição do material orgânico pelos microrganismos. O solo perde volume e o gradativo rebaixamento da sua superfície, conhecido como subsidência, pode comprometer economicamente a continuidade do seu uso agrícola convencional e constitui o maior problema no manejo e na conservação dos Solos Orgânicos.

O potencial de uso de um Solo Orgânico, além de ser definido pelas características de seu material

constituinte, também é definido pela cota do seu local de ocorrência e pela natureza do material mineral subjacente. Em locais com pouca diferença de cota em relação ao nível dos cursos ou corpos de água, a subsidência pode impedir, em pouco tempo, a drenagem do Solo Orgânico. Por outro lado, após a total eliminação do material orgânico, o resíduo mineral remanescente, combinado com o material mineral subjacente, formará um solo mineral cujas qualidades dependem destes materiais.

A variabilidade criada por diferentes estágios de subsidência dentro de um mesmo sítio, a variabilidade natural existente entre os Solos Orgânicos formados em diferentes ambientes, assim como a natureza de seus substratos minerais, não têm sido levadas em consideracão nas recomendações de uso e manejo, pela falta de parâmetros que os diferenciem. O desconhecimento de suas características básicas costuma levar à superestimação de seu potencial de uso agrícola resultando frequentemente em malogros econômica e ecologicamente irreparáveis.

A pressão de uso da terra tem sido responsável pela incorporação de extensas áreas de Solos Orgânicos ao processo produtivo, sem que se tenha informações científicas suficientes para formular recomendações técnicas para orientar o uso destes solos. Percebe-se, portanto, a importância da diferenciação e da classificação dos Solos Orgânicos, bem como de seus ambientes de formação, visando indicar seu potencial de uso agrícola atual e futuro.

Entretanto, a Classificação Brasileira de Solos (CAMARGO et al., 1987) faz pouca distinção entre os Solos Orgânicos. Os parâmetros a serem selecionados para caracterizar e classificar estes solos, conforme sugestão dos participantes do Simpósio Nacional de Solos Orgânicos (BRASIL, 1984) devem contribuir, isolada ou associadamente, para diferenciá-los dos solos minerais, indicar o seu potencial de modificação quando drenados e cultivados, prever a qualidade do solo mineral residual e permitir a avaliação da sua aptidão agrícola.

O objetivo geral deste trabalho é obter parâmetros que permitam avaliar o potencial de modificação física de Solos Orgânicos pela drenagem, através da caracterização de uma transeção de Solos Orgânicos do Rio Grande do Sul apresentando diversos graus de subsidência. Os objetivos específicos são avaliar: (1) as relações entre as características físicas de Solos Orgânicos, (2) a participação relativa da contração física na subsidência, (3) as alterações sofridas pelos Solos Orgânicos por efeito da subsidência.

2. REVISAO BIBLIOGRAFICA

2.1. Formação dos Solos Orgânicos

A formação dos Solos Orgânicos ocorre quando a taxa de deposição de material orgânico excede a decomposição. As condições anaeróbias limitam a vegetação às plantas tolerantes à saturação com água e a continuidade de deposição deste material (pela elevação gradativa e concomitante do lençol freático) é definida como processo de paludização. Este processo é considerado geogenético, em contraposição aos pedogenéticos desencadeados com a drenagem (PONS, 1960).

A taxa de acumulação do material orgânico é muito variável e depende (1) da produtividade da vegetação contribuinte, a qual é condicionada pela espécie, localização geográfica, etc., sendo o tipo de vegetação fornecedora do material orgânico dependente da riqueza do meio ambiente em nutrientes (oligotrófico, mesotrófico, eutrófico) e do clima (PONS, 1960); e (2) da taxa de decomposição do material orgânico, a qual aumenta principalmente com a maior disponibilidade de oxigênio e com o aumento da temperatura

(BELKOVSKIY & RESHETNIK, 1981); além disso, o baixo pH dos Solos Orgânicos tropicais também restringe significativamente a sua decomposição, segundo BAILEY (1950).

Datações de carbono revelando idade de 4.500 anos para Solos Orgânicos de Sarawak serviram de base para calcular a taxa de paludização destes solos. Foram estimados 47 cm/século para as camadas inferiores e 22 cm/século para as superiores (WILFORD, 1959, 1962 apud LIONG & SIONG, 1979); as causas mais prováveis destas reduções nas taxas quando o depósito eleva a sua superfície são: a diminuição do conteúdo de nutrientes que resulta no declínio da produção de material orgânico e a maior aeração, que aumenta a taxa de decomposição (LIONG & SIONG, 1979).

Por outro lado, a paludizacão raramente é ininterrupta ou unidirecional. A ocorrência ocasional e temporária dos processos pedogenéticos, o que pode ser estimado pela ocorrência de limites entre horizontes, reflete períodos em que prevaleceram climas secos (PONS, 1960).

Os Solos Orgânicos não drenados possuem uma armação orgânica aberta e esquelética que não se altera quando seus espaços intersticiais são ocupados por partículas minerais (LYNN et al., 1974). Estas partículas são incorporadas principalmente pela ação das enchentes dos rios formando as camadas denominadas "topógenas" e mais ricas em nutrientes. As camadas que se formam acima do nível das enchentes são denominadas "ombrógenas"; nestas ocorre apenas reciclagem de seus próprios nutrientes, sendo a atividade microbiana

menor do que nas "topógenas" (ANDRIESSE, 1984).

2.2. Caracterização dos Solos Orgânicos

Os Solos Orgânicos são usualmente caracterizados pela sua densidade de solo e seu conteúdo de fibras (por serem facilmente medidos e distinguíveis a campo) e pela sua solubilidade em solução de pirofosfato de sódio. Estas características variam de acordo com o seu ambiente de formação (paludização) e são muito afetadas pela drenagem e uso do solo. Segundo BOELTER (1969) elas relacionam-se significativamente ao conteúdo de material orgânico do solo, a CTC, a relação C/N, a porosidade, a umidade do solo, a condutividade hidráulica, a capacidade de retenção de água, sendo o seu conhecimento necessário para o manejo dos diferentes Solos Orgânicos. Por outro lado, elas representam a base para a classificação de Solos Orgânicos ao nível de subordem nos EUA (U.S. SOIL SURVEY STAFF, 1975) e ao nível de Grande Grupo no Canadá (CANADA SOIL SURVEY COMMITTEE, 1978).

A determinação da densidade de solo (Ds) envolve procedimentos simples e resulta em valores de elevada acuracidade. Alguns autores, pesquisando Solos Orgânicos formados sob diferentes condições climáticas e geológicas, obtiveram uma relação significativa entre a Ds e outras características de solo, especialmente a natureza da fase sólida (representada pelo seu teor de material orgânico, ou

de cinzas ou de carbono) e o conteúdo de umidade em base de massa (Ug), conforme Tabela 1. As relações exponenciais foram obtidas em amostras de solos predominantemente não drenados e as lineares a partir de solos drenados.

2.2.1. Teor de material orgânico e densidade de solo

LYNN et al. (1974), estudando Solos Orgânicos cultivados e não cultivados, concluem pelo efeito significativo do material mineral na Ds, devido a sua alta densidade de partículas em comparação ao material orgânico. A elevação no teor de cinzas (%Cz) de 0 à 65% aumenta pouco a Ds, enquanto que acima de 85%, correspondendo aproximadamente aos solos minerais, o aumento é considerável.

A densidade de material orgânico (Dmo) representa a concentração da armação orgânica em g/cm3 de solo sendo determinada pelo produto (Ds x %MO) / 100. A Dmo permanece relativamente constante (ou decresce muito pouco) quando o teor de cinzas aumenta de 0 para 65%, situando-se geralmente entre 0,07 e 0,08 g/cm3 segundo as observações de LYNN et al., (1974); maiores amplitudes são encontradas em Solos Orgânicos com baixo teor de cinzas e diferentes composições botânicas, onde a Dmo aumenta com a diminuição do teor de fibras (NICHOLS & BOELTER, 1984). Em Solos Orgânicos do Rio Grande do Sul foram encontrados valores de Dmo variando entre 0,03 e 0,11 g/cm3 em camadas não drenadas, sendo o

TABELA 1. Relações obtidas, por diferentes autores, entre a densidade de solo (Ds) e o teor de cinzas (%Cz), o teor de material orgânico (%MO), o teor de carbono (%C) e a umidade gravimétrica (%Ug) em Solos Orgânicos.

Equação	r	Autor
Ds = 0,047 e exp 0,025%Cz	0,82	FINNEY et al., 1974
Ds = 0,152 + 0,0054%Cz	0,85	VAN LIEROP, 1981
Ds = 0,84 - 0,015%C	-0,89	GODEFROY, 1977
log Ds = 0,956-0,941 log%MO	-0,89	KÄMPF & SCHNEIDER, 1989
Ds = 14,707 Ug exp -0,731	-0,95	VAN LIEROP, 1981
Ug = 1.788 exp (-7,25Ds)	-0,92	KÄMPF & SCHNEIDER, 1989

menor valor correspondente a um horizonte fíbrico originado de sphagnum, enquanto que valores maiores que 0,11 g/cm3 ocorrem em horizontes superficiais drenados e cultivados (KÄMPF & SCHNEIDER, 1989). LYNN et al. (1974) relatam valores de Dmo acima de 0,15 g/cm3 para solos cultivados. A equação proposta por VAN LIEROP (1981) para estimar a Ds da %Cz (vide Tabela 1), também indica valores altos para Solos Orgânicos drenados, obtidos pela equação Ds x [(100 - %Cz) / 100)].

2.2.2. Umidade e densidade de solo

Os Solos Orgânicos apresentam altos valores de umidade volumétrica (Uv) e de umidade gravimétrica (Ug), a segunda pode ser utilizada para estimar a Ds quando a retirada de amostras com volume conhecido é problemática como, por exemplo, de camadas subsuperficiais profundas.

As equações propostas mostram decréscimo exponencial da Ug com o aumento da Ds (Tabela 1). Segundo VAN LIEROP (1981), relações idênticas são encontradas em Solos Orgânicos formados sob condições ambientais bem diferentes. A relação entre Ug e Ds é consequência do condicionamento da Ug pelo teor de material orgânico; amostras superficiais drenadas não acompanham esta tendencia devido a diminuição de sua capacidade de absorção de água pelo ressecamento e contração irreversível que sofreram, aumentando sua Ds (KÄMPF & SCHNEIDER, 1989).

2.2.3. Teor de fibras

Um método de campo para avaliar o grau de alteração do Solo Orgânico, utilizado principalmente na Europa, baseia-se na compressão de um volume de solo na mão, observando-se o aspecto e a quantidade das fibras que permanecem na mão e a cor da água perdida entre os dedos; desta maneira, os Solos Orgânicos podem ser classificados em dez categorias de decomposição (VON POST, 1922 apud STANEK & SILC, 1977).

Mais recentemente passou-se a determinar o conteúdo de fibras esfregadas, em análises de rotina nos EUA e no Canadá, pela facilidade de sua execução; uma seringa calibrada é usada para medir o volume de solo retido em peneira de 0,15mm após esfregamento e lavagem com água corrente (LYNN et al., 1974). A avaliação do grau de alteração através das fibras esfregadas apresenta certas limitações, sendo difícil obter-se um esfregamento uniforme por tratar-se de operação manual. Isto resulta em variabilidade de dados, dificultando a comparação de valores obtidos por diferentes operadores. Além disso, falta precisão e sensibilidade para o seu uso conjuntamente com outros procedimentos de caracterização executados em laboratório com controle muito mais rigoroso como, por exemplo, a solubilidade do solo em solução de pirofosfato de sódio e a CTC (LEVESQUE & DINEL, 1977).

Por outro lado, na determinação do conteúdo de

fibras em Solos Orgânicos drenados pode ocorrer confundimento de fibras com agregados estáveis (LEVESQUE et al., 1980).

2.3. Drenagem, contração e subsidência

Na caracterização dos Solos Orgânicos, o grau de modificação é quantificado indiretamente e em termos relativos pela medição de características físicas ou químicas que mudam quando avança a alteração.

A drenagem do solo interrompe a acumulação de material orgânico por favorecer a sua decomposição; seguem-se perdas de volume do solo, resultando em permanente e irreversível rebaixamento da superfície. Este fenômeno é conhecido como subsidência.

Independente das características do ambiente de formação dos Solos Orgânicos, tanto processos físicos como bioquímicos, desencadeados pela drenagem, contribuem para a subsidência.

Os processos físicos levam inicialmente ao assentamento das camadas drenadas pela diminuição da força de empuxo que a água lhes concedia; seguem-se contração e formação de fendas que não desaparecem quando o solo é reumedecido, o que evidencia a irreversibilidade do processo (MAC FARLANE & WILLIAMS, 1974). Conforme PONS (1960), estas mudanças ocorrem principalmente nos primeiros anos em todas as camadas acima do lençol freático.

A estimativa da contração é importante para interpretar as recomendações de fertilizantes (VAN LIEROP, 1981), pois aumenta a razão entre a massa e o volume de sólidos presente no solo. O autor relata aumento de até 194% na Ds por secagem.

Segundo ANDERSON & BEVERLY (1985) a umidade do solo afeta o seu potencial de contração física e nos Solos Orgânicos a alta umidade presente resulta em maiores contrações por secagem do que as que ocorrem em solos minerais.

A erosão eólica também é citada como agente físico de subsidência em Solos Orgânicos de Quebec, Canadá; foram observadas taxas de subsidência de 0,99±1,59 cm/ano e 4,53±2,29 cm/ano, respectivamente, em áreas protegidas e não protegidas contra esta erosão (PARENT et al., 1982). Estes resultados, no entanto, foram contestados por LEVESQUE & MATHUR (1984) que afirmam não terem sido levadas em consideração características químicas de solo que afetam a taxa de subsidência, assim como características eólicas nas áreas.

A longo prazo, os processos bioquímicos (humificação e mineralização do solo por oxidação química e biológica) que ocorrem nas camadas drenadas são considerados os maiores responsáveis pela subsidência. Os tecidos vegetais são parcial ou totalmente afetados por melhorias promovidas nas condições químicas do solo através da adubação e do cultivo, as quais estimulam a atividade microbiana e favorecem o fracionamento de componentes orgânicos. São

formados materiais húmicos escuros, que se depositam em volta de resíduos mais dificilmente degradáveis como, por exemplo, a lignina. A identificação dos restos vegetais originais fica impossibilitada e parte do material orgânico desaparece do solo, ocorrendo concentração de partículas minerais e alguns nutrientes na camada superficial (PONS, 1960).

Um exemplo de taxa de mineralização é fornecido para Solo Orgânico de Rovno Oblast, Ucrânia, com 11,5 e 7,5 ton. métricas/ha/ano de material orgânico sob, respectivamente, monocultura de beterraba açucareira e rotação de cereais (YEVDOKIMOVA et al., 1976). Em Solos Orgânicos da Rússia observou-se liberação horária de 0,08 à 3,29 kg CO2/ha (BELKOVSKIY & RESETNIK, 1981), conforme a temperatura do solo e do ar, umidade do solo, condições meteorológicas e do tipo da cultura instalada. No entanto, os autores alertam que o montante de CO2 liberado não serve como critério objetivo para avaliar a taxa de decomposição do material orgânico do solo, pois a mesma é fortemente influenciada pela atividade do sistema radicular das plantas.

A participação relativa da contração física e da decomposição biológica do solo na subsidência não é bem conhecida, sendo divergentes as opiniões existentes. De acordo com MATHUR & LEVESQUE (1977), de maneira geral a taxa de subsidência decresce exponencialmente com o passar do tempo.

Logo após o início da drenagem observam-se grandes

diferenças nas taxas de subsidência, presumivelmente por efeito principal da contração física do solo. Para ilustrar, na Rússia constatou-se que em 60 anos de uso a taxa de subsidência foi de 3 a 3,5 cm/ano na primeira década e de 1,5 a 2,5 cm/ano nos anos subseqüentes, conforme YEVDOKIMOVA et al. (1976). Já em um Solo Orgânico de Sarawak, observou-se subsidência de 60cm nos dois primeiros anos após a drenagem, baixando para 6 cm/ano mantendo o lençol freático a 75-105cm de profundidade (LIONG & SIONG, 1979).

Alguns estudos realizados com Solos Orgânicos no Canadá e nos Estados Unidos mostram uma maior preocupação com o manejo relacionado com o condicionamento das características químicas do solo, visando minimizar a taxa de subsidência. Nestes estudos têm sido alcançados resultados positivos (MATHUR & RAYMENT, 1977) através da inibição da atividade microbiana. Isto mostra que, nestes países, existe menor preocupação com o efeito da contração física na subsidência, pois os solos estudados estão em uso e neles provavelmente já ocorreu grande parte da contração possível.

Estudos conduzidos em laboratório (MAC MILLAN, 1976), efetuados em período de tempo relativamente curto, indicaram que a atividade microbiana precisaria de 94 anos para causar o desaparecimento de uma camada com 20cm, enquanto que em campo isto ocorre em 8 anos; conclui o autor que a oxidação biológica não é o fator responsável pela maior parte da subsidência, e que possivelmente contração, fogo, erosão eólica e hídrica sejam os fatores mais

importantes a serem considerados.

Em adiantado estágio de decomposição do Solo Orgânico ocorre progressivamente a formação de um horizonte superficial denominado "mull" quando o ambiente é eutrófico e rico em partículas minerais, formando-se partículas humus-argila relativamente estáveis. Ambientes oligotróficos e deficientes em argila resultam em horizonte denominado "moder", nos quais o material orgânico não tem contato íntimo com partículas minerais (VAN HEUVELN et al., 1960).

O conhecimento do rebaixamento máximo da superfície do Solo Orgânico, após a total eliminação do material orgânico, é importante pois permite prever a cota em que se situará o solo mineral remanescente e, consequentemente, as possibilidades futuras de drenagem livre. A espessura de solo remanescente é denominada de resíduo mínimo (RM), sendo estimada pela espessura da camada orgânica e pela quantidade de partículas minerais que esta camada contém (LYNN et al., 1974).

2.4. Classificação dos Solos Orgânicos

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA/SNLCS, 1988) estabelece os seguintes parâmetros para classificar os Solos Orgânicos: (i) espessura mínima de 40cm de camada orgânica, contendo no mínimo 8% de C orgânico para solos sem argila, e 12% para solos com mais de 60% de argila e teores proporcionais de C orgânico para

conteúdos intermediários de argila; (2) espessura mínima de 60cm quando 75% ou mais do volume do solo for constituído por fibras de Sphagnum ou se o solo tiver densidade menor que 0,10 g/cm3; (3) qualquer espessura para camada orgânica jacente sobre rocha.

Conforme CAMARGO et al. (1987), características como eutrofismo, distrofismo, tiomorfismo e caráter álico também distinguem os Solos Orgânicos.

KÄMPF & SCHNEIDER (1989) propõem que sejam classificados como Solos Orgânicos aqueles que apresentam uma espessura de 60cm quando não drenados e de 40cm quando drenados, teor de MO igual ou superior a 20% e densidade de solo igual ou inferior a 0,50 g/cm3, admitindo-se valores superiores de Ds para horizontes H superficiais drenados e cultivados. Estes autores propõem também que os Solos Orgânicos sejam distinguidos: (1) com base no seu teor de MO e na sua Ds em orto-orgânicos (MO > 65%; Ds < 0,15 g/cm3) e para-orgânicos (20 < %MO < 65; 0,50 > Ds > 0,15 g/cm3); (2) com base na espessura da camada orgânica em rasos (40 ou 60cm quando respectivamente drenados e não drenados), pouco profundos (100 e 120cm quando respectivamente drenados e não drenados) e profundos (com espessuras maiores); (3) conforme o grau de decomposição do material orgânico em sáprico, hêmico e fíbrico e (4) conforme o caráter do substrato mineral (glêico, vértico, arênico, lítico e litóide) e sua textura (média, argilosa, muito argilosa).

3. MATERIAL E METODOS

3.1. Material

Na área selecionada para este estudo, predominam Solos Orgânicos.

A área encontra-se na localidade de Granja Pimenta, nas proximidades da margem norte da Lagoa dos Patos, município de Viamão, Rio Grande do Sul. Ela dista aproximadamente 40km da sede do município e aproximadamente 60km de Porto Alegre.

O local onde foram coletados os solos, distante aproximadamente 3km da Lagoa dos Patos, foi selecionado por apresentar relevo menos regular e com declives mais pronunciados que as áreas adjacentes. Esta variação do relevo no local resultou da diferente intensidade de drenagem realizada e reflete diferentes graus de subsidência ali ocorrida.

3.2. Métodos

3.2.1. Metodologia de campo

No local selecionado foi efetuado levantamento topográfico plani-altimétrico. A planta (Figura 1) mostra a locação da transeção na área, na qual ocorre variabilidade nas cotas de superfície. Sondagens preliminares mostraram diferentes resistências à penetração de uma estaca de bambu no solo em diferentes profundidades nos pontos de amostragem, indicando a presença de camadas orgânicas com diferentes espessuras e, consequentemente, diferentes estágios de subsidência, requeridos para a realização deste estudo.

Na transeção retilínea foram locados 22 pontos de amostragem espaçados 20 metros entre si cujas cotas foram obtidas por altimetria. Em cada ponto foram coletadas amostras a cada 5cm de profundidade num total de no mínimo 10 amostras por perfil, atingindo uma profundidade mínima de amostragem de 50cm. Isto permitiu identificar os perfis representativos de Solos Orgânicos pelos critérios taxonômicos vigentes (EMBRAPA /SNLCS, 1988), assim como identificar a espessura da camada orgânica na maioria dos pontos ao longo da transeção.

As amostras foram coletadas com anéis volumétricos de 284 cm3 nas camadas superficiais e trado tubular de PVC (com diâmetro interno de 10cm) nas camadas subsuperficiais. As colunas de solo coletadas com o uso do trado foram

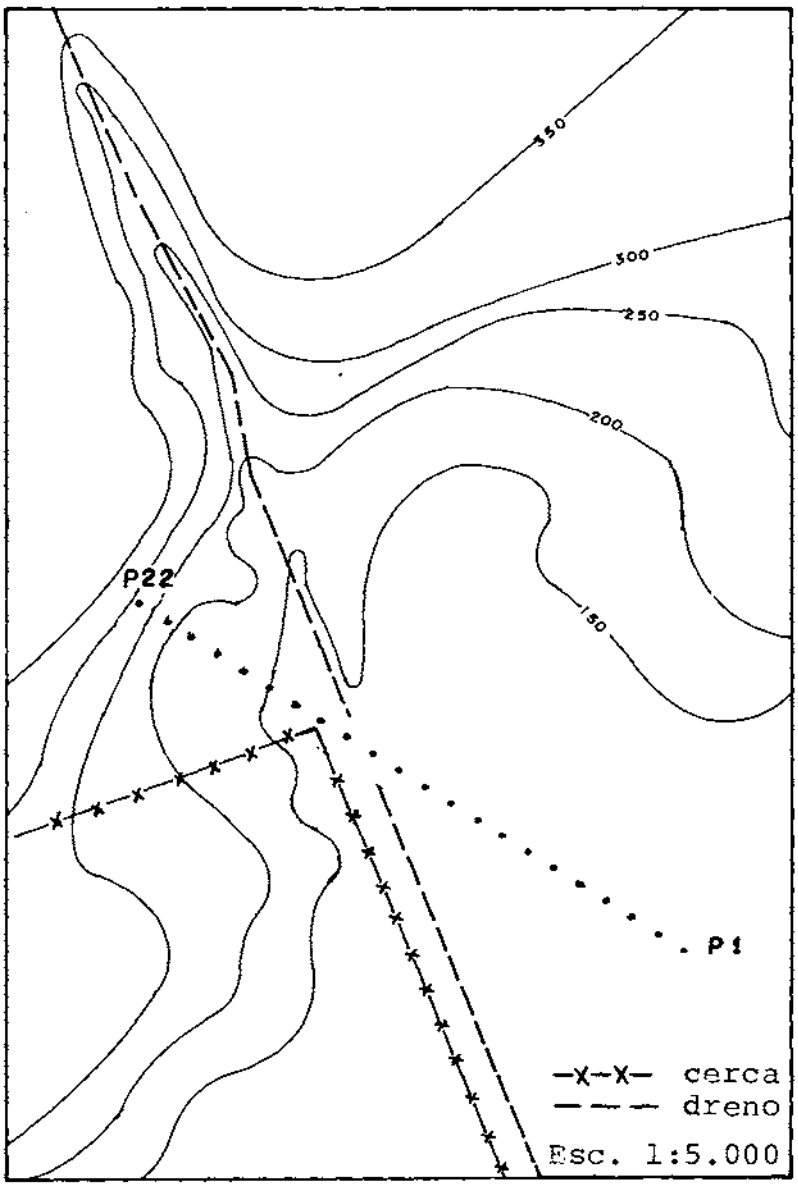


FIGURA 1. Planta plani-altimétrica da área com a localização da transeção.Pi-P22.

seccionadas a cada 5cm, resultando em amostras com um volume de 369 cm3. Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em latas de alumínio e vedadas para evitar perdas de umidade.

Não foram realizadas repetições pois estudos preliminares não indicaram diferenças significativas na densidade de solo e no teor de material orgânico entre amostras em mesma profundidade e em mesmos pontos de amostragem.

3.2.2. Metodologia de laboratório

3.2.2.1. Umidade volumétrica (Uv), umidade gravimétrica (Ug) e densidade de solo (Ds)

A Uv foi determinada segundo FORSYTHE (1975), a Ug segundo GARDNER (1965) e a Ds segundo BLAKE (1965).

3.2.2.2. Resíduo mínimo por contração (RMc)

O RMc representa a razão entre o volume da amostra seca a 105 °C e o volume da amostra inalterada coletada em anel volumétrico, sendo expresso em percentagem. O volume da amostra seca a 105 °C foi determinado através da medição do diâmetro e altura médios.

3.2.2.3. Teor de material orgânico (%MO)

Foi determinado após calcinação em mufla a 550 °C por 6 horas, utilizando amostras previamente moídas em almofariz de porcelana e peneiradas (malha de 2mm), sendo obtido pela razão entre a massa perdida e a massa da amostra seca em estufa a 105 °C e expresso em base de massa.

3.2.2.4. Densidade de material orgânico (Dmo) e densidade de cinzas (Dcz)

A Dmo representa o teor do componente orgânico em massa por volume de solo e foi obtida usando a equação Dmo = (Ds x %MO) / 100, sendo expressa em g/cm3, segundo LYNN et al. (1974). A Dcz estima o teor do componente mineral em massa por volume de solo e foi obtida subtraindo a Dmo da Ds. Exemplificando, um Solo Orgânico com uma Ds de 0,30 g/cm3 e 30% de MO terá uma Dmo de 0,09 g/cm3 (Dmo = 0,30 x 30 / 100) e uma Dcz de 0,21 g/cm3 (Dcz = 0,30 - 0,09 g/cm3).

3.2.2.5. Densidade de partículas (Dp) e porosidade total do solo (P)

A Dp foi determinada segundo o Manual de Métodos de Análises de Solos (EMBRAPA, 1979). A P foi calculada pela equação P = [1 - (Ds/Dp)] x 100.

3.2.2.6. Resíduo mínimo por eliminação do material orgânico (RM)

Após total eliminação do material orgânico do solo, sobra uma camada residual de solo mineral: a razão entre a espessura desta camada e a espessura do Solo Orgânico original é denominada de resíduo mínimo (LYNN et al., 1974), sendo expresso em cm/cm. O RM foi calculado pela razão Dcz / 1,20, sendo 1,20 considerada a densidade do solo residual.

3.2.2.7. Densidade de solo contraído (DsC), densidade de material orgânico de solo contraído (DmoC), densidade de cinzas de solo contraído (DczC) e porosidade total de solo contraído (PC)

A DsC, a DmoC, a DczC e a PC representam estas características no solo após contração máxima por secagem a 105 °C. A DsC, a DmoC e a DczC foram obtidas dividindo, respectivamente, a Ds, a Dmo e a Dcz pelo RMc / 100. A PC foi calculada pela equação PC = [1 - (DsC / Dp)] x 100.

3.2.2.8. Curvas de contração

As curvas de contração foram obtidas através de medições do volume e massa das amostras durante a secagem

(espaçando o tempo entre cada medição conforme observações visuais de perda de volume da amostra) a 50 °C até peso constante. Foram medidos o diâmetro e altura médios das amostras para o cálculo do volume. Os valores obtidos, subtraídos do volume e massa da amostra antes do início da secagem, representam as perdas de volume de solo e volume de água. O volume de água perdido foi considerado como sendo igual a massa de água, ou seja, considerou-se a densidade da água como sendo de 1 g/cm3.

3.2.3. Análise estatística

Foram determinadas: amplitude de valores e médias. As correlações entre as propriedades analisadas foram determinadas por análise de regressão. As equações das relações curvilineares foram obtidas através da resolução de sistemas de equações lineares; exemplificando, a equação que expressa a relação entre a Ds e a Ug foi obtida combinando a equação linear Uv = 93,637 - 36,895Ds com a equação Ug = Uv / Ds, resultando na equação Ug = 93,637 / Ds - 36,895 (Apêndice 3).

Os coeficientes de correlação (r) destas equações foram obtidos através de regressão linear entre os valores estimados e os valores obtidos experimentalmente.

4. RESULTADOS E DISCUSSAO

4.1. Descrição Geral

Na área estudada ocorrem Solos Orgânicos com diferentes graus de drenagem e subsidência. A planta planialtimétrica da área (Figura 1) mostra a ocorrência de subsidência em diferentes graus, indicada pela diminuição das cotas com a proximidade do dreno. A ocorrência de subsidência também pode ser deduzida de informações dos proprietários, que observaram rebaixamento da superfície do solo com o passar dos anos, a partir do início da drenagem, há aproximadamente 50 anos. A presença de pequenas elevações mal drenadas, coincidentes com "olhos de boi" (olhos de água) resulta em microrelevo, o qual indica também a ocorrência de subsidência irregular.

Na transeção, os perfis situam-se em cotas com valores crescentes, onde o primeiro (P1) está localizado na cota de 80cm e o último (P22) na cota de 295cm. Os perfis 3, 4 e 5 situam-se em uma pequena elevação do microrelevo com cota máxima (165cm) superior aos dois primeiros perfis e aos quinze seguintes. A elevação do lençol freático

associada a este micro relevo indica a existência de pressão artesiana, a qual dificulta a drenagem e a subsidência do solo nos pontos 3, 4 e 5.

4.1.1. O perfil modelo

O perfil número 22 situa-se na maior cota (295cm) da transeção estudada. Ele sofreu, portanto, o menor grau de subsidência; isto faz com que suas características sirvam de referência para avaliar as alterações que ocorreram no solo, por efeito da subsidência, observadas ao longo da transeção. No entanto, a sua amostragem (em profundidade) não atingiu o substrato mineral, conforme indicam os elevados teores de MO encontrados (Apêndice 1.22). Na cota de 185cm (na qual se situa a amostra mais profunda do P22) os P21 e P22 possuem os mesmos valores de Dmo e Dcz, conforme se observa comparando os Apêndices 1.21 e 1.22. Portanto, teoricamente as camadas do perfil de número 22 podem ser sobrepostas às camadas do perfil de número 21 situadas em cota inferior a 185cm, formando um modelo que será denominado de perfil modelo original ou abreviadamente de perfil modelo. O perfil modelo, constituído pela camada orgânica dos perfis 21 + 22 e pelo substrato mineral do P21 apresenta, portanto, uma camada orgânica com uma espessura de 220cm. As distribuições verticais da Dcz, da Ds e da %MO neste perfil modelo estão ilustradas na Figura 2.

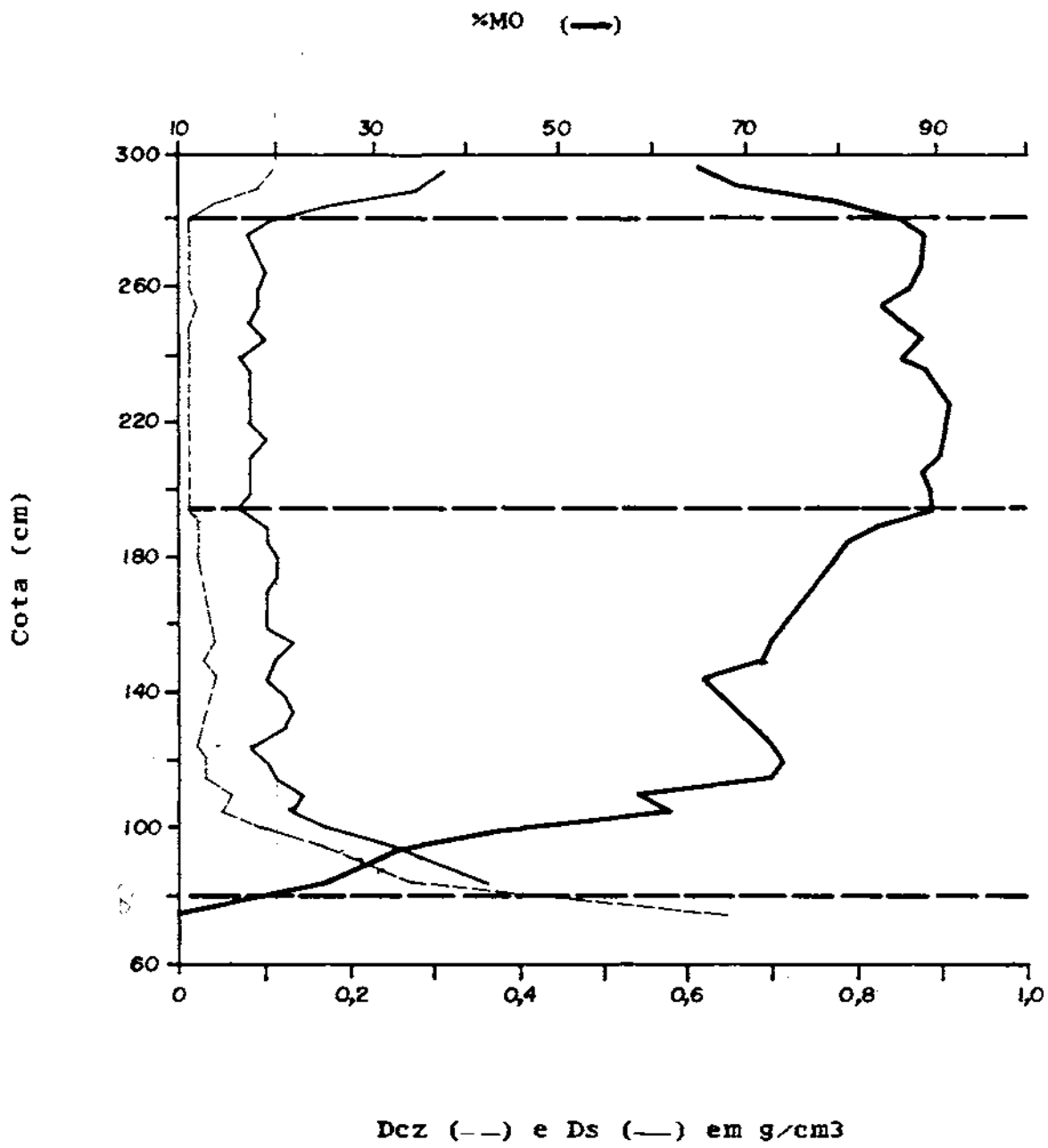


FIGURA 2. Distribuição vertical da densidade de cinzas (Dcz), da densidade de solo (Ds) e do teor de material orgânico (%MO) no perfil modelo.

4.1.2. Classificação dos perfis

Foram consideradas constituintes de camada orgânica as amostras contendo 14% ou mais de material orgânico em base de massa; pois, este valor corresponde aproximadamente ao requisito de proporção mínima de 8% de carbono orgânico, em Solos Orgânicos sem argila (EMBRAPA/SNLCS, 1988).

A camada orgânica, ao longo da transeção, tem sua espessura diminuida com o decréscimo da cota ocupada pelos perfis, sendo máxima no perfil modelo (com 220cm) e mínima no P1 (com 10cm), conforme mostra a Figura 3. Atendendo ao requisito de espessura mínima de 40cm de camada orgânica (EMBRAPA/SNLCS, 1988) são classificados como representativos de Solos Orgânicos os perfis de números 3 a 5 e 12 a 22, todos em cota superior a 110cm. Por outro lado, os perfis de números 1, 2 e 6 a 11, todos em cota igual ou inferior a 110cm não possuem a espessura requerida, sendo classificados como solos Glei Húmicos.

4.1.3. Teor de material orgânico e densidade de solo

Comparativamente aos solos minerais, os Solos Orgânicos possuem altos teores de material orgânico (%MO) associados à baixas densidades de solo (Ds). A camada orgânica do solo estudado apresenta diferentes amplitudes de variação, em profundidade, nos teores de MO, de acordo com

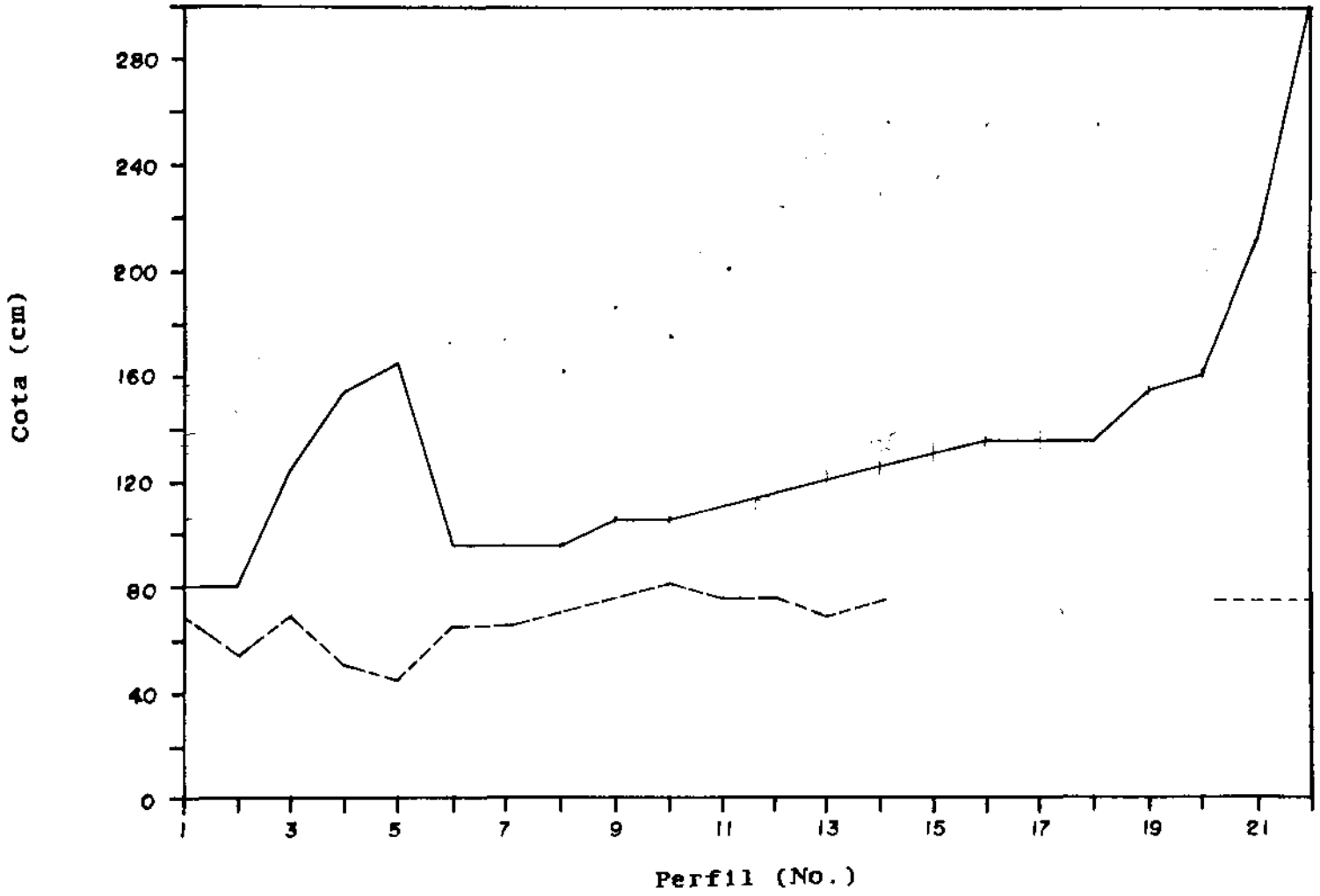


FIGURA 3. Variações nas cotas da superfície do solo (——) e do substrato mineral (---) ao longo da transeção.

sua espessura, o que se verifica nos diferentes perfis (Tabela 2 e Apêndices 1.1 a 1.23). O menor teor de MO, por definição, é sempre o mesmo (14%), representando a transição para o substrato mineral.

Na transeção o perfil modelo, situado na maior cota, tem a camada orgânica mais espessa (Figura 3), e dentro dele encontra-se o maior teor de MO (92%) e a maior amplitude na Ds (de 0,59 a 0,08 g/cm3; o valor maior é estimado a partir da relação %MO versus Ds, conforme Figura 9). No P1, em menor cota, observa-se a menor espessura da camada orgânica e dentro dele não se encontra teor de MO superior a 30%; o maior valor de Ds na camada orgânica (0,82 g/cm3) encontra-se no perfil de número 2. De maneira geral, o teor médio de MO nos perfis diminui com o adelgamento da camada orgânica, o qual está associado ao decréscimo na cota ocupada pelo perfil; entretanto, o teor de MO é sempre superior a 42% nos perfis representativos de Solos Orgânicos (Tabela 2).

A densidade de solo (Ds) mostra um comportamento inverso ao do teor de MO. Seu valor médio no perfil aumenta com o adelgamento da camada orgânica, sendo sempre inferior a 0,47 g/cm3 nos perfis representativos de Solos Orgânicos (Tabela 2).

No substrato mineral encontram-se teores de MO que variam entre 5 e 13% e valores de Ds variando entre 0,58 e 1,23 g/cm (Apêndice 1). O reduzido alcance (em profundidade) e intensidade da amostragem neste substrato na maioria

TABELA 2. Teores máximos (1) e médios (2) de material orgânico; amplitudes de variação (3) e valores médios (4) da densidade de solo na camada orgânica ao longo da transecão.

Perfil No.	Cota	ECO	1	2	3	4
	cm		%		g/cm3	
1	80	10	30	25	0,57-0,71	0,64
2	80	25	49	33	0,53-0,82	0,66
3	125	55	70	52	0,19-0,50	0,28
4	155	105	78	57	0,11-0,61	0,23
5	165	120	81	62	0,10-0,55	0,18
6	95	30	59	36	0,37-0,66	0,50
7	95	30	58	43	0,40-0,48	0,48
8	95	25	57	47	0,40-0,54	0,46
9	105	30	75	51	0,32-0,38	0,36
10	105	25	65	59	0,34-0,47	0,40
11	110	35	61	43	0,36-0,59	0,45
12	115	40	67	43	0,35-0,63	0,46
14	125	50	69	45	0,22-0,55	0,37
21	210	135	91	65	0,09-0,42	0,16
PM	295	220	92	76	0,08-0,60	0,13

ECO = espessura da camada orgânica
PM = perfil modelo

dos perfis não permite interpretações detalhadas destes valores, o que, por outro lado, não é objetivo deste estudo. No entanto, de maneira geral, observa-se que seus relativos baixos teores de MO relacionam-se com altos valores de Ds.

4.1.4. Umidade do solo

Nas camadas orgânicas dos perfis representativos de Solos Orgânicos a umidade volumétrica (Uv) varia entre 52 e 96% e a umidade gravimétrica entre 62 e 1083%; os seus valores médios nos perfis diminuem com o adelgamento da camada orgânica conforme pode ser observado na Tabela 3. Estes decréscimos sempre estão associados a diminuições nos teores de MO e a aumentos da Ds. A maior amplitude (em profundidade) da Ug, entre 197 e 1083%, é apresentada pela camada orgânica do perfil modelo. No substrato mineral, ao longo da transeção, não foram observados valores de Ug superiores a 118%.

Como pode ser visto até aqui, ocorrem diferenças significativas quanto às características analisadas, entre o substrato mineral e a camada orgânica, assim como diferenças entre as camadas orgânicas que sofreram diferentes reduções na sua espessura.

TABELA 3. Amplitudes de variação da umidade volumétrica (1) e da umidade gravimétrica (3) e valores médios da umidade volumétrica (2) e da umidade gravimétrica (4) na camada orgânica ao longo da transeção.

Perfil No.	Cota	ECO	1	2	3	4
	— cm —				%	
1	80	10	54	54	77-95	86
2	80	25	50-57	54	62-106	85
3	125	55	57-84	74	153-431	289
4	155	105	55-92	82	124-778	479
5	165	120	61-91	85	133-931	628
6	95	30	37-50	44	75-107	91
7	95	30	34-50	45	74-110	94
8	95	25	39-55	48	88-126	106
9	105	30	28-44	35	65-118	92
10	105	25	30-54	43	89-149	110
11	110	35	55-75	65	112-189	147
12	115	40	56-72	65	111-233	149
14	125	50	69-83	77	140-367	224
21	210	135	52-96	85	148-955	606
PM	295	220	52-96	87	197-1083	771

ECO = espessura da camada orgânica
PM = perfil modelo

4.2. A identificação das camadas não drenadas

Segundo PONS (1960), a partir do início da drenagem ocorrem assentamento e contração dos Solos Orgânicos. Estudos de Solos Orgânicos formados sob diferentes condições ambientais (LYNN et al., 1974; KÄMPF & SCHNEIDER, 1989) constataram a ocorrência de valores relativamente altos de Dmo nas camadas superficiais drenadas, os quais contrastam com os valores relativamente constantes encontrados nas camadas não drenadas. A Dmo é, portanto, a característica que melhor estima o grau de contração sofrido pelo Solo Orgânico; o aumento e seus valores indica concentração de partículas orgânicas.

No presente trabalho, com base nos valores de Dmo pode-se separar o conjunto das amostras em duas populações distintas: uma representando as camadas subsuperficiais não drenadas, com valores relativamente baixos e constantes de Dmo (entre 0,06 e 0,10 g/cm3), grande amplitude nos valores de Dcz (entre 0,01 e 1,08 g/cm3) e a outra representando as camadas orgânicas superficiais drenadas, com valores relativamente altos e variáveis de Dmo (entre 0,11 e 0,28 g/cm3), valores variáveis de Dcz (entre 0,01 e 0,66 g/cm3). Nesta segunda população também se incluem as amostras com Dmo > 0,10 g/cm3 presentes no substrato mineral drenado dos perfis de números 1, 2 e 6 a 11.

A primeira população pode ser considerada como a original; não sofreu assentamento e contração pela drenagem

nem perdas de material orgânico (pois encontra-se em ambiente anaeróbio), ou seja, não sofreu a ação dos processos pedogenéticos, de acordo com PONS (1960), mantendo constante sua Dmo. A segunda população pode ser considerada como a alterada; sofreu contração por efeito da drenagem, resultando em valores de Dmo maiores que os encontrados na população original e em cuja superfície os teores de MO são menores que nas camadas próximas subjacentes, o que indica perdas de material orgânico por efeito da maior atividade microbiana, a qual é estimulada pelas condições aeróbias criadas. As Figuras 4 e 5 ilustram, respectivamente, as distribuições da Dmo e da Dcz ao longo da transeção.

4.3. As camadas não drenadas

As camadas subsuperficiais não drenadas encontram-se em um ambiente saturado com água, isto é, abaixo do lençol freático, sendo, portanto, considerado muito reduzido o eventual espaço aéreo.

Ao longo da transeção, a fase sólida do solo apresenta diferentes combinações de partículas minerais e orgânicas, as quais resultam em diferentes teores de material orgânico. A Dp diminui linearmente com o aumento do teor de MO (Dp = 2,377 - 0,011%MO, r = -0,977, n = 185), conforme ilustra a Figura 6. Segundo esta regressão a densidade de partículas do material mineral e do material orgânico é de 2,38 e 1,27 g/cm3, respectivamente. Embora estes valores

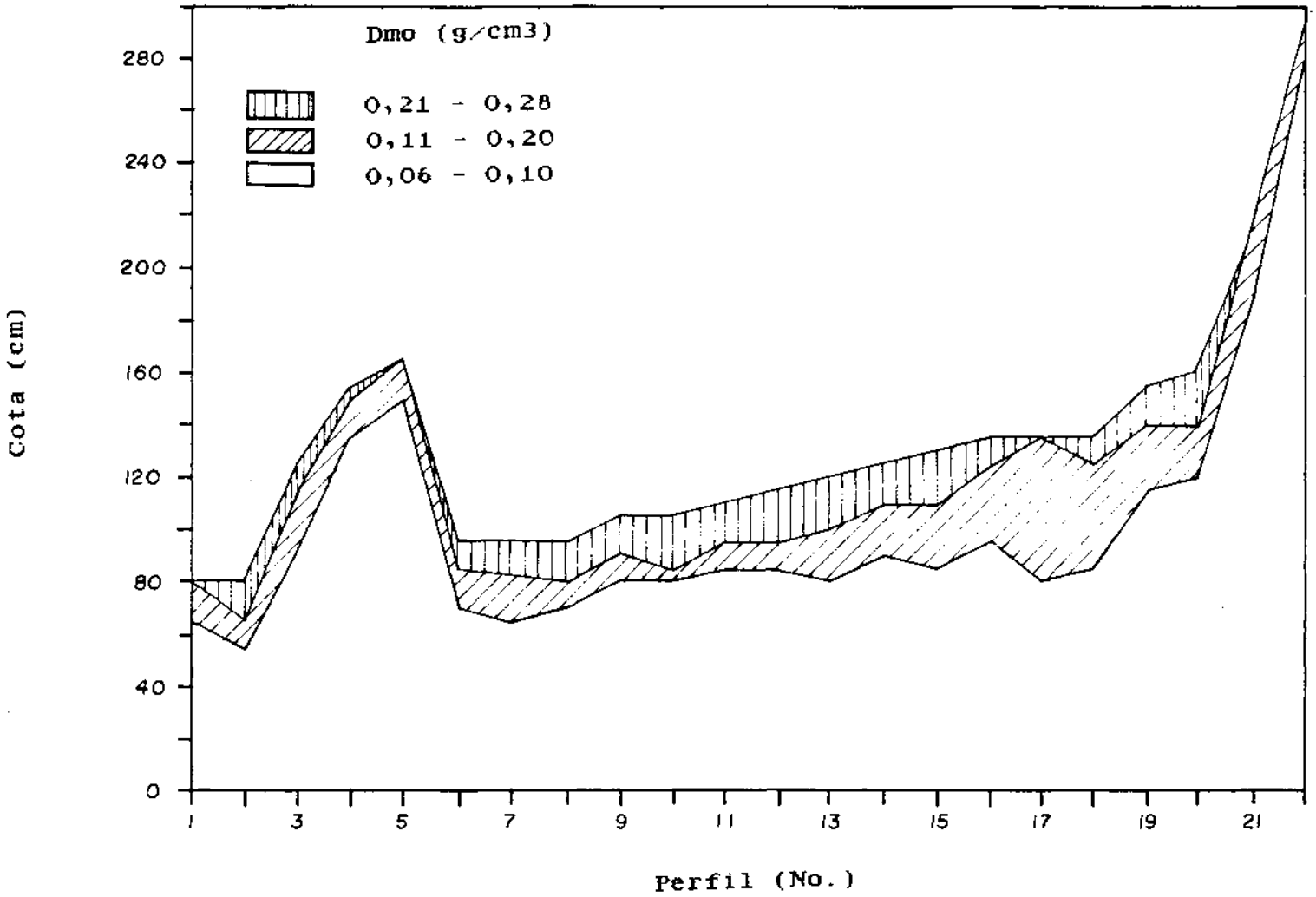


FIGURA 4. Distribuição da densidade de material orgânico (Dmo) ao longo da transecão.

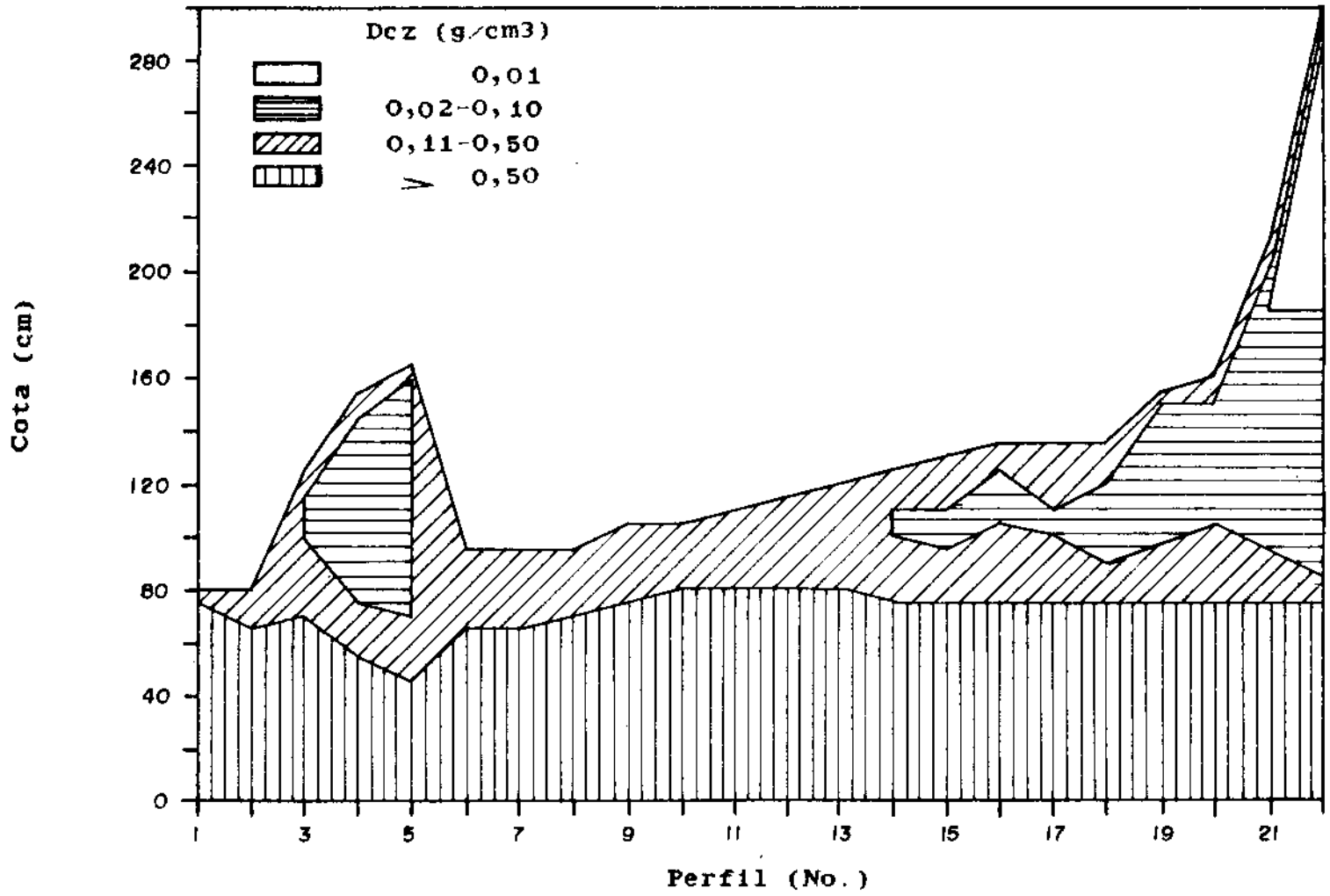


FIGURA 5. Distribuição da densidade de cinzas (Dcz) ao longo da transeção.

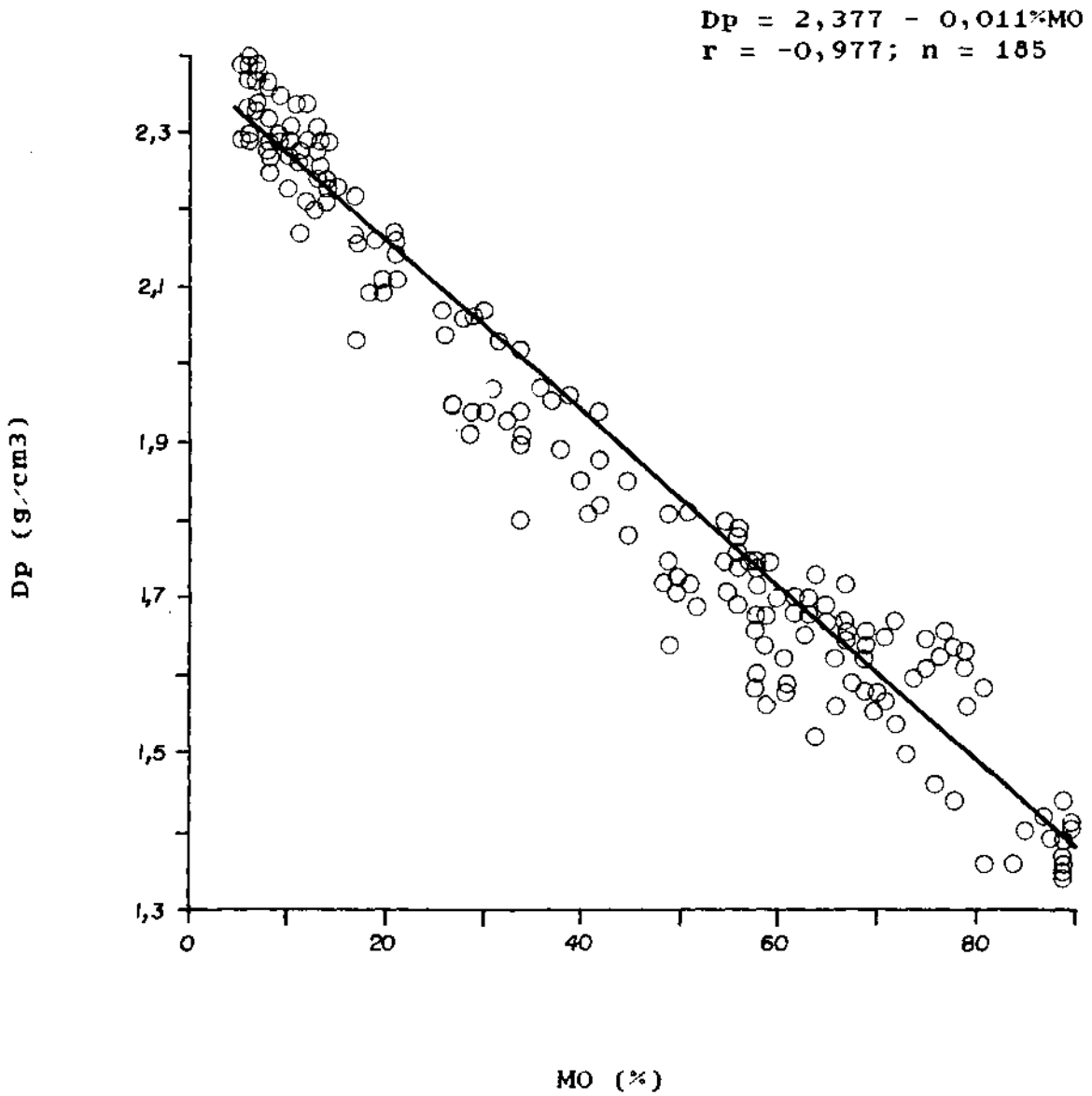


FIGURA 6. Relação entre o teor de material orgânico (%MO) e a densidade de partículas (Dp) nos solos estudados.

provavelmente subestimem a Dp do material mineral e superestimem a Dp do material orgânico (pois o teor de MO foi obtido por calcinação das amostras a 550 °C, ocorrendo prováveis perdas de água de constituição dos materiais minerais) serão utilizados neste estudo.

As camadas não drenadas dos solos estudados são constituídas basicamente de três componentes: material orgânico, material mineral e água. Pelo fato das densidades de partículas do material orgânico e do material mineral serem relativamente constantes, assim como por ser a Dmo relativamente baixa e pouco variável nestas camadas (vide item 4.3.1.) é possível expressar as propriedades físicas e suas relações com relativa acuracidade, quando se alteram as combinações de material mineral e de material orgânico, expressas por alterações no teor de MO. As variações na quantidade (em massa e volume) de água no solo são condicionadas por variações na quantidade de material mineral, expressas pela Dcz. Esta propriedade das camadas não drenadas permite estimar os seus diferentes graus de alteração com acuracidade através da seleção e determinação de apenas uma característica, conforme discussão que se segue.

4.3.1. Densidade de material orgânico e densidade de cinzas

As camadas não drenadas apresentam valores de Dmo com uma amplitude de 0,06 a 0,10 g/cm3, com uma média de

0,085±0,010 g/cm3 e independentes da Dcz (Figura 7). Esta relativa constância da Dmo reforça a premissa de que os Solos Orgânicos possuem, enquanto não drenados, uma armação orgânica com densidade (Dmo) relativamente homogênea ao longo das camadas, que não se altera com a inclusão de partículas minerais (LYNN et al., 1974). Ela sugere, também, que a elevação da superfície do depósito (espessamento da camada orgânica) durante o processo de paludização é condicionada pela acumulação e acomodamento de material orgânico no solo até um valor relativamente constante (0,085 g/cm3 no solo em estudo). Uma vez atingido este valor, o solo não incorpora material orgânico adicional por unidade de volume (o que implicaria em maiores valores de Dmo) e incrementa a sua espessura no sentido ascendente (eleva sua superfície).

Em Solos Orgânicos hidromórficos do Rio Grande do Sul, KÄMPF & SCHNEIDER (1989) encontraram valores de Dmo variando entre 0,03 e 0,23 g/cm3, com uma média de 0,096±0,033 g/cm3, sendo os valores maiores que 0,11 g/cm3 encontrados nas camadas superficiais drenadas e cultivadas.

A densidade de cinzas (Dcz), por sua vez, tende a aumentar com a profundidade nas camadas não drenadas ao longo da transeção (Apêndices 1 a 23) com uma amplitude de 0,01 a 1,12 g/cm3 no perfil modelo e independentemente da Dmo (Figura 7). Isto indica que nas camadas mais profundas o substrato mineral pré-existente, independente de sua Dcz, permite incorporação limitada de material orgânico, limite

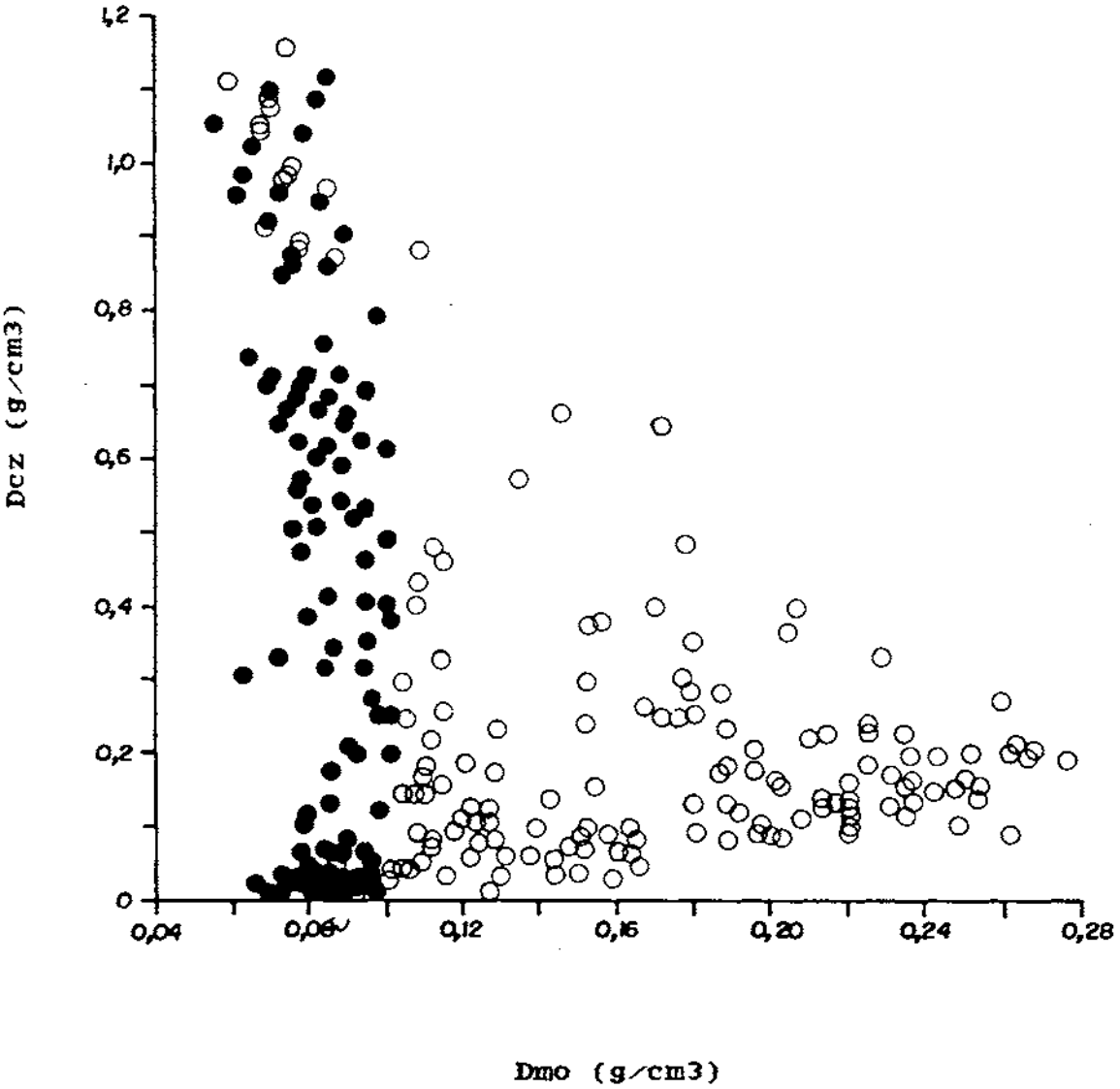


FIGURA 7. Relação entre a densidade de cinzas (Dcz) e a densidade de material orgânico (Dmo) nas camadas não drenadas (●) e drenadas (○).

este estimado pela Dmo média observada (0,085 g/cm3).

Assim como a constância na Dmo identifica as camadas não drenadas, a Dcz é a característica que permite distinguir, no perfil modelo, uma sucessão vertical de três camadas horizontais (Figura 2): (1) a camada inferior, que representa o substrato mineral, apresentando uma Dcz superior a 0,51 g/cm3; este é um valor teórico que se relaciona a 86% de cinzas (ou 14% de MO), conforme se estima pela equação [(100 x Dcz) / (Dcz + Dmo)], ou seja, [(100 x 0,51) / (0,51 + 0,085)], e que corresponde aproximadamente ao teor mínimo de 8% de C orgânico exigido para Solos Orgânicos sem argila (EMBRAPA/SNLCS, 1988); (2) a segunda camada, que, na seqüência vertical, é intermediária às outras duas, apresenta uma Dcz com uma amplitude de 0,02 a 0,50 g/cm3, com uma média de 0,078±0,107 g/cm3; os maiores valores de Dcz são encontrados na base inferior desta camada e tendem a decrescer até atingir a sua base superior; (3) a terceira camada, sobreposta à segunda, apresenta uma Dcz com valor constante de 0,01 g/cm3. A segunda e terceira camadas apresentam, respectivamente, caráter sáprico e fíbrico e possuem espessura aproximada de 110 e 100cm, respectivamente.

A tendência de diminuir a Dcz com a elevação da cota (Figura 2) evidencia a gradativa menor suceptibilidade do depósito à ação das enchentes (com a correspondente menor adição de sedimentos minerais) com o avanço da paludização, cujas freqüências e intensidades definiram a

formação do substrato mineral, da camada orgânica "topógena" e posteriormente da "ombrógena", conforme denominação de ANDRIESSE (1984).

O caráter fíbrico, associado à presença de baixas concentrações de partículas minerais (indicada pelos baixos valores de Dcz) observado na camada "ombrógena" (do perfil modelo), indica baixa atividade microbiana anaeróbia nesta camada. Isto ocorre provavelmente por deficiência nutricional, considerando-se que limitações à decomposição do material orgânico por deficiência de oxigenação ocorrem também na camada "topógena", de caráter sáprico e com valores maiores de Dcz. Segundo ANDRIESSE (1984), a identificação da espessura destas camadas é importante; a "topógena", por ter maior quantidade de partículas minerais, é normalmente mais rica em nutrientes, o que tem importância nos aspectos de fertilidade química do solo. Por outro lado, o incremento da Dcz na camada "topógena" confere-lhe um menor potencial de alteração (vide item 4.5.1.).

4.3.2. Densidade de solo e teor de material orgânico

Os valores de Ds encontrados apresentam uma amplitude de 0,08 a 1,09 g/cm3 ao longo da transeção nas camadas não drenadas e uma variabilidade (em profundidade) com uma amplitude de 0,08 a 0,59 g/cm3 e com uma média de 0,14±0,10 g/cm3 nas camadas orgânicas não drenadas do perfil modelo;

os menores valores da Ds são encontrados na camada "ombrógena" e os maiores valores na camada "topógena" do perfil modelo (Figura 2).

A camada superior "ombrógena" possui uma Ds relativamente constante, com uma pequena amplitude de 0,08 a 0,11 g/cm3 e uma média de 0,10±0,01 g/cm3; isto indica que, nesta camada, a Ds independe da cota, por não ter ocorrido inclusão significativa de partículas minerais pelas enchentes durante o processo de paludização.

A camada inferior, "topógena", apresenta uma Ds com amplitude de 0,09 a 0,59 g/cm3 e uma média de 0,17±0,12 g/cm3; a maior amplitude da Ds nesta camada deve-se aos altos valores encontrados na transição para o substrato mineral, todos superiores à media (maiores que 0,17 g/cm3) e numa camada relativamente delgada (25cm), representando aproximadamente 10% da espessura total da camada orgânica. Por outro lado, excluindo-se as camadas de transição para o substrato mineral (com espessura de aproximadamente 25cm), observa-se na camada "topógena" uma amplitude na Ds de 0,09 a 0,14 g/cm3, com uma média de 0,12±0,02 g/cm3. Os valores de Ds encontrados mostram, portanto, relativa homogeneidade (em profundidade) em cada camada, se excluída a camada de transição para o substrato mineral (Figura 2).

A tendência da diminuição exponencial da Ds com o afastamento do substrato mineral (Figura 2) provavelmente também ocorre em outros locais, sugerindo que a Ds média no perfil tende a aumentar com a diminuição da espessura da

camada orgânica em Solos Orgânicos não drenados, pois as camadas orgânicas progressivamente formadas na superfície (durante a paludização) tendem a possuir valores menores de Ds. Esta tendência é verificada em Solos Orgânicos do Rio Grande do Sul, formados sob diferentes condições ambientais. KÄMPF & SCHNEIDER (1989) constataram nos horizontes H não drenados de solos com espessura da camada orgânica maior que 107cm (Unidades Barcelos 1, Caldas 1, Torres 4 e Itaimbé 3) valores de Ds inferiores a 0,13 g/cm3, não sendo amostrada a camada de transição para o substrato mineral; na Unidade Incobrasa, a espessura da camada orgânica encontrada é de 108cm e a Ds variou entre 0,12 e 0,38 g/cm3, sendo o maior valor encontrado na transição para o substrato mineral; na Unidade Barcelos 3, com 90cm de camada orgânica, a Ds variou entre 0,13 e 0,22 g/cm3, enquanto que na Unidade Itapoã, com 42cm de camada orgânica, o valor da Ds no horizonte H não drenado é de 0,23 g/cm3.

Nas camadas não drenadas da transeção estudada, a densidade de solo (Ds) não é afetada pela Dmo (devido ao fato da mesma ser relativamente constante) e aumenta linearmente com o aumento da Dcz (Ds = 0,088 + 0,989 Dcz; r = 0,999; n = 112) conforme ilustrado na Figura 8. A equação estima uma Ds mínima de 0,088 g/cm3, correspondendo à média da Dmo (vide item 4.3.1.) para amostras isentas de partículas minerais, contendo apenas a armação orgânica.

O teor de MO (%MO), em base de massa, na camada orgânica do perfil modelo apresenta uma amplitude de 14 à 92%

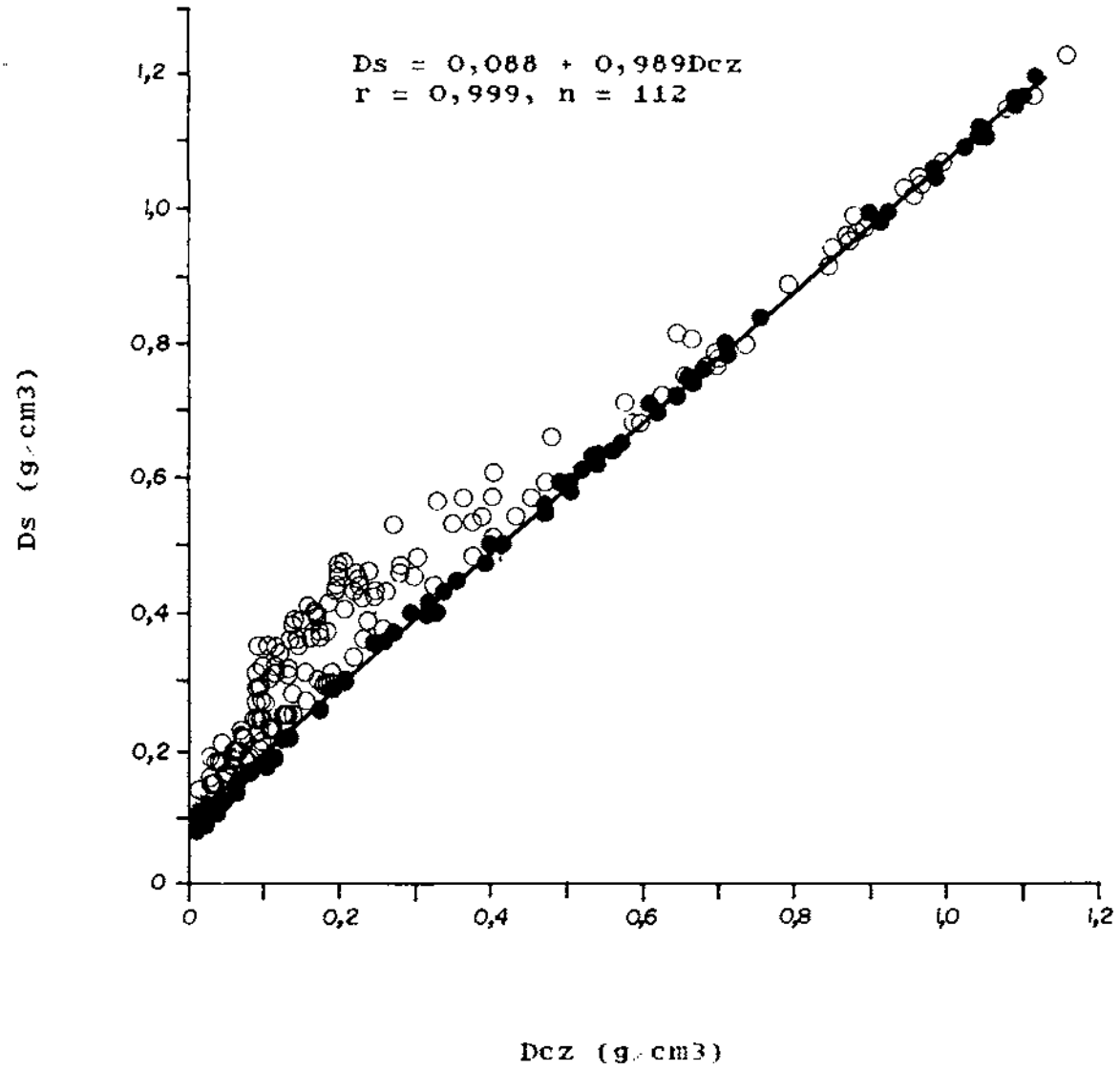


FIGURA 8. Relação entre a densidade de cinzas (Dcz) e a densidade de solo (Ds) nas camadas não drenadas (●) e drenadas (○).

(Apêndice 1.23). A semelhança do que ocorre com a Ds, teores de MO entre 14 e 44% foram encontrados somente em camada delgada (representando aproximadamente 10% da espessura total da camada orgânica), situada na base inferior da camada orgânica; na transição para o substrato mineral, a %MO decresce abruptamente, com um correspondente aumento na Ds. Em analogia ao constatado com a Ds, isto sugere a existência também de uma relação inversa entre a média ponderada de %MO e a espessura da camada orgânica em Solos Orgânicos não drenados.

Os Solos Orgânicos são diferenciados dos solos minerais pelo seu teor de MO em base de massa, o qual, neste estudo, relaciona-se significativamente com a Ds nas camadas não drenadas. Conforme pode ser verificado na Figura 9, a Ds decresce exponencialmente com o aumento do teor de MO [Ds = 8,876 / (%MO + 1,106); r = -0,986; n = 112].

Relação idêntica à observada neste estudo, entre %MO e Ds, também foi verificada agrupando-se Solos Orgânicos de diferentes localidades do Rio Grande do Sul (KÄMPF & SCHNEIDER, 1989), o que reforça a hipótese de ser possível estimar satisfatoriamente a %MO a partir da Ds e vice versa (em Solos Orgânicos não drenados).

Nas camadas "topógenas" do perfil modelo (Figura 2), a faixa de transição da Ds entre 0,17 e 0,59 g/cm3, encontrada em pequena espessura na base inferior da camada orgânica, corresponde à faixa de transição da %MO entre 50 e 14% (conforme pode ser verificado na Figura 9) e somente

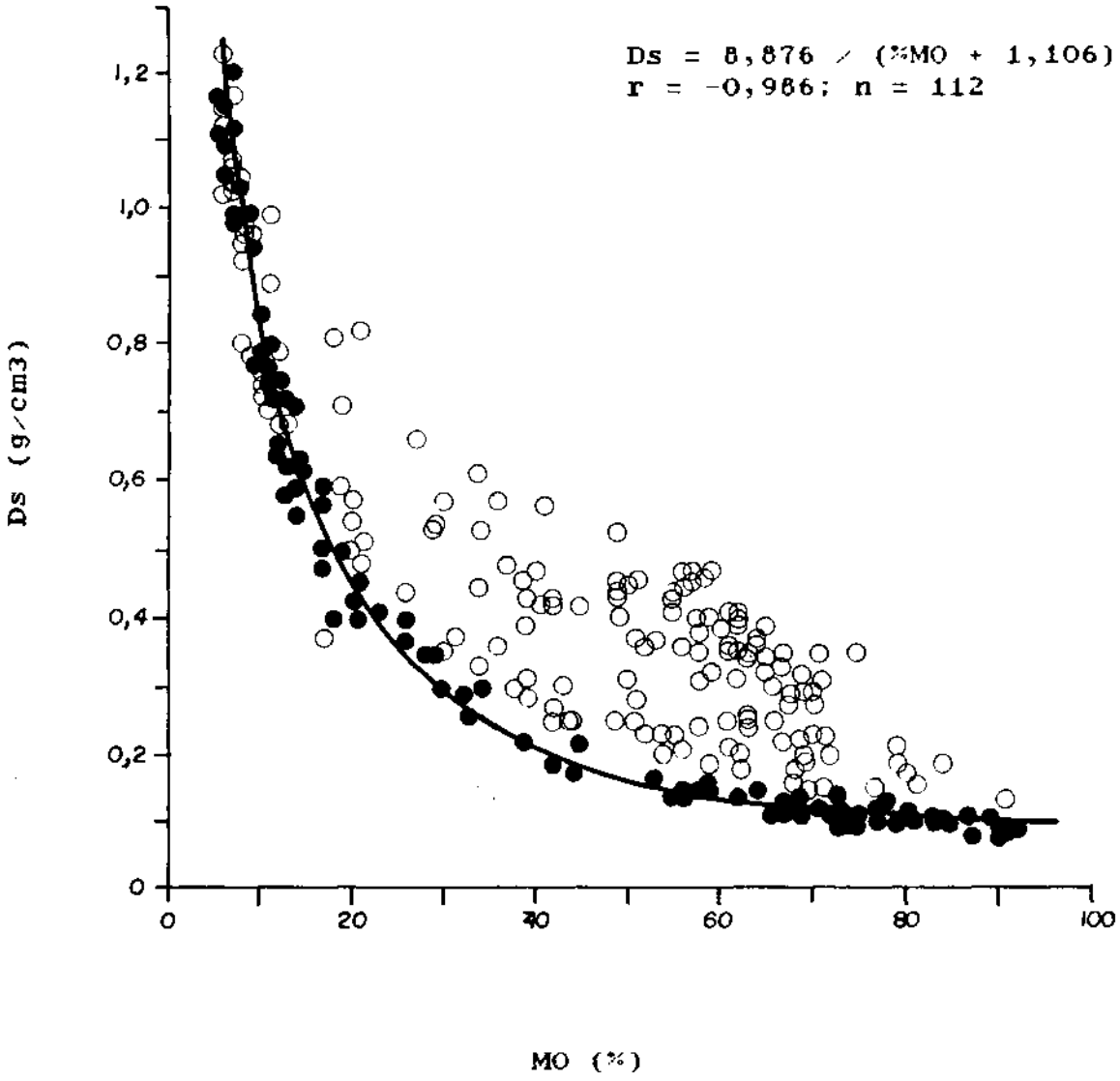


FIGURA 9. Relação entre o teor de material orgânico (%MO) e a densidade de solo (Ds) nas camadas não drenadas (●) e drenadas (○).

nesta faixa observa-se o caráter nitidamente curvilinear da relação entre Ds e %MO. A camada orgânica do perfil modelo original possui entre 92 e 50% de MO em aproximadamente 90% de sua espessura, sendo nesta faixa a relação da %MO com a Ds aproximadamente linear (Figura 9). Por outro lado, esta predominância de altos teores de MO (expressos em massa) não refletem uma maior concentracão de material orgânico em volume de solo, pois a Dmo mantém-se constante, conforme já foi discutido no item 4.3.1.

Observa-se também que bruscas reduções na %MO (de 90 para 50%, associadas a aumentos na Ds de 0,10 para 0,17 g/cm3, conforme ilustrado na Figura 9) refletem inclusão de volume reduzido de partículas minerais (4% do volume do solo, calculado pela equação 100 (Dcz / Dp), considerando-se uma Dp de 2,38 g/cm3, conforme Figura 6, e uma Dcz de 0,09 g/cm3, conforme Figura 8).

A diminuição do teor de MO para valores inferiores a 50%, associado a significativos aumentos na Ds, deve-se ao aumento significativo na concentração de partículas minerais (sem reduzir o das orgânicas) por volume de solo. Isto constitui num aspecto favorável ao uso do solo, pois diminui o potencial de subsidência (vide item 4.5.1.), além de sugerir também um comportamento diferenciado no que diz respeito a aspectos de fertilidade química do solo, o que deve ser investigado.

4.3.3. Porosidade e umidade do solo

Conforme pode ser verificado na Figura 10, a porosidade total do solo (P) nas camadas não drenadas decresce linearmente com o aumento da Ds (P = 97,234 - 40,399Ds; r = -0,998; n = 55) pois a Dmo é relativamente constante.

Simultaneamente ao aumento da Ds ocorre aumento exponencial da Dp (Figura 11), indicando que os diferentes valores de Ds encontrados não se devem à contração do solo, a qual altera a P independentemente da Dp. Portanto, a possibilidade de estimar o valor da P dispondo-se apenas do valor de Ds é possível apenas nas camadas não drenadas do solo em estudo. Nas camadas drenadas, que sofreram diferentes graus de contração (vide item 4.4.), a estimativa da P através da Ds não é satisfatória, havendo necessidade da determinação da Ds e da Dp para calculá-la.

Conforme já foi discutido anteriormente, as variações na Ds são condicionadas por variações na massa de partículas minerais presente (vide Figura 8); isto explica a diminuição linear da umidade volumétrica (Uv) com o aumento da Ds (Uv = 93,637 - 36,895Ds; r = -0,976; n = 112) conforme ilustra a Figura 12.

A relação entre a Uv e Ug encontrada nas camadas não drenadas do solo estudado está ilustrada na Figura 13. Observa-se nesta figura uma baixa relação entre Ug e Uv nas amostras com valores de Ug superiores a 400% (associados a teores de MO superiores a 40%, conforme pode ser observado

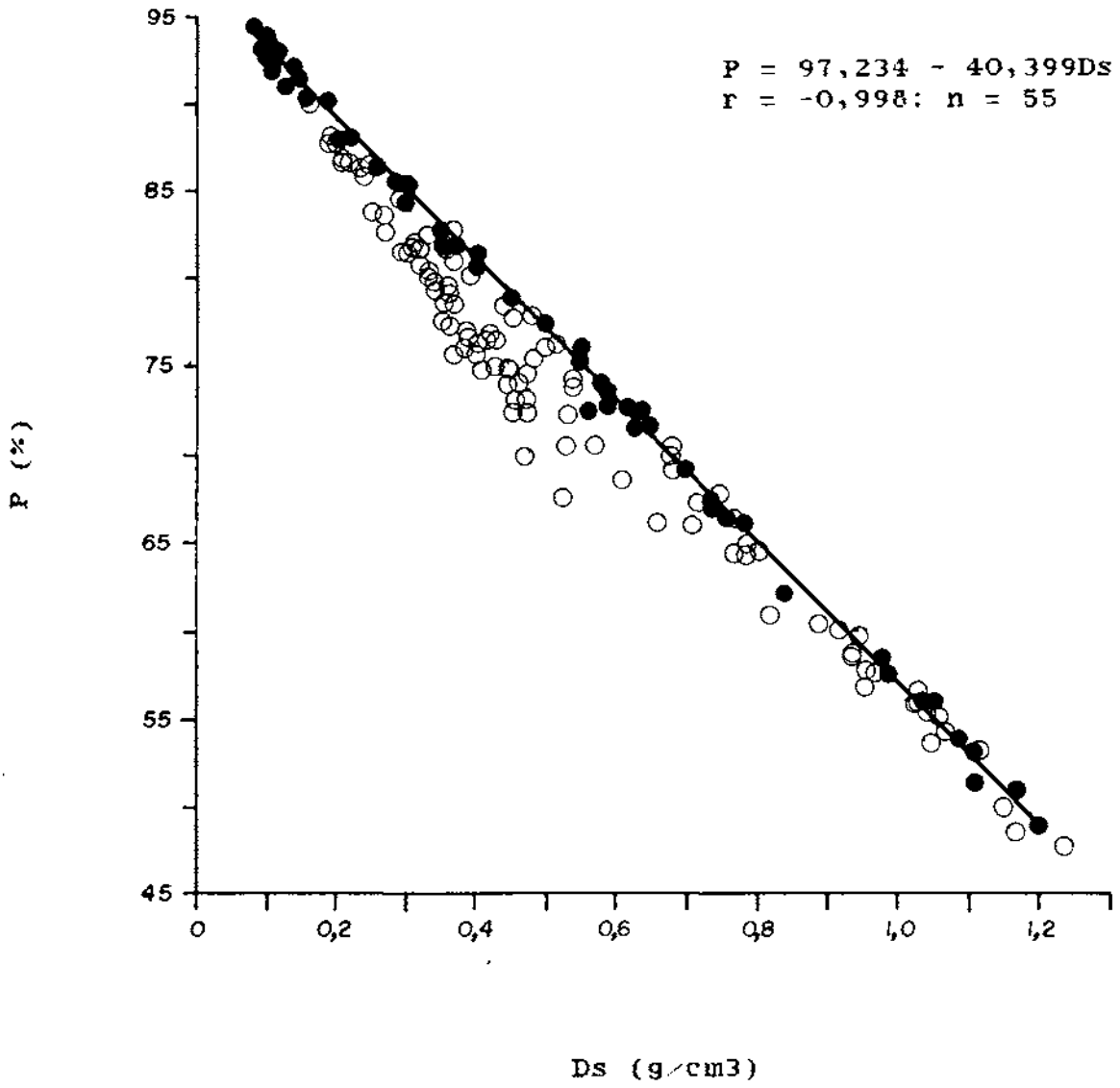


FIGURA 10. Relacão entre a densidade de solo (Ds) e a porosidade total do solo (P) nas camadas não drenadas (●) e drenadas (◠).

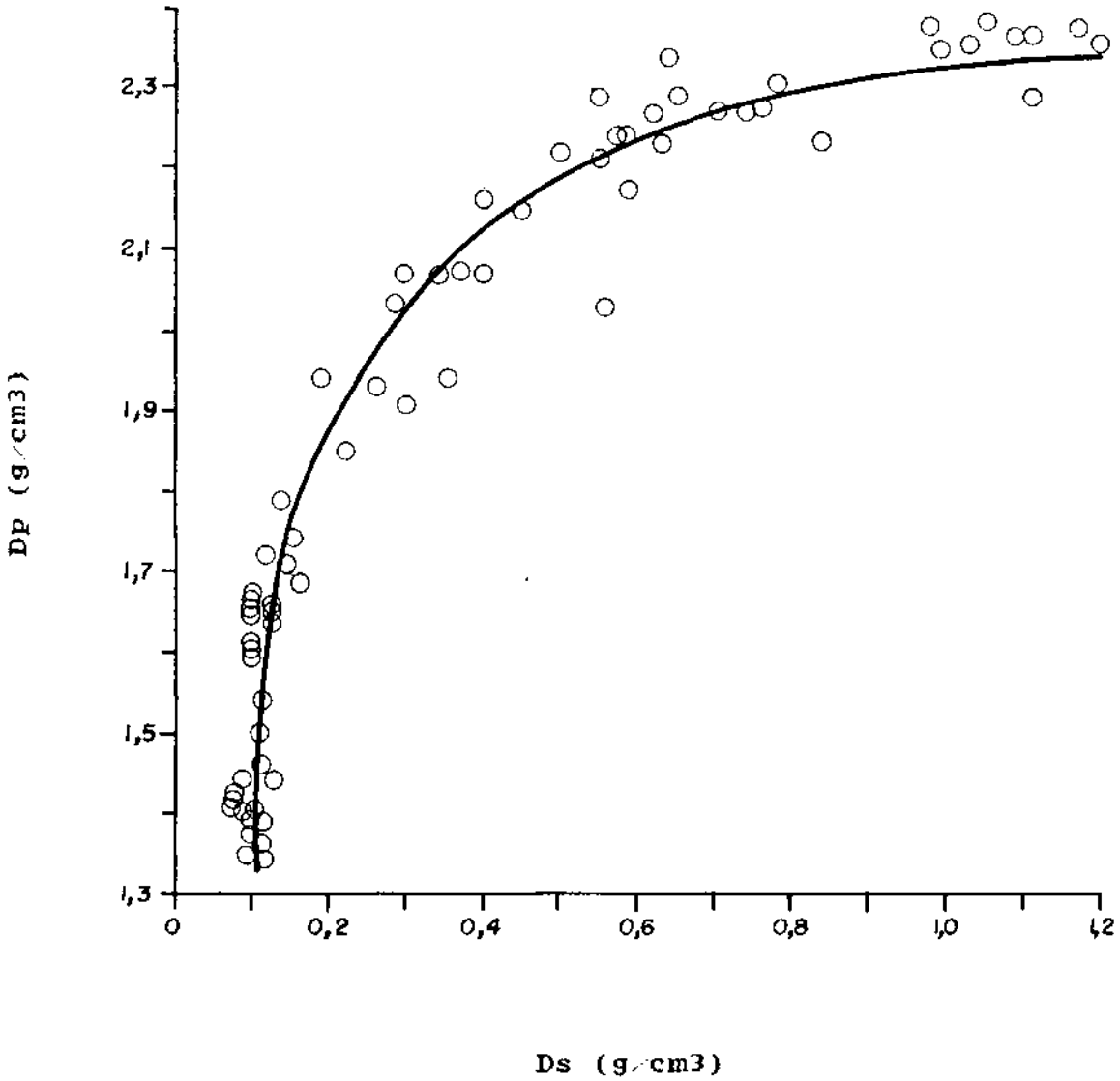


FIGURA 11. Relação entre a densidade de solo (Ds) e a densidade de partículas (Dp) nas camadas não drenadas.

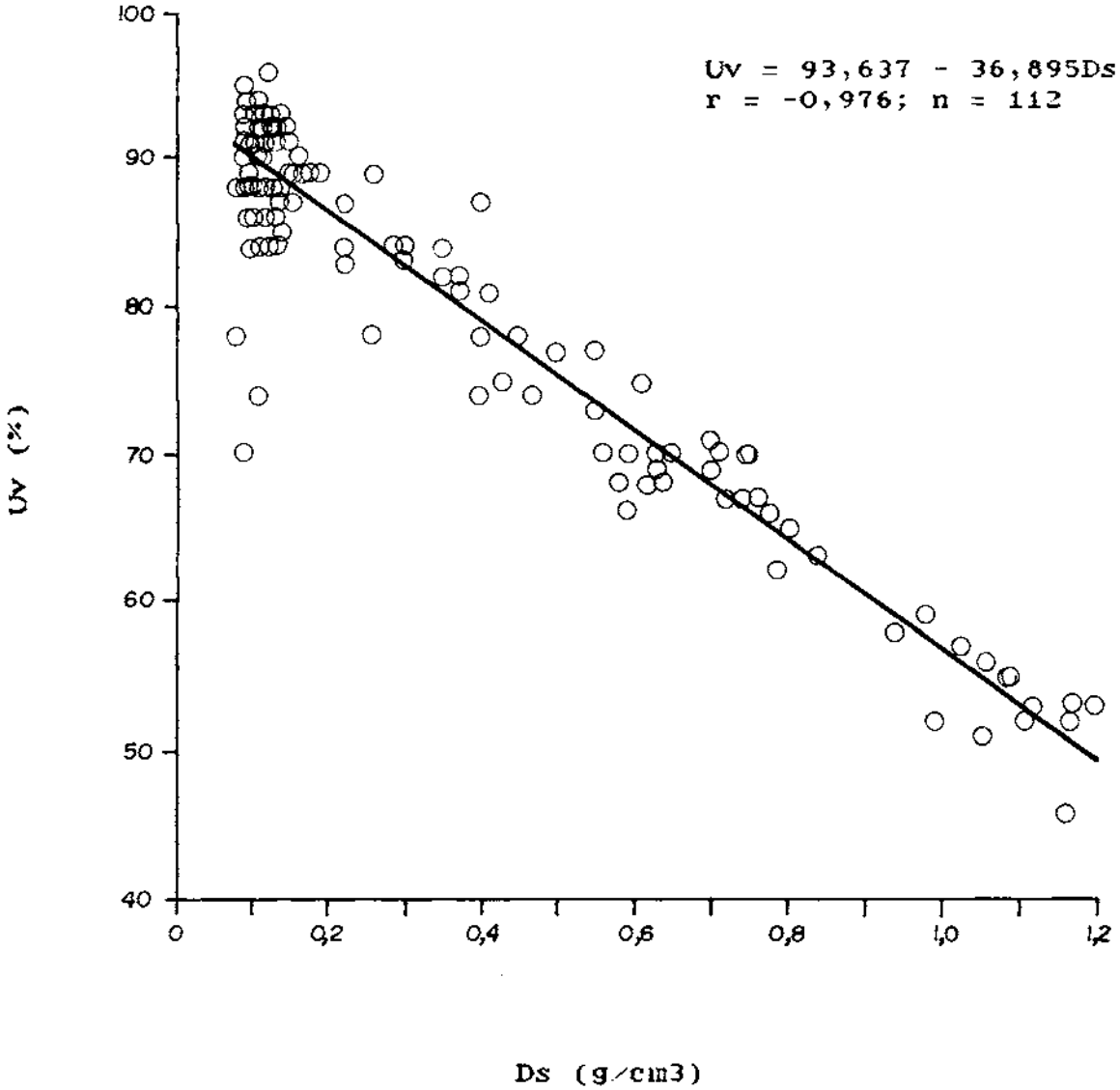


FIGURA 12. Relação entre a densidade de solo (Ds) e a umidade volumétrica (Uv) nas camadas não drenadas.

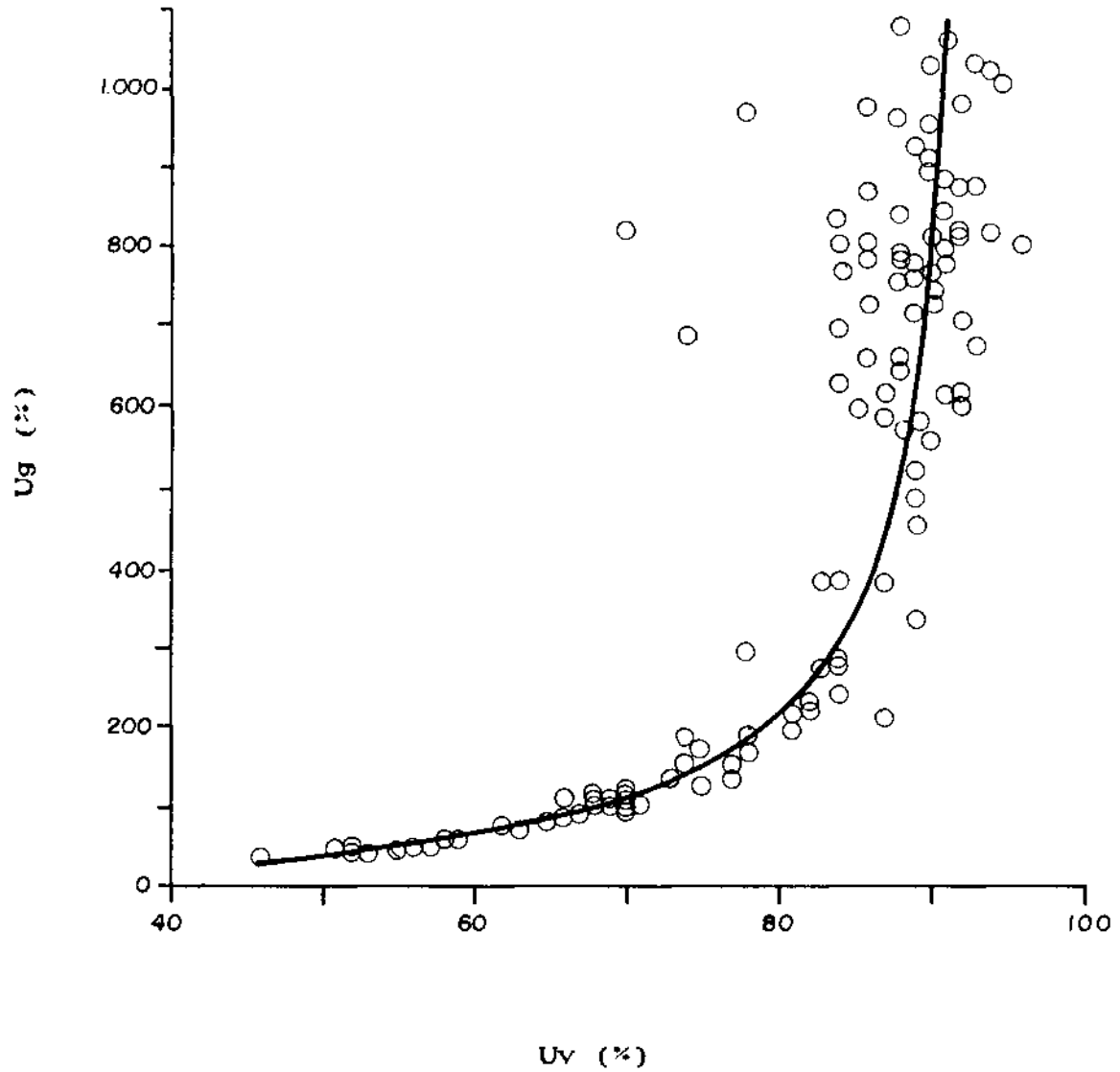


FIGURA 13. Relação entre a umidade volumétrica (Uv) e a umidade gravimétrica (Ug) nas camadas não drenadas.

na Figura 14); isto significa que grandes variacões na Ug (entre 400 a 1100%, no presente estudo) não refletem variações significativas no volume de água presente no solo. Por outro lado, variações nos valores de Ug entre 118% (valor associado a 14% de MO, conforme a Figura 14) e 400% refletem aumentos na Uv de aproximadamente 70 para 85%. Estes resultados concordam com observações de BOELTER & BLAKE (1964), os quais citam que, devido à baixa densidade dos Solos Orgânicos, a expressão da umidade em base de massa (Ug) pode dar uma visão distorcida sobre o montante de água presente; por isso recomendam expressar a umidade destes solos em base de volume (Uv).

No entanto, o uso da Ug como estimadora da Ds nas amostras das camadas não drenadas e, por conseqüência, do grau de alteração do Solo Orgânico, dispensa a amostragem em volume conhecido. Isto favorece, por exemplo, a caracterização das camadas profundas do Solo Orgânico, das quais é difícil retirar amostras inalteradas. Conforme ilustra a Figura 15, a Ug decresce exponencialmente com o aumento da Ds ($Ug = 93,637 / Ds - 36,895$; $r = -0,997$; $n = 112$).

As equações de regressão propostas para estimar a Ds a partir da Ug (VAN LIEROP, 1981; KÄMPF & SCHNEIDER, 1989) mostram relações idênticas às obtidas neste estudo; os autores utilizaram Solos Orgânicos de diferentes ambientes de formação, o que reforça a hipótese de que através desta relação é possível estimar a densidade do Solo Orgânico conhecendo-se sua umidade gravimétrica.

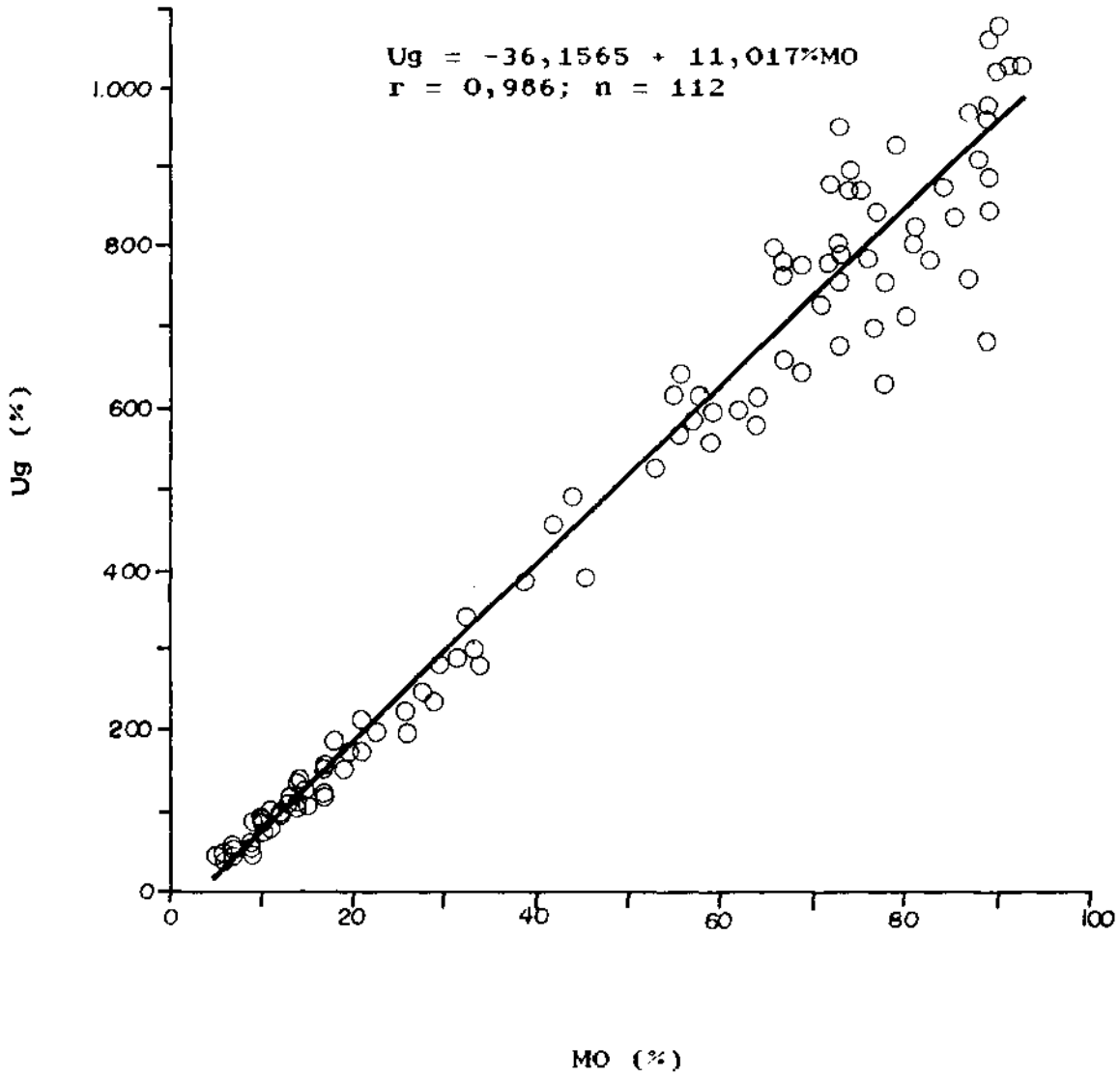


FIGURA 14. Relação entre o teor de material orgânico (%MO) e a umidade gravimétrica (Ug) nas camadas não drenadas.

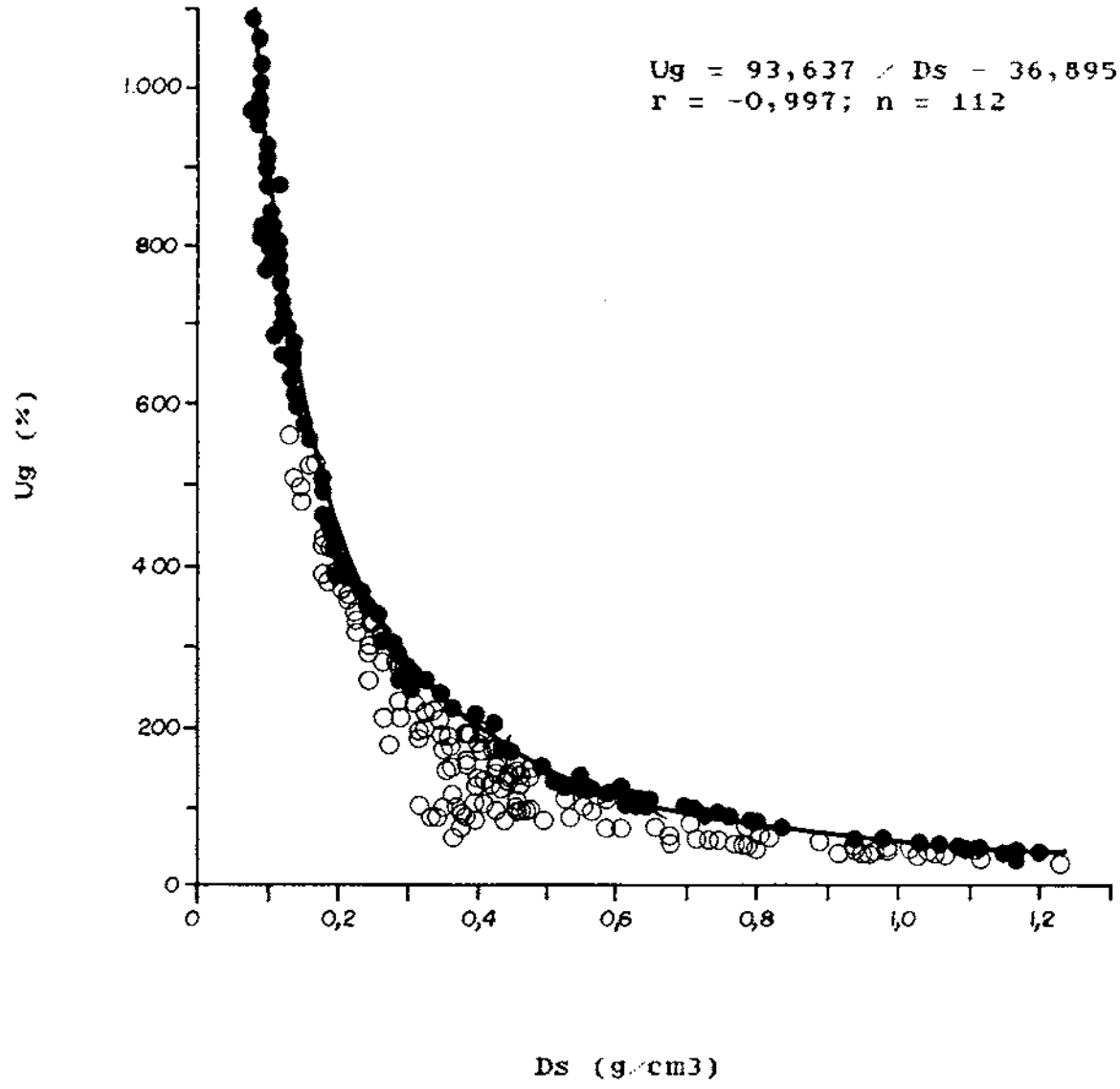


FIGURA 15. Relação entre a densidade de solo (Ds) e a umidade gravimétrica (Ug) nas camadas não drenadas (●) e drenadas (○).

4.3.4. Densidade de solo úmido

A relação entre a massa da amostra úmida e o seu volume, obtida antes da secagem, pode ser definida como densidade de solo úmido (Dsu). Conforme está ilustrado na Figura 16, a Dsu aumenta linearmente com o aumento da Ds (Dsu = 0,936 + 0,631Ds; r = 0,992, n = 112). As partículas orgânicas têm densidade (Dp) de 1,27 g/cm3 (estimada pela equação mostrada na Figura 6); a sua presença no solo não drenado, na concentração média observada (Dmo de 0,085 g/cm3) resulta em uma Dsu de 0,99 g/cm3, valor estimado pela equação de regressão da Figura 16 para amostras isentas de partículas minerais. Por outro lado, a presença de partículas minerais, as quais são mais densas (Dp estimada de 2,38 g/cm3, conforme equação da Figura 6) que as orgânicas, resulta em valores maiores da Dsu. Pela equação proposta, estima-se uma Dsu de 1,00 g/cm3 para a camada superior "ombrógena" do perfil modelo (com Ds relativamente constante de 0,095 g/cm3) e uma Dsu de 1,31 g/cm3 para amostras com uma Ds de 0,60 g/cm3, valor relacionado a 14% de MO (Figura 9).

A determinação da Dsu, por dispensar a secagem das amostras em estufa, permite estimar a Ds apenas por pesagem, o que, dispondo-se de balança adequada, pode ser feito no campo. Adicionalmente, as amostras podem ser maiores (quanto maior o volume das amostras menor o erro experimental) considerando-se não haver custos com seu transporte ao

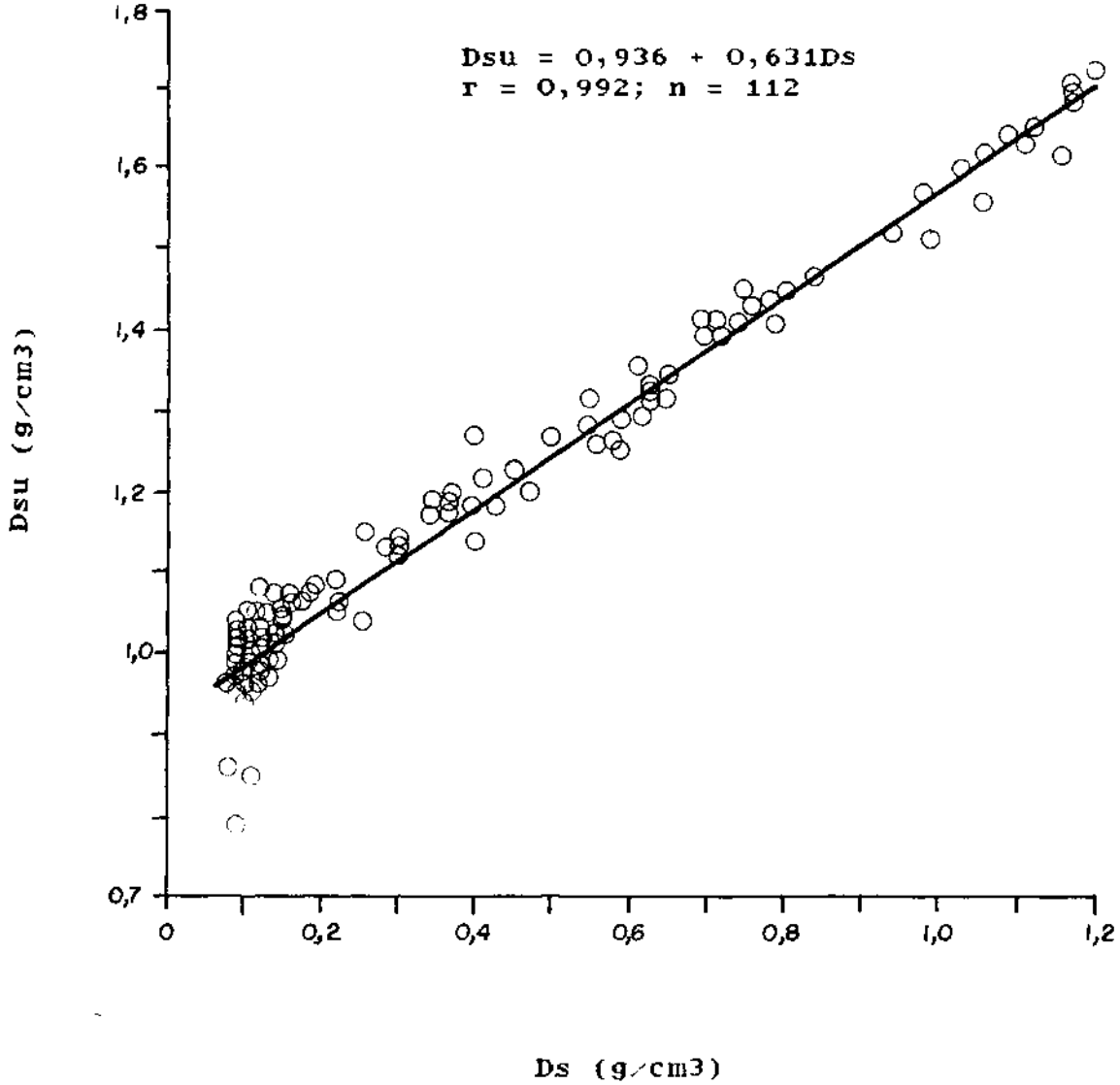


FIGURA 16. Relação entre a densidade de solo (Ds) e a densidade de solo úmido (Dsu) nas camadas não drenadas.

laboratório, secagem e armazenamento.

A Dsu serve também para estimar, no campo, o teor de MO, conforme a Figura 17, pois nas amostras das camadas não drenadas a Ds (que condiciona a Dsu) também se relaciona significativamente com o teor de MO, conforme já foi discutido.

4.4. As camadas superficiais drenadas

Nas camadas superficiais drenadas, os teores de MO e as Ds observadas tendem a ser respectivamente menores e maiores do que nas camadas próximas subjacentes (Apêndice 1), com excessão dos perfis de solos Glei Húmicos, onde provavelmente já ocorreu miscigenação da camada orgânica com o substrato mineral. Entretanto, a transição entre as camadas drenadas e as camadas não drenadas subjacentes não é abrupta. Na discussão que segue, somente as características das amostras constituintes dos primeiros 20cm superficiais, ao longo da transeção, são consideradas, pois representam a camada definida agronomicamente como arável. Desta maneira é excluída a transição para as camadas não drenadas; além disso, nos perfis de solos Glei Húmicos é excluída a transição para as camadas minerais. Também está excluído destas análises o perfil número 1, pois este apresenta, nos primeiros 20cm, amostras com teor de MO inferiores a 14%.

Conforme consta na Tabela 4, na camada superficial

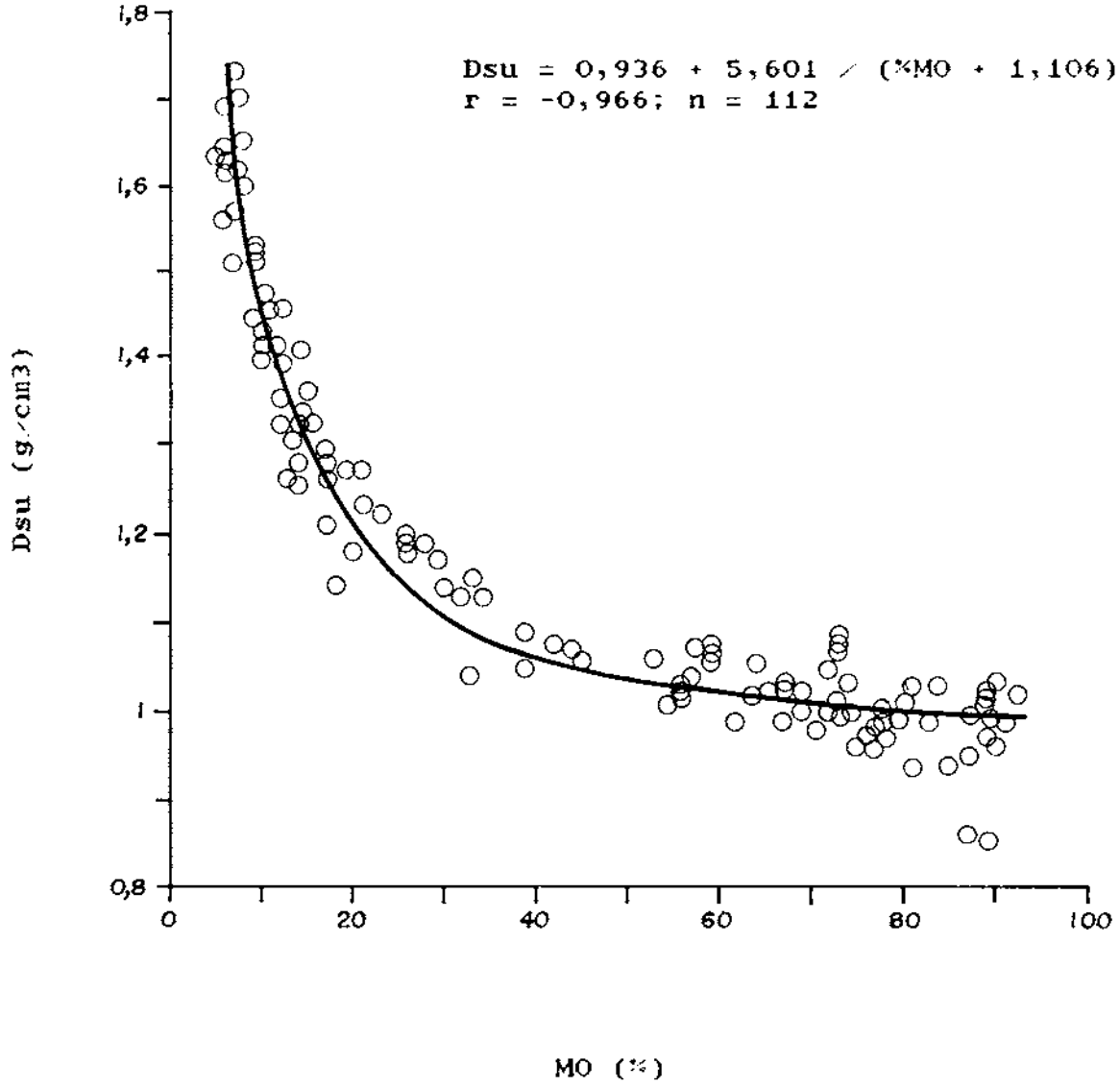


FIGURA 17. Relação entre o teor de material orgânico (%MO) e a densidade de solo úmido (Dsu) nas camadas não drenadas.

TABELA 4. Valores médios do teor de material orgânico (%MO), da densidade de solo (Ds), da densidade de cinzas (Dcz) e da densidade de material orgânico (Dmo) na camada superficial de 20cm ao longo da transecão.

Perfil	MO	Ds	Dcz	Dmo
No.	%		g/cm3	
2	37	0,62	0,40	0,22
3	67	0,29	0,09	0,20
4	65	0,27	0,10	0,17
5	74	0,21	0,06	0,15
6	41	0,53	0,31	0,22
7	51	0,45	0,22	0,23
8	52	0,44	0,21	0,23
9	63	0,36	0,14	0,22
10	62	0,47	0,23	0,24
11	59	0,41	0,17	0,24
12	59	0,41	0,17	0,24
13	60	0,41	0,16	0,25
14	63	0,33	0,12	0,21
15	48	0,43	0,23	0,20
16	65	0,33	0,13	0,20
17		0,43		
18	56	0,38	0,17	0,21
19	68	0,34	0,11	0,23
20		0,31		
21	67	0,25	0,10	0,15
22	75	0,23	0,07	0,16

de 20cm ocorrem valores de Dmo relativamente altos, em comparação aos valores relativamente baixos e constantes (0,085 g/cm3) encontrados nas camadas não drenadas (vide item 4.3.1.). Nos perfis situados em cota inferior a 155cm (de números 2 e 5 a 18), que sofreram maior subsidência, a Dmo oscila entre 0,20 e 0,25 g/cm3, com uma média de 0,22± 0,02 g/cm3, indicando, aproximadamente, aumentos entre 2 e 3 vezes na concentração de material orgânico em relação às camadas não drenadas. O teor de MO, ao longo da transecão, apresenta uma amplitude de 37 a 75% nestas camadas, sendo o menor e o maior valor encontrado, respectivamente, nos perfis 2 e 22 (modelo).

As camadas superficiais drenadas apresentam, portanto, valores de Dmo e de %MO respectivamente maiores e menores que as camadas não drenadas respectivas dentro de um mesmo perfil (Apêndice 1). Os aumentos nos valores de Dmo indicam concentração de partículas, isto é, a armação orgânica original sofreu adensamento cujas causas, segundo PONS (1960), são assentamento e contração de solo pela drenagem. Por outro lado, as perdas de material orgânico, indicadas pela diminuição da %MO, resultam em concentração de partículas minerais; como resultado, a drenagem aumentou significativamente a densidade do solo.

Conforme mostra a Figura 18, nesta camada superficial drenada a Ds diminui linearmente com o aumento do teor de material orgânico (Ds = 0,841 - 0,0079%MO; r = -0,909; n = 83). A linearidade da relação pode ser explicada pela

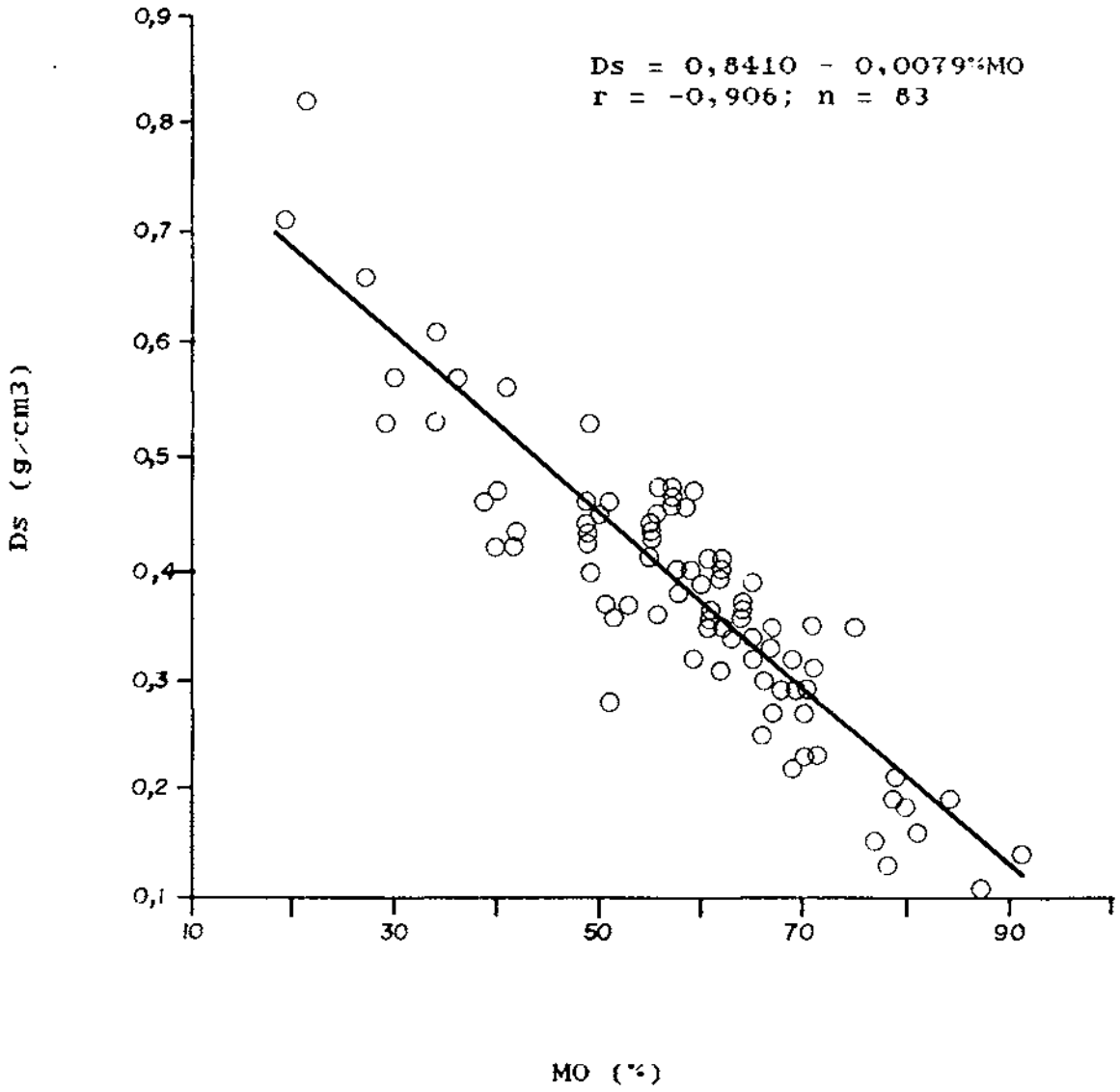


FIGURA 18. Relação entre o teor de material orgânico (%MO) e a densidade de solo (Ds) nas camadas superficiais de 20cm drenadas.

predominância de amostras com baixos teores de MO (inferiores a 37%) nesta camada. Conforme foi discutido no item 4.3.2., nas camadas não drenadas a relação entre a Ds e a %MO é também relativamente linear para teores de MO superiores a 40% (conforme ilustra a Figura 9).

Relações lineares entre Ds e %MO em Solos Orgânicos drenados também foram obtidas por outros autores (GODEFROY, 1977; VAN LIEROP, 1981). Lembrando as relações exponenciais entre Ds e %MO obtidas nas amostras das camadas não drenadas deste estudo (vide Figura 9, item 4.3.3.) e nos estudos de KÄMPF & SCHNEIDER (1989), percebe-se que erros significativos podem ser cometidos na estimativa da Ds ou do teor de MO dos Solos Orgânicos, quando não é levado em consideração o grau de drenagem do solo. Exemplificando, no Solo Orgânico estudado um teor de MO de 50% relaciona-se a uma Ds de 0,17 g/cm3 nas camadas não drenadas (vide Figura 9) e a uma Ds de 0,47 g/cm3 nas camadas drenadas (Figura 18).

4.5. Contração do solo

As reduções no volume do solo devem-se à contração física e às perdas de material orgânico (PONS, 1960) e resultam num rebaixamento da superfície do solo, denominado subsidência. Seguem-se alterações nas características físicas do solo, conforme PONS (1960).

A contração do Solo Orgânico é considerada a

principal causa física da subsidência, ocorrendo em período de tempo relativamente curto após o início da drenagem. Para manter uma determinada espessura de camada superficial drenada é necessário aprofundar os drenos, o que assegura a continuidade da subsidência.

O conhecimento do potencial de contração dos Solos Orgânicos é importante; além de estimar a subsidência máxima por secagem, ele permite prever as modificações em algumas características de solo, como, por exemplo, a magnitude do aumento de sua densidade e da redução de sua porosidade.

4.5.1. Estimativa da contração

As correlações apresentadas a seguir foram obtidas das amostras constituintes das camadas orgânicas (com no mínimo 14% de MO) não drenadas; as amostras do substrato mineral foram excluídas por não seguirem o mesmo comportamento e por não serem objetivo deste estudo.

Conforme se verifica na Figura 19, nas camadas orgânicas não drenadas, o RMc aumenta linearmente com o aumento da Ds ($RMc = 10,41 + 95,05Ds$; $r = 0,935$; $n = 85$). Nestas camadas, a Ds é condicionada pela Dcz (vide Figura 8), o que indica que a contração máxima por secagem é afetada pela quantidade de partículas minerais presente, concordando com observações de EVERETT (1983).

O perfil modelo (Figura 2) mostra que a Ds tende a aumentar com a profundidade nas camadas não drenadas,

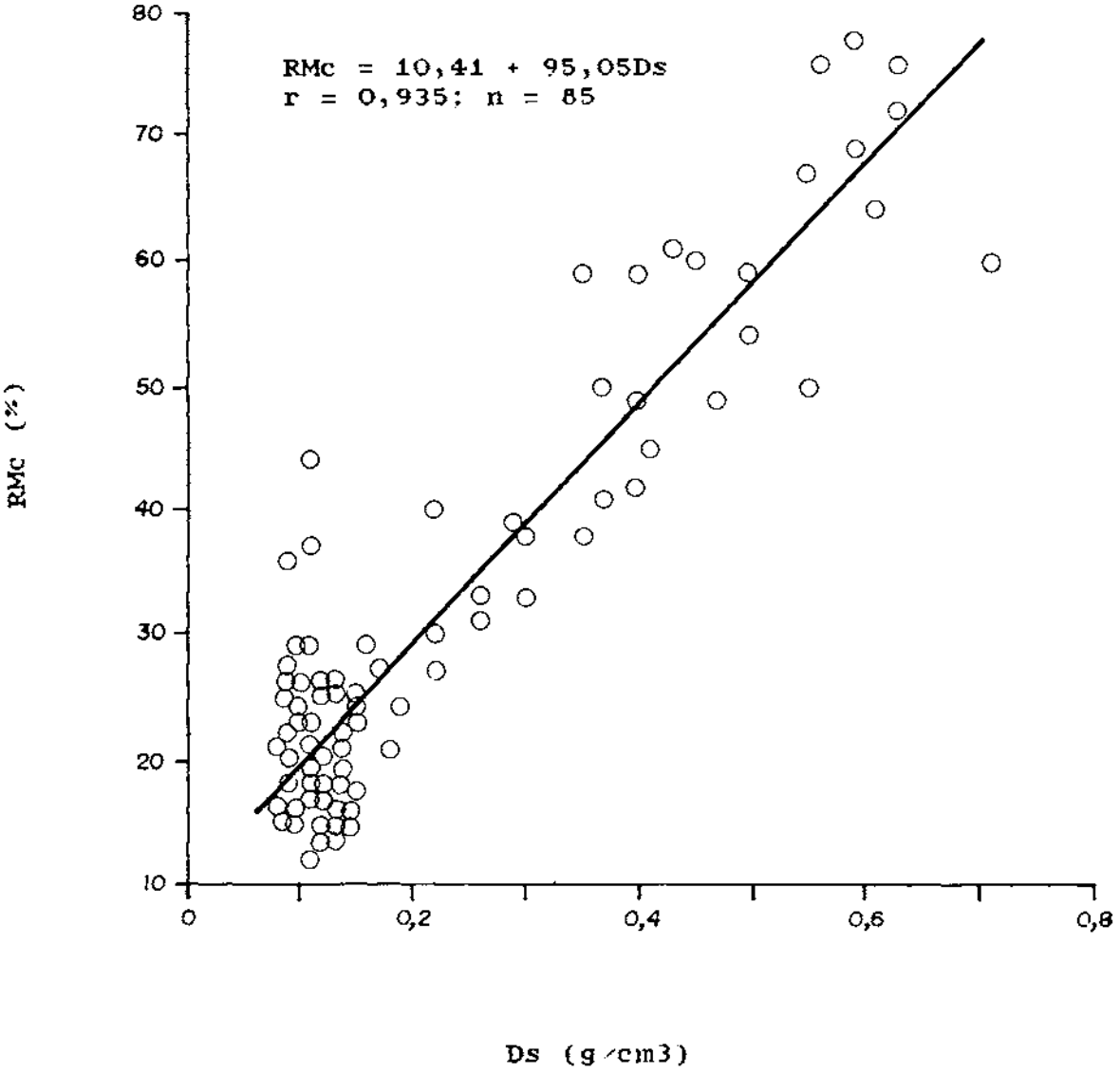


FIGURA 19. Relação entre a densidade de solo (Ds) e o resíduo mínimo por contração (RMc) nas camadas orgânicas não drenadas.

indicando, portanto, diminuição no potencial de contração. A camada superior "ombrógena" (com uma Ds média de 0,096 g/cm3) possui um RMc muito baixo, estimado em 19% pela equação de regressão acima. Por outro lado, as amostras com uma Ds de 0,60 g/cm3 (valor relacionado a 14% de MO, conforme ilustrado na Figura 9) possuem um RMc estimado de 69%. Prevê-se, portanto, a ocorrência de perdas de volume de solo (por secagem total) variando entre 81 e 31% nas camadas orgânicas não drenadas, conforme a densidade do solo; o menor valor de RMc (12%) foi encontrado na camada superior "topógena" do perfil modelo que corresponde ao perfil 22.

O efeito da umidade do Solo Orgânico sobre seu potencial de contração física foi constatado por ANDERSON & BEVERLY (1985). No presente estudo, os resultados obtidos concordam com os autores citados, verificando-se que o RMc diminui linearmente com o aumento da umidade volumétrica do solo (RMc = 221,26 - 2,23Uv; r = -0,882; n = 85), conforme pode ser verificado na Figura 20. Apesar da grande dispersão dos pontos, esta relação mostra que nas camadas orgânicas não drenadas o volume residual depende do volume de partículas presente no solo (o qual pode ser estimado pela Uv); isto era esperado, com base na relação entre RMc e Ds.

A contração tende a acomodar as partículas do solo à um volume relativamente constante, ou seja, uniformizar a porosidade total do solo, o que ocorre independentemente de sua porosidade original (presente antes da secagem),

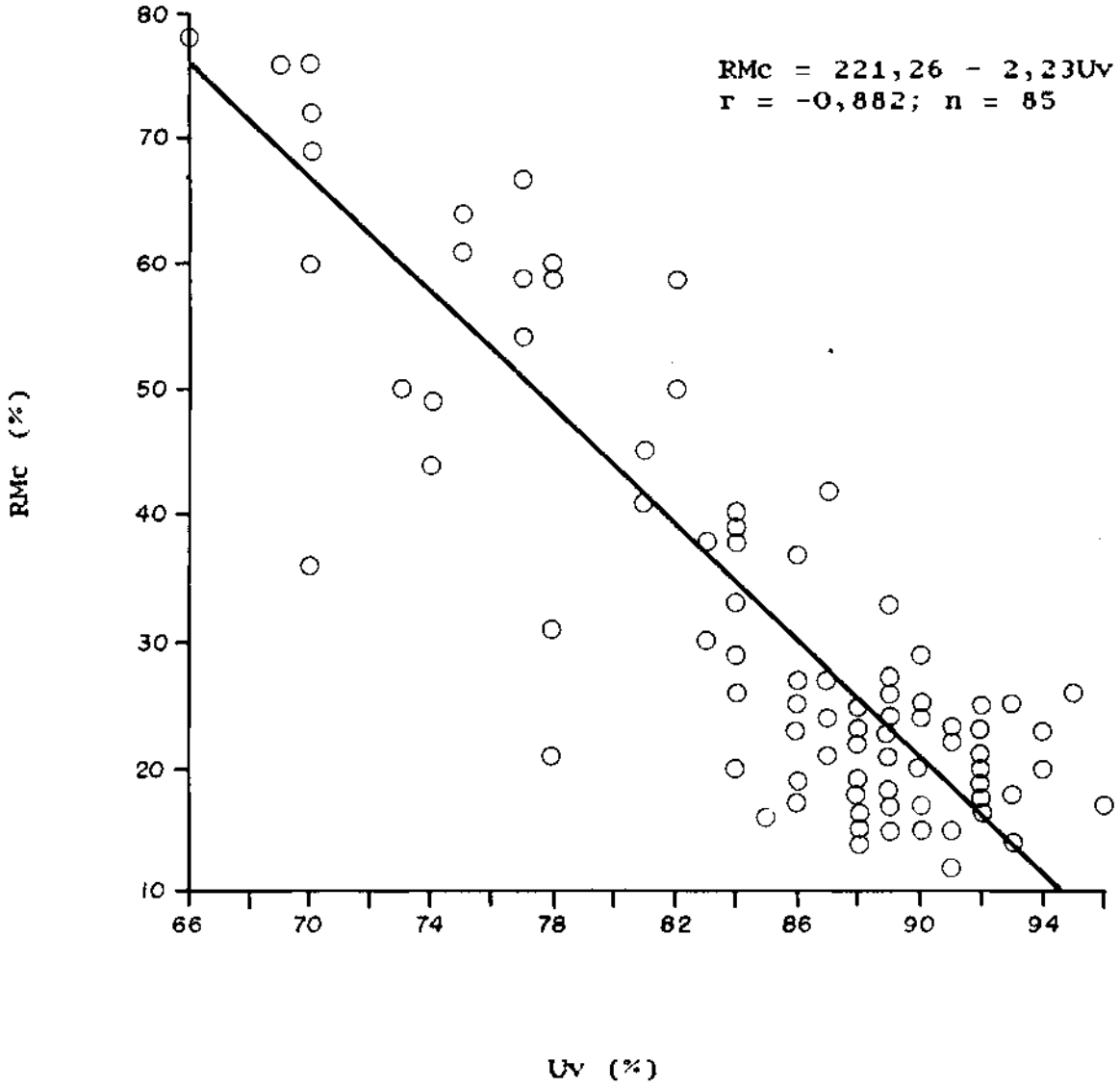


FIGURA 20. Relação entre a umidade volumétrica (Uv) e o resíduo mínimo por contração (RMc) nas camadas orgânicas não drenadas.

conforme a Figura 27.

A previsão do potencial de contração das camadas profundas, onde é difícil a amostragem em volume conhecido, é possível a partir da determinação da Ug. A Figura 21 mostra que o RMc diminui exponencialmente com o aumento da Ug [RMc = 12,42 + 7.705,19 / (Ug+36,895); r = -0,948; n = 85].

O teor de MO é o principal parâmetro de classificação dos Solos Orgânicos e sua relação com o potencial de contração está ilustrada na Figura 22. Apesar da grande dispersão dos pontos, pode-se verificar nesta figura que o RMc diminui exponencialmente com o aumento do teor de MO [RMc = 10,41 + 843,65 / (%MO+1,106); r = -0,909; n = 85]. Para teores de MO superiores a 50% não se verifica dependência entre RMc e %MO; isto se deve ao volume muito reduzido (menos de 4%) de partículas minerais nestas amostras (vide item 4.3.2.), as quais não afetam a contracão.

O potencial de contração das camadas orgânicas não drenadas pode ser estimado diretamente no campo a partir da Dsu. A Figura 23 mostra um aumento linear do RMc com o aumento da Dsu (RMc = -101,28 + 123,782Dsu; r = 0,840; n = 85).

Os resultados apresentados mostram que uma propriedade do solo (como a Ds, a Ug ou a %MO) pode ser suficiente para estimar o RMc das camadas não drenadas; isto decorre da Dmo apresentar valor relativamente constante. Entretanto, nas amostras das camadas superficiais drenadas é necessário considerar também a Dmo para estimar a contração pois

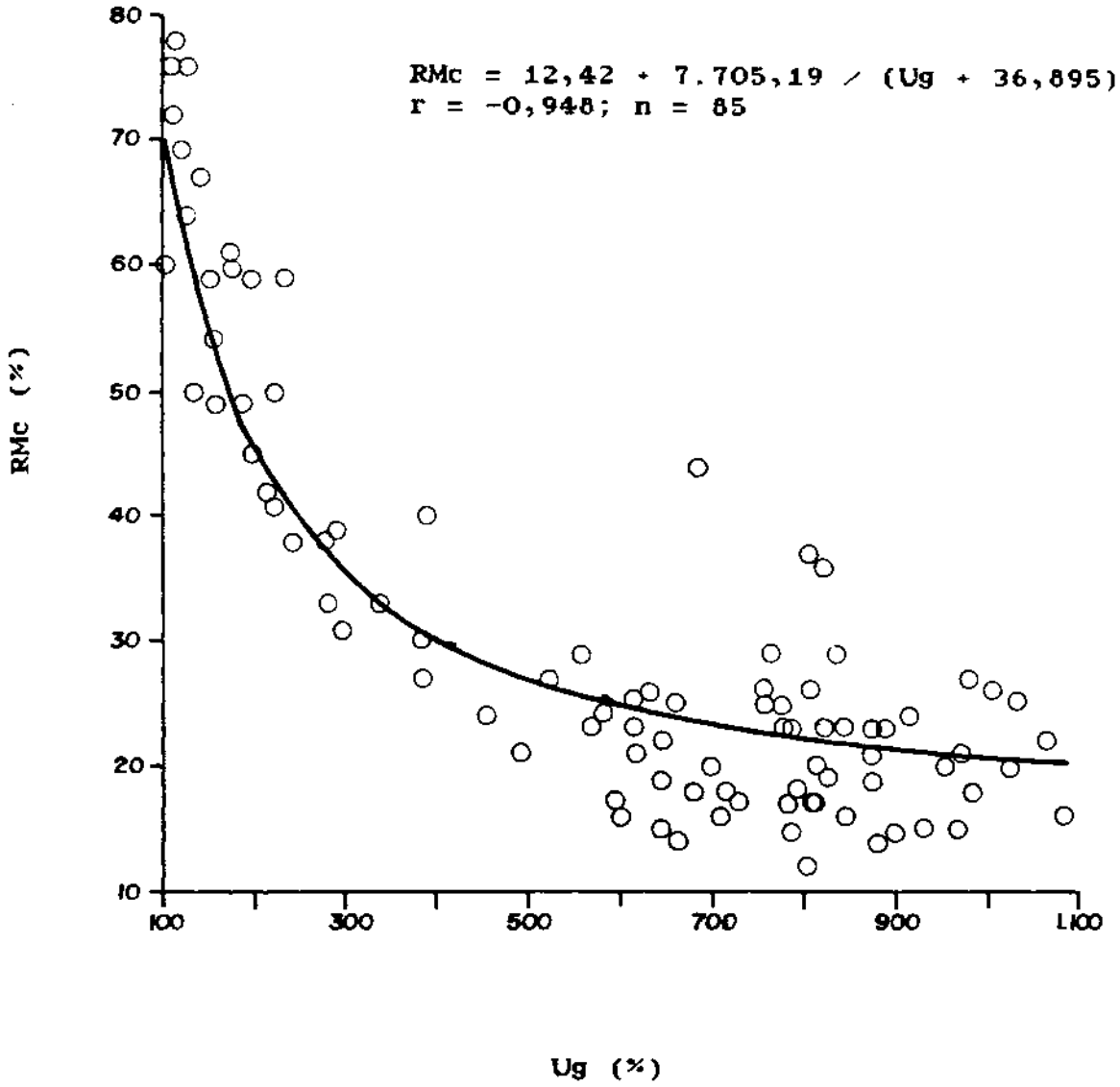


FIGURA 21. Relação entre a umidade gravimétrica (Ug) e o resíduo mínimo por contração (RMc) nas camadas orgânicas não drenadas

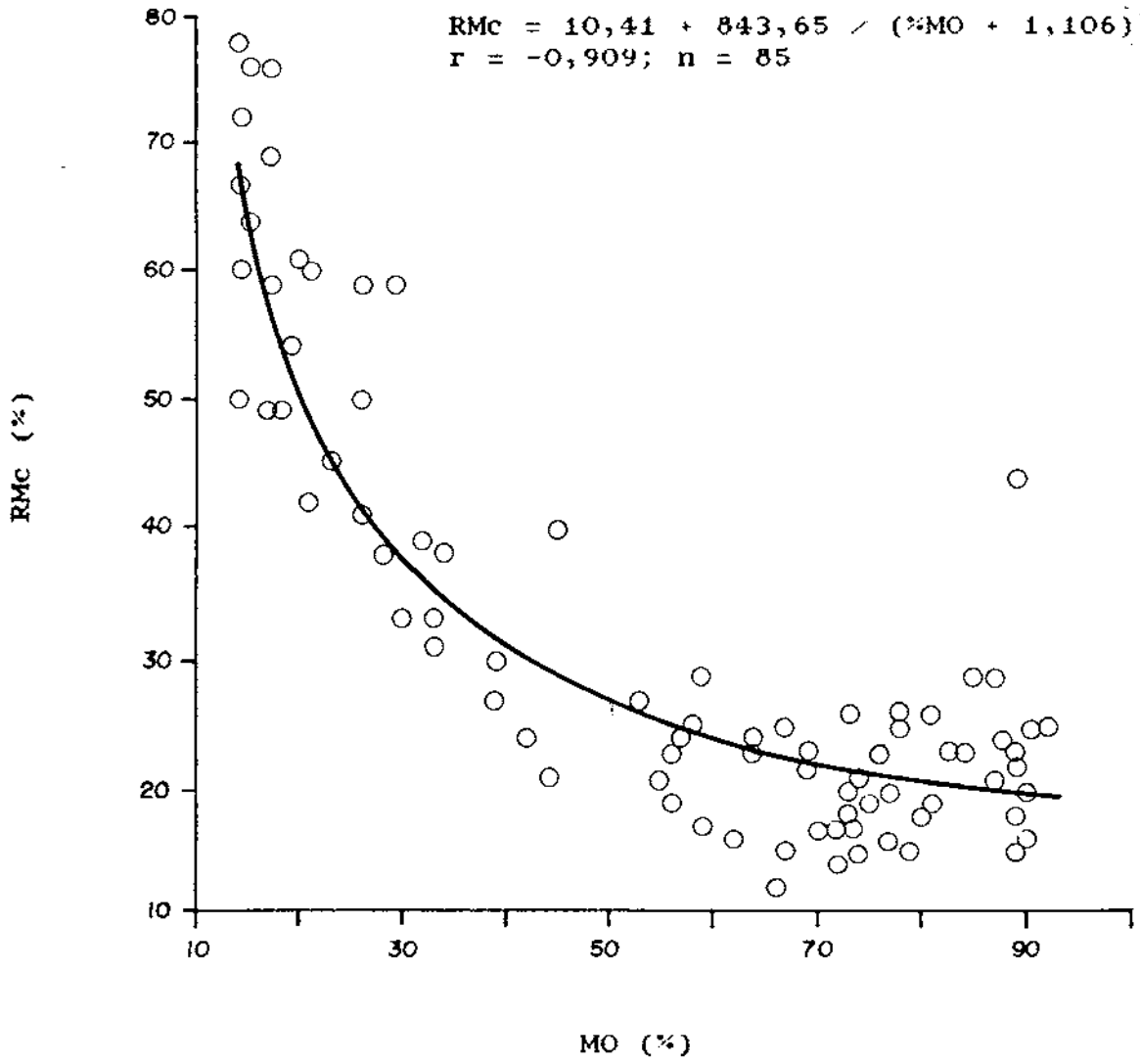


FIGURA 22. Relação entre o teor de material orgânico (%MO) e o resíduo mínimo por contração (RMc) nas camadas orgânicas não drenadas.

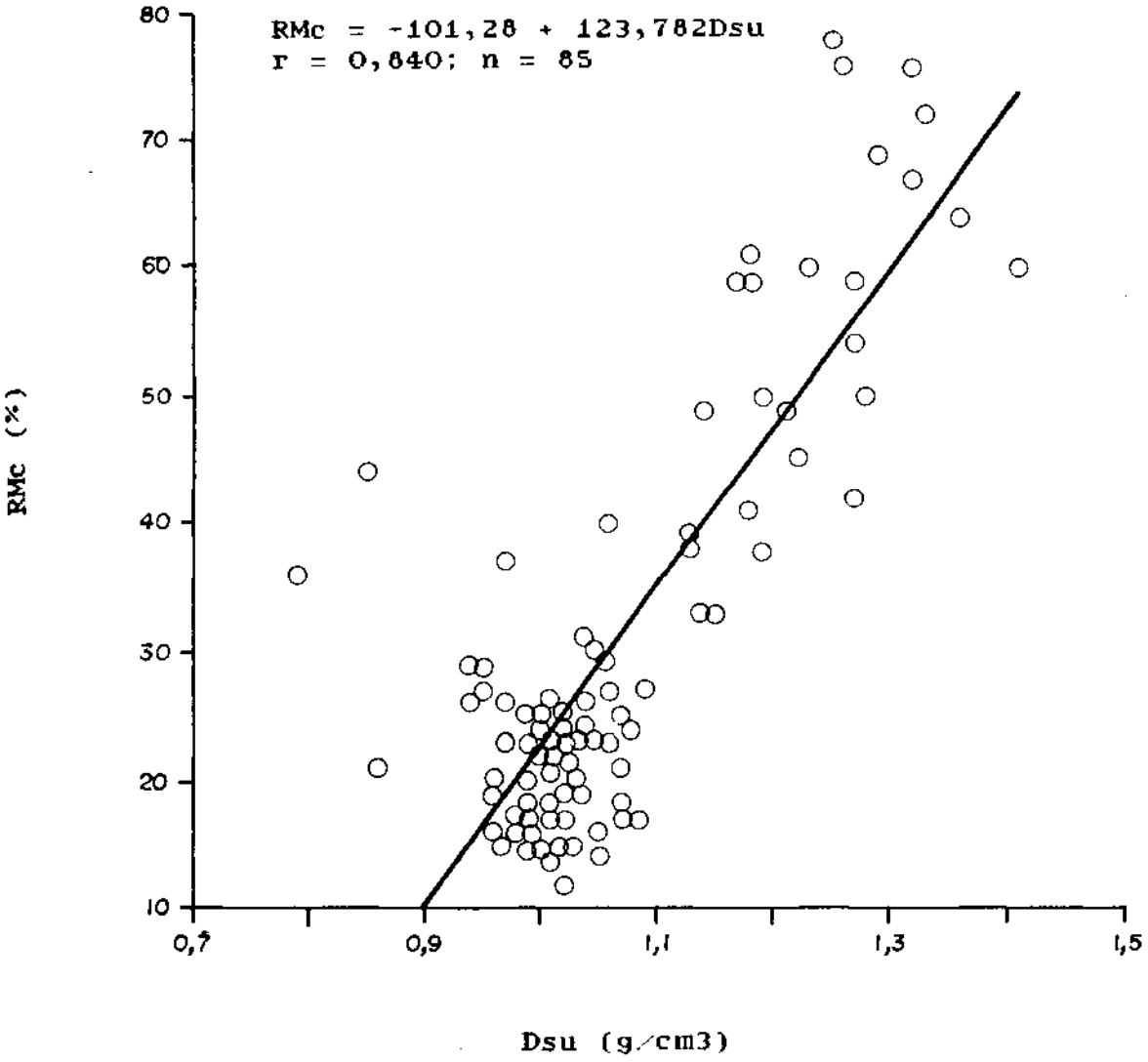


FIGURA 23. Relação entre a densidade de solo úmido (Dsu) e o resíduo mínimo por contração (RMc) nas camadas orgânicas não drenadas

ela apresenta valores variáveis e superiores a 0,10 g/cm3, que é o valor máximo encontrado nas camadas não drenadas.

A contração total aumenta a Dmo e a Dcz; a concentração de material orgânico e de material mineral (em base de massa por volume de solo) nas amostras totalmente contraídas por secagem são denominadas, neste estudo, respectivamente de densidade de material orgânico de solo contraído (DmoC) e densidade de cinzas de solo contraído (DczC).

A correlação entre DczC e DmoC apresentada a seguir foi obtida utilizando todas as amostras das camadas orgânicas (drenadas e não drenadas), pois o comportamento entre elas não difere significativamente, conforme se observa na Figura 24. Apesar da grande dispersão de pontos, pode-se verificar que a DmoC diminui linearmente com o aumento da DczC (DmoC = 0,419 - 0,336DczC; r = -0,655; n = 209). A equação estima uma DmoC de 0,42 g/cm3 para amostras isentas de cinzas, correspondendo à máxima densidade que a armação orgânica atinge por secagem.

A estimativa do RMc de amostras provenientes de camadas drenadas e não drenadas é possível, portanto, pela determinação da Dmo e da Dcz da amostra, conforme ilustra a Figura 25 (RMc = 238,8Dmo + 80,3Dcz; n = 209); a estimativa do RMc por esta equação relaciona-se significativamente com os valores obtidos experimentalmente (r = 0,956). A reta tracejada nesta Figura representa o volume residual após a total eliminação do material orgânico, considerando-se uma

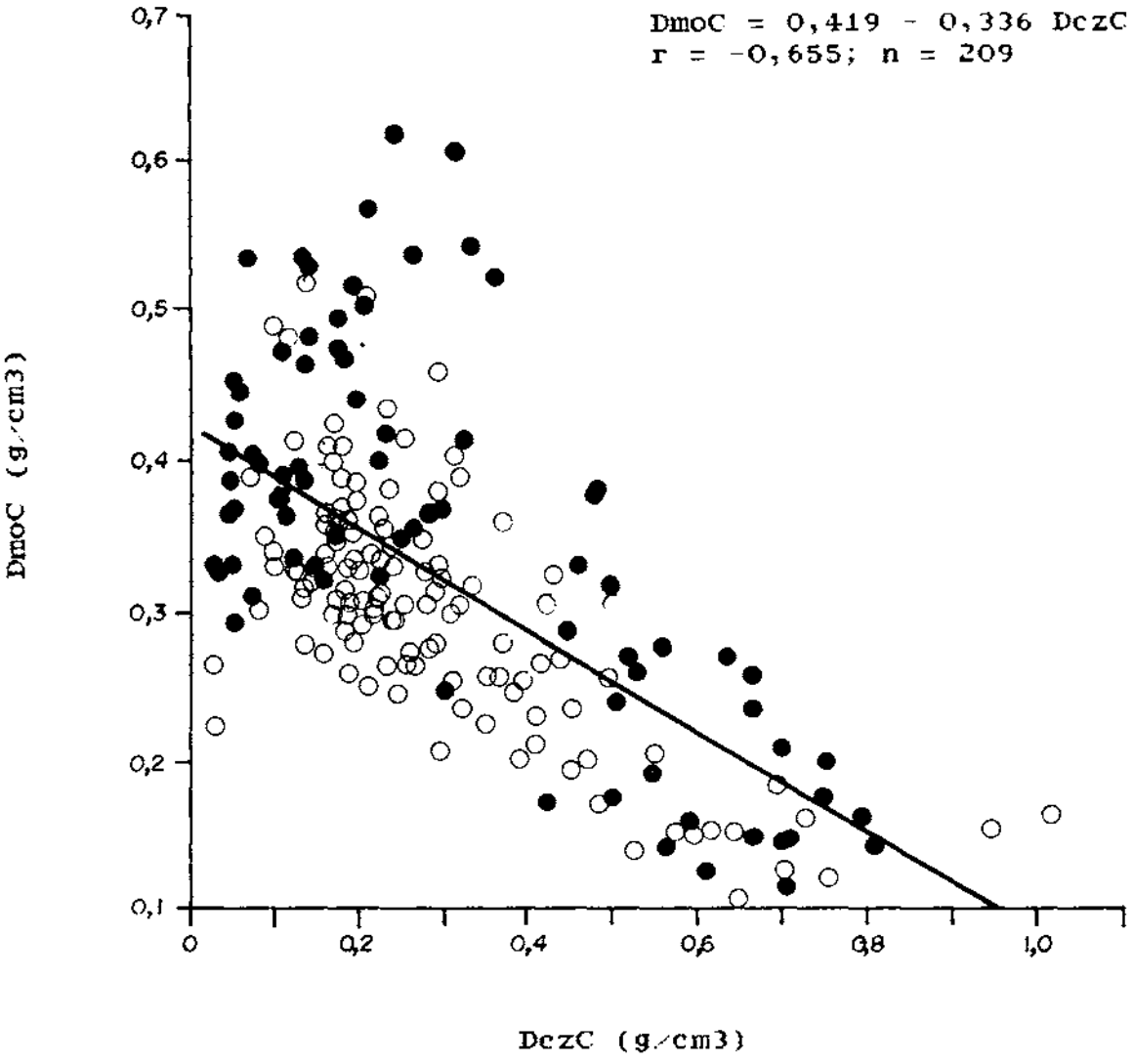


FIGURA 24. Relação entre a densidade de cinzas (Dcz) e a densidade de material orgânico (Dmo) nas camadas orgânicas não drenadas (●) e drenadas (○) após contração total por secagem.

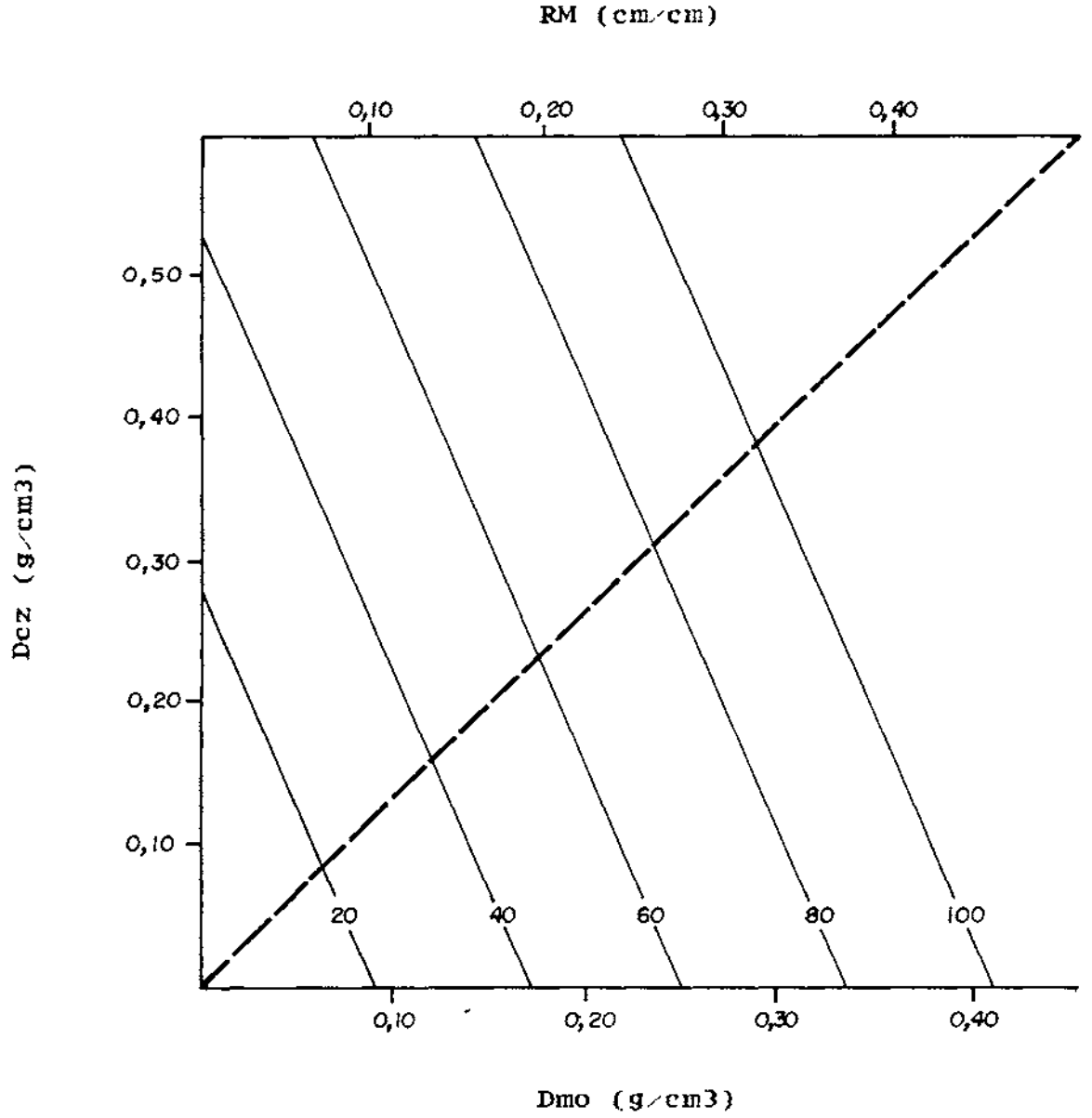


FIGURA 25. Gráfico para estimar o resíduo mínimo por contração (RMc ——) utilizando a densidade de material orgânico (Dmo) e a densidade de cinzas (Dcz); para estimar o resíduo mínimo por eliminação do material orgânico (RM— —) utilizando a Dcz.

densidade residual do solo de 1,20 g/cm3, sendo o volume dependente apenas da Dcz original conforme LYNN et al. (1974).

4.5.2. Drenagem, contração e subsidência

A aeração do Solo Orgânico, que é o objetivo da drenagem, cria condições para o seu cultivo. Entretanto, a retirada de parte da água tem como consequência inevitável a contração física do solo, a qual, segundo PONS (1960) é a responsável por altas taxas de subsidência logo após o início da drenagem.

Conforme foi citado no item 2.3., a participação da contração física na subsidência não é bem conhecida. No Rio Grande do Sul predominam Solos Orgânicos com baixos valores de Ds e Dmo (KÄMPF & SCHNEIDER, 1989); isto indica grande potencial de contração física (vide item 4.5.1.), a qual independe da atividade microbiana no solo e, portanto, do manejo das características químicas do solo. Percebe-se, portanto, a importância de diferenciar os Solos Orgânicos quanto a este potencial.

Neste estudo, foram efetuados testes de contração em duas amostras do solo estudado. Uma é proveniente do perfil de número 3, apresentando uma Ds de 0,23 g/cm3, um teor de MO de 45% e uma Dmo de 0,10 g/cm3; a outra é proveniente do perfil de número 20, apresentando uma Ds de 0,22 g/cm3, um teor de MO de 70% e uma Dmo de 0,15 g/cm3. O

valor relativamente elevado de Dmo da amostra 2 indica que também já sofreu um determinado grau de contração no campo, por efeito da drenagem.

Conforme pode ser verificado na Figura 26, as curvas de contração obtidas seguem o comportamento descrito por HAINES (1923) apud BAVER et al. (1972) para solos minerais, onde a perda inicial de volume de solo corresponde à perda de igual volume de água. Somente após grandes reduções no volume do solo, superiores a 40% em ambas as amostras, a contração passa a ser do tipo residual (HAINES, 1923 apud BAVER et al., 1972), na qual as perdas de umidade excedem as perdas de volume de solo, passando a ocorrer aeração do solo.

Este comportamento indica que nos Solos Orgânicos não drenados é provável, em nivel de campo, a ocorrência de significativa subsidência por contração física antes do estabelecimento de condições aeróbias; estas, como já citado, são reconhecidas como necessárias ao estímulo da atividade microbiana e decomposição do solo, favorecendo a continuidade da subsidência.

A Figura 26 mostra também que a amostra com 45% de MO atinge 60% de seu volume original no momento em que inicia a aeração do solo, atingindo então uma Dmo de 0,17 g/cm3 (0,10 / 0,6); já a amostra com 70% de MO atinge aproximadamente 55% de seu volume original no momento em que inicia a aeração do solo, atingindo então uma Dmo de 0,27 g/cm3 (0,15 / 0,55). Conforme esperado, o maior teor de MO

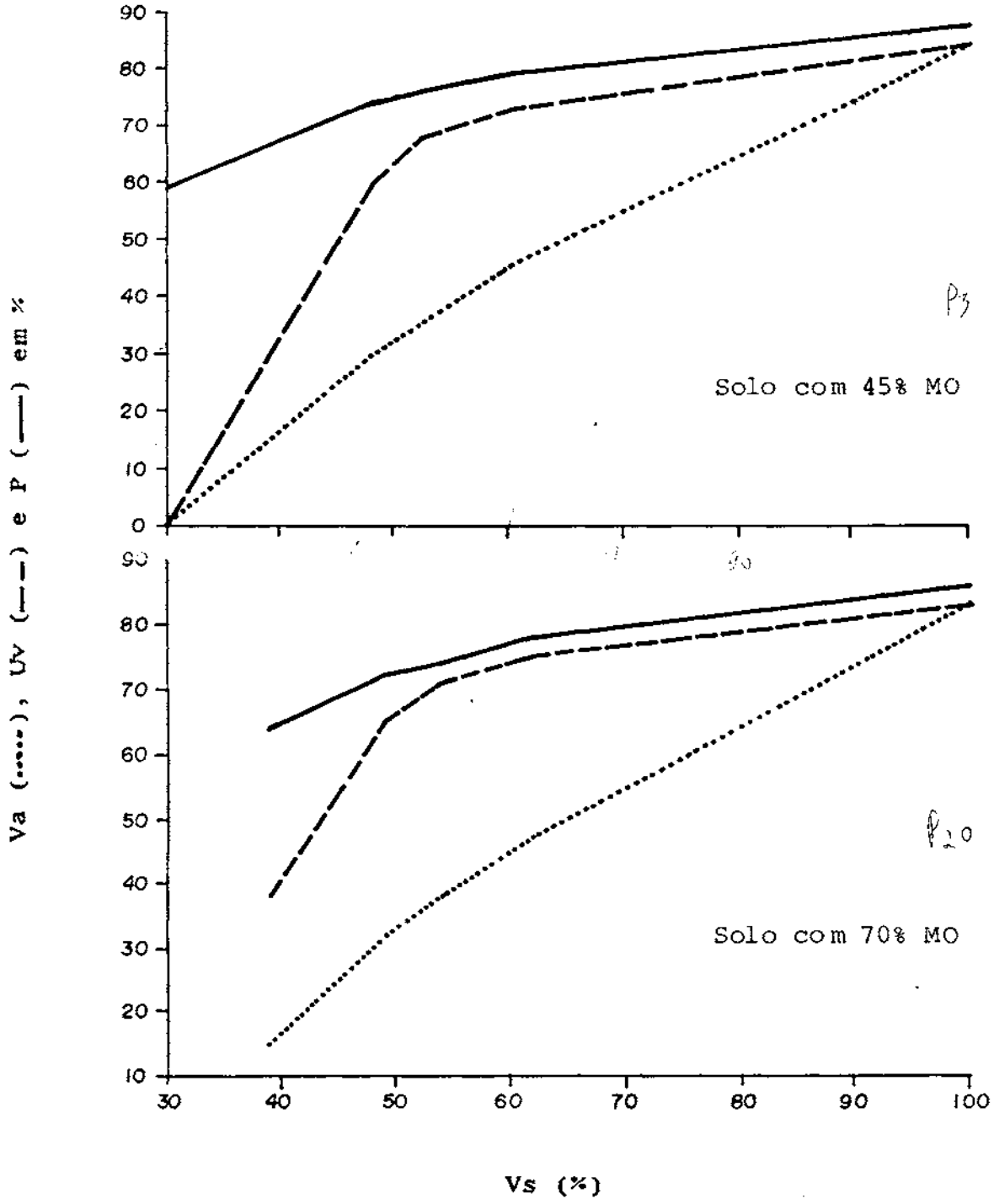


FIGURA 26. Relação entre o volume residual de solo (Vs) e o volume residual de água (Va), a umidade volumétrica (Uv) e a porosidade total do solo (P) durante a contração do solo por secagem.

resultou em maior Dmo na amostra no momento da aeração do solo, pois a presença de menor quantidade de partículas minerais possibilitou maior contração da armação orgânica (conforme já foi discutido no item 4.5.1.)

A profundidade do dreno, ou a espessura de solo não drenado necessária à obtenção de uma camada drenada com a espessura pretendida (adequada às exigências da cultura a ser instalada) pode ser estimada através das curvas de contração. No presente estudo, estas curvas indicam a necessidade de drenar, por exemplo, uma camada de 73cm (40 / 0,55) de um Solo Orgânico com uma Ds de 0,22 g/cm3 e 70% de MO para obter uma camada aerada com 40cm de espessura; já num Solo Orgânico com uma Ds de 0,23 g/cm3 e 45% de MO há necessidade de drenar uma camada de 67cm (40 / 0,60) para obter os mesmos 40cm de espessura da camada aerada.

4.5.3. Alterações nas características de solo por efeito da contração

A contração altera algumas características dos Solos Orgânicos sem modificar, obviamente, o seu teor de MO. Associados a reduções no volume do solo ocorrem, naturalmente, aumentos na Ds e reduções na P, com consequente diminuição da quantidade de água possível de ser armazenada. A importância disto é que a estimativa do teor de MO através da determinação de características como a Ug ou a Ds não é satisfatória nas camadas drenadas, ao contrário do

que ocorre nas camadas não drenadas (vide item 4.3.), conforme discussão que segue.

A grande dispersão dos pontos que representam as características das amostras após contração máxima, conforme se observa nas Figuras 27, 28 e 29, impede a representação das relações através de equações de regressão. Assim, a sua discussão baseia-se nas tendências observadas.

Estas Figuras ilustram limites mínimos e máximos estimados para os valores de P, Ug e Ds para um determinado teor de MO; a variabilidade depende do grau de contracão previamente sofrido por perda de água. As curvas tracejadas, que representam as estimativas dos valores destas características nas camadas não drenadas (conforme discutido no item 4.3.), servem como referência da modificação. O afastamento da curva tracejada, representando aumento no grau de contração, mostra que com o avanço da contração o teor de MO (%MO) não afeta mais a porosidade (Figura 27) e a umidade gravimétrica do solo (Figura 28), isto é, deixam de existir as relações verificadas nas amostras não drenadas (não contraídas). Verifica-se, portanto, que dependendo do grau de contração sofrido, um mesmo teor de MO relaciona-se a diferentes valores de Ds e Ug. Exemplificando, amostras com 20% de MO podem apresentar uma Ds variando entre 0,40 e 0,70 a 0,90 g/cm3 (Figura 29) e uma Ug variando entre 180 e 50 a 80% (Figura 28) em amostras saturadas com água; amostras com 90% de MO, por outro lado, podem apresentar uma Ds variando entre 0,10 e 0,25 a 0,60 g/cm3

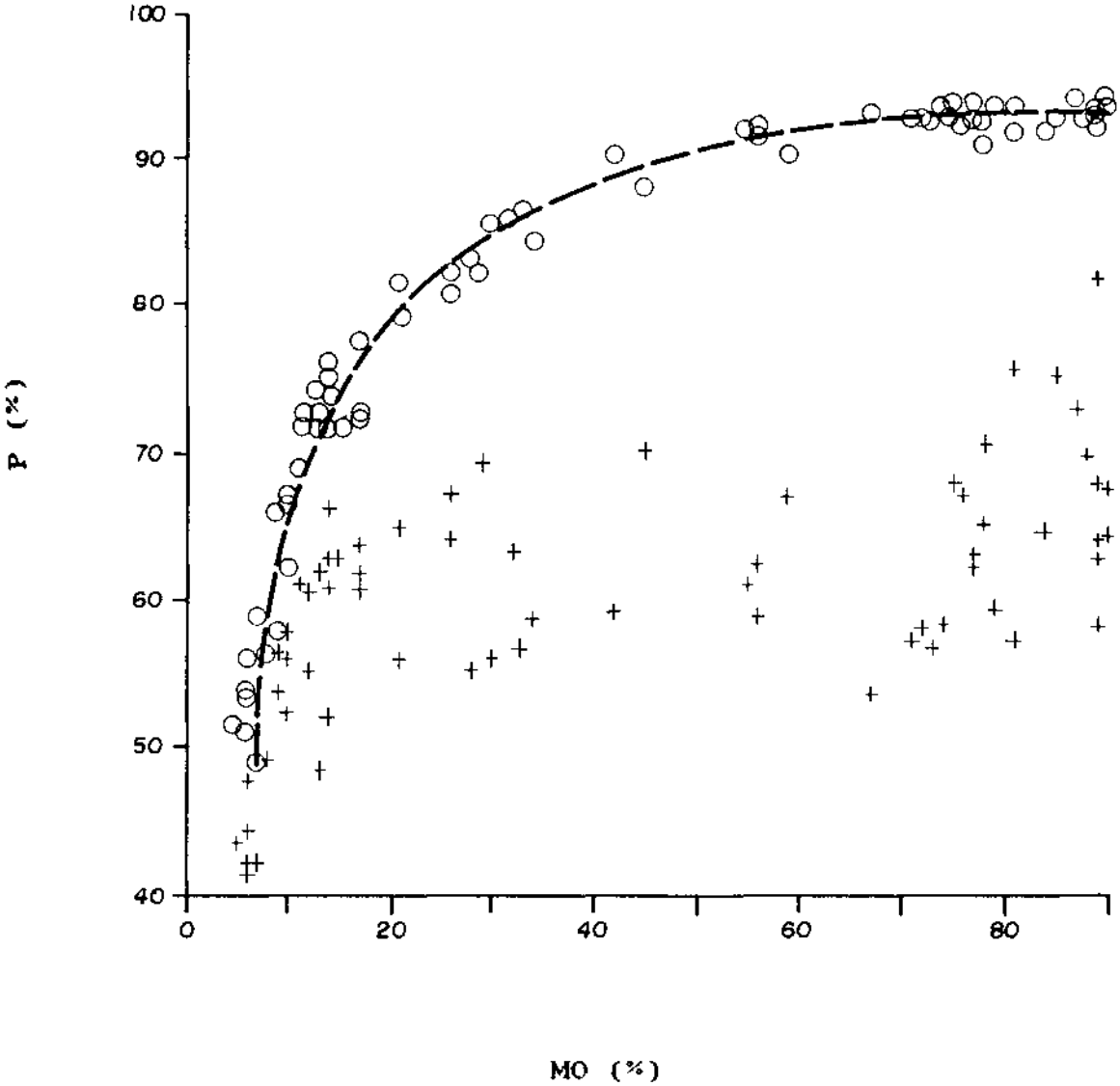


FIGURA 27. Relação entre o teor de material orgânico (%MO) e a porosidade total do solo (P) nas camadas não drenadas antes (O) e após (+) contraçãa máxima por secagem

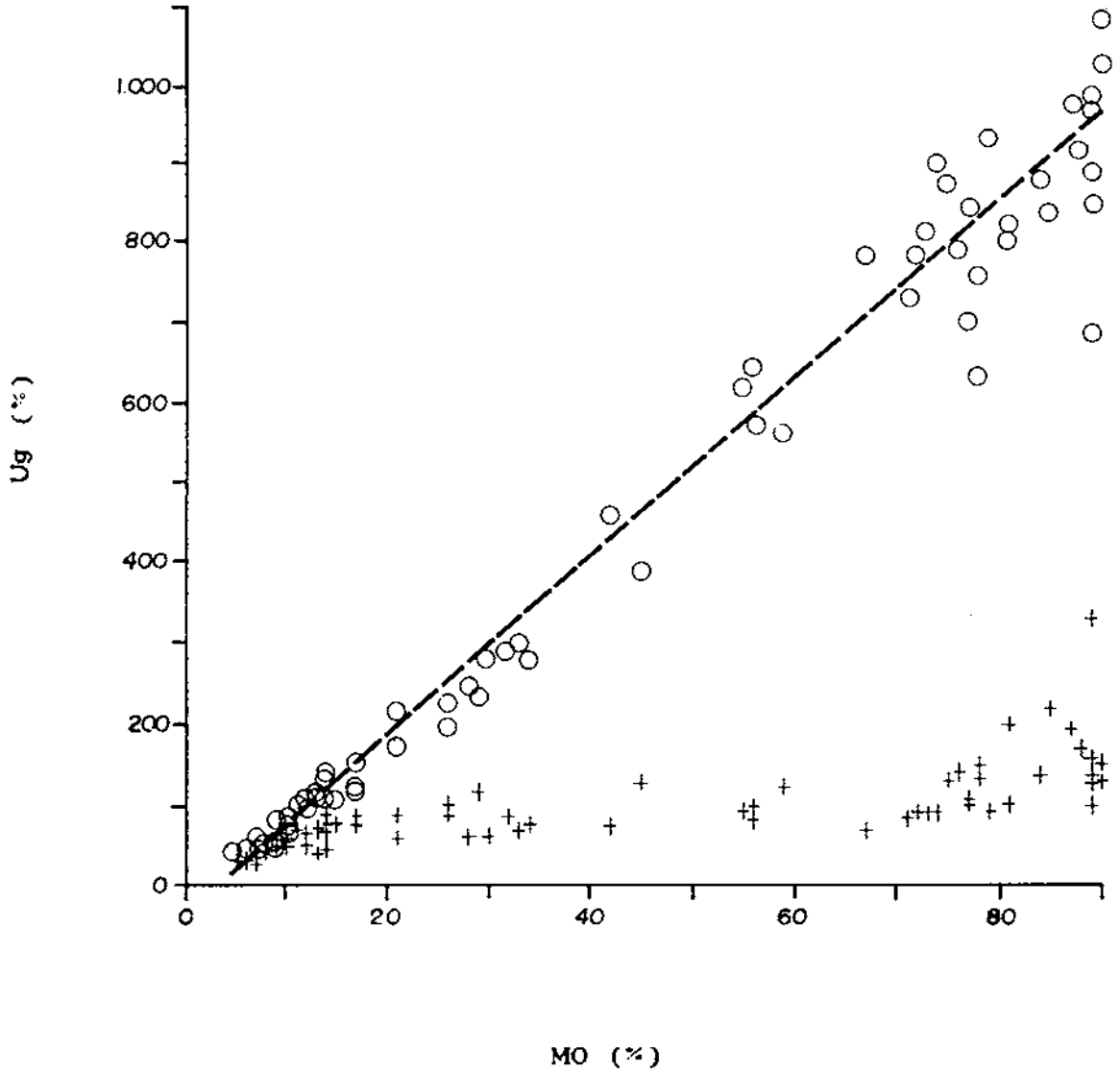


FIGURA 28. Relação entre o teor de material orgânico (%MO) e a umidade gravimétrica (Ug) nas camadas não drenadas antes (○) e após (+) contração máxima por secagem.

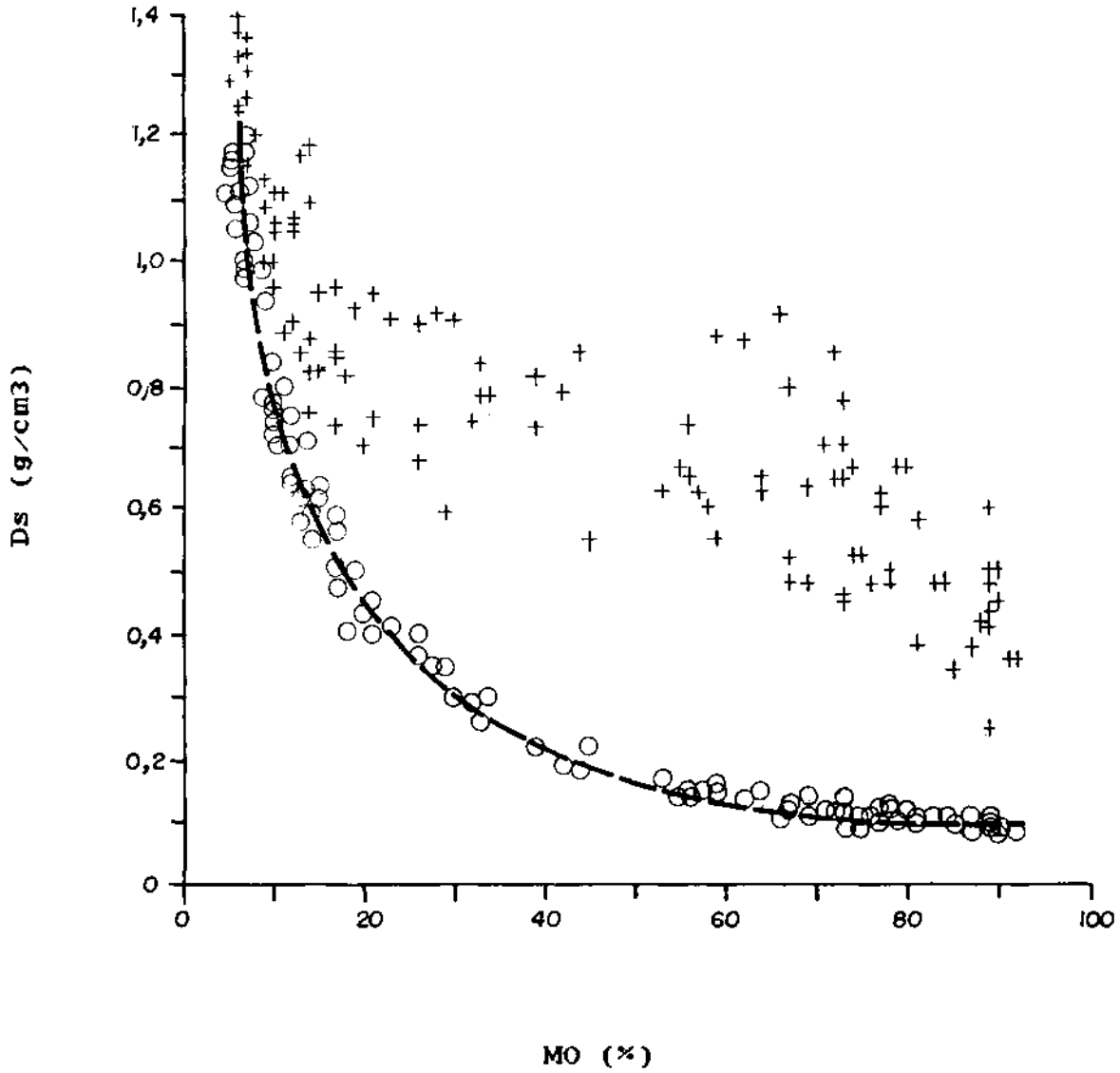


FIGURA 29. Relação entre o teor de material orgânico (%MO) e a densidade de solo (Ds) nas camadas não drenadas antes (○) e após (+) contração máxima por secagem.

(Figura 29) e uma Ug variando entre 950 e 100 a 350% (Figura 28) em amostras saturadas com água. Conclui-se, portanto, que a Ds e a Ug, isoladamente, somente estimam satisfatoriamente o teor de MO (%MO), e vice versa, em amostras de solo saturado e não contraídas, nas quais a armação orgânica possui densidade (Dmo) relativamente constante.

4.6. Alterações no Solo Orgânico com a subsidência

A partir do início da drenagem ocorrem progressivamente alterações nos Solos Orgânicos, cuja previsão é de grande importância, pois condicionam sua incorporação ao processo produtivo agrícola.

De maneira geral, as características da camada orgânica (como o seu teor de MO e a sua espessura) e do substrato mineral (como a sua textura e a sua cota de ocorrência), assim como a cota de drenagem livre do sítio, definem o potencial de uso do Solo Orgânico.

A subsidência passa a ocorrer no início da drenagem (PONS, 1960) e prossegue com as perdas de material orgânico, podendo cessar apenas ao ser exposto o substrato mineral. Durante a subsidência, o uso do Solo Orgânico pode ser inviabilizado (ou encarecido significativamente) pela dificuldade de promover a drenagem livre; isto acontece em situações nas quais a cota de drenagem livre ocorre acima da cota do substrato mineral, o que pode ser previamente constatado por estudos hidro-topográficos. Por outro lado, as

características deste substrato mineral podem restringir o uso futuro do solo, não sendo recomendada, por exemplo, a drenagem de Solos Orgânicos jacentes sobre areias.

A seguir, será discutido o efeito da drenagem sobre algumas características da camada orgânica, como a sua espessura, o seu teor de MO, a sua Dmo e a sua Ds.

As curvas de contração (Figura 26) indicam que o maior grau de alteração nos Solos Orgânicos não drenados ocorre em período de tempo relativamente curto, representado pelo intervalo entre o início da drenagem e a aeração do solo. As alterações mais significativas limitam-se a reduções de cota, aumento da Ds e diminuição da porosidade total do solo, conforme discutido no item 4.5.3.

Conforme consta na Tabela 5, os valores médios de Dmo nos primeiros 40cm dos perfis representativos de Solos Orgânicos, situados em cotas mais baixas (números 12 a 19), oscilam entre 0,16 e 0,19 g/cm3, com uma média de 0,17±0,01 g/cm3, que é aproximadamente o dobro da média observada nas camadas não drenadas (Dmo de 0,085 g/cm3, conforme discutido no item 4.3.1.

Por outro lado, nesta camada superficial, ao longo da transeção, os valores de Dcz variam entre 0,09 e 0,28 g/cm3; esta variação da Dcz mostra que o efeito da drenagem sobre o solo estudado resultou em acomodamento das partículas orgânicas a um volume relativamente constante (indicado pela Dmo) e independente da quantidade de partículas minerais presentes, dentro da amplitude de Dcz observada, à

TABELA 5. Valores médios do teor de material orgânico (%MO), da densidade de solo (Ds), da densidade de cinzas (Dcz) e da densidade de material orgânico (Dmo) na camada superficial de 40cm na transeção.

Perfil No.	MO %	Ds	Dcz g/cm3	Dmo
1	12	0,94	0,84	0,10
2	23	0,79	0,63	0,16
3	60	0,25	0,09	0,16
4	69	0,20	0,07	0,13
5	76	0,16	0,04	0,12
6	30	0,58	0,43	0,15
7	35	0,56	0,39	0,17
8	33	0,59	0,42	0,17
9	41	0,45	0,29	0,16
10	41	0,55	0,33	0,18
11	40	0,47	0,30	0,17
12	43	0,46	0,28	0,18
13	47	0,44	0,25	0,19
14	51	0,34	0,17	0,17
15	55	0,32	0,16	0,16
16	65	0,27	0,10	0,17
17		0,36		
18	55	0,31	0,14	0,17
19	65	0,27	0,09	0,18
20		0,24		
21	74	0,19	0,07	0,12
22	82	0,16	0,03	0,13

semelhanca do que se observa nas camadas não drenadas (vide item 4.3.1.).

Conforme citado no item 2.4. o requisito de espessura mínima de Solos Orgânicos não constituídos de sphagnum nem com Ds menor de 0,10 g/cm3 é de 40cm. Isto significa que uma espessura inferior a 40cm, como resultado de subsidência, exige a reclassificação do Solo Orgânico para uma determinada classe de solo mineral.

Neste estudo, o conhecimento da distribuição vertical da densidade de cinzas (Dcz) no perfil modelo (conforme ilustrado na Figura 2) possibilita calcular o somatório da massa de partículas minerais no sentido descendente, ou seja, prever a quantidade destas partículas presente na camada superficial de 40cm para um determinado grau de subsidência; isto, usado conjuntamente com a densidade de material orgânico (Dmo) observado nos primeiros 40cm dos perfis situados nas menores cotas, permitem formular um modelo teórico de previsão das alteracões na Ds e no teor de MO nesta camada com o avanco da subsidência. A Figura 30 ilustra o modelo proposto, o qual tem por requisito a permanência das partículas minerais no perfil, com o avanço da decomposição do solo e subsidência, ocorrendo sua concentração apenas na camada superficial (40cm). Outro requisito, como discutido anteriormente, é a manutenção de uma Dmo média de 0,17 g/cm3, valor este previsto como relativamente constante nas camadas drenadas do solo estudado.

A Ds aumenta bruscamente logo após a drenagem (por

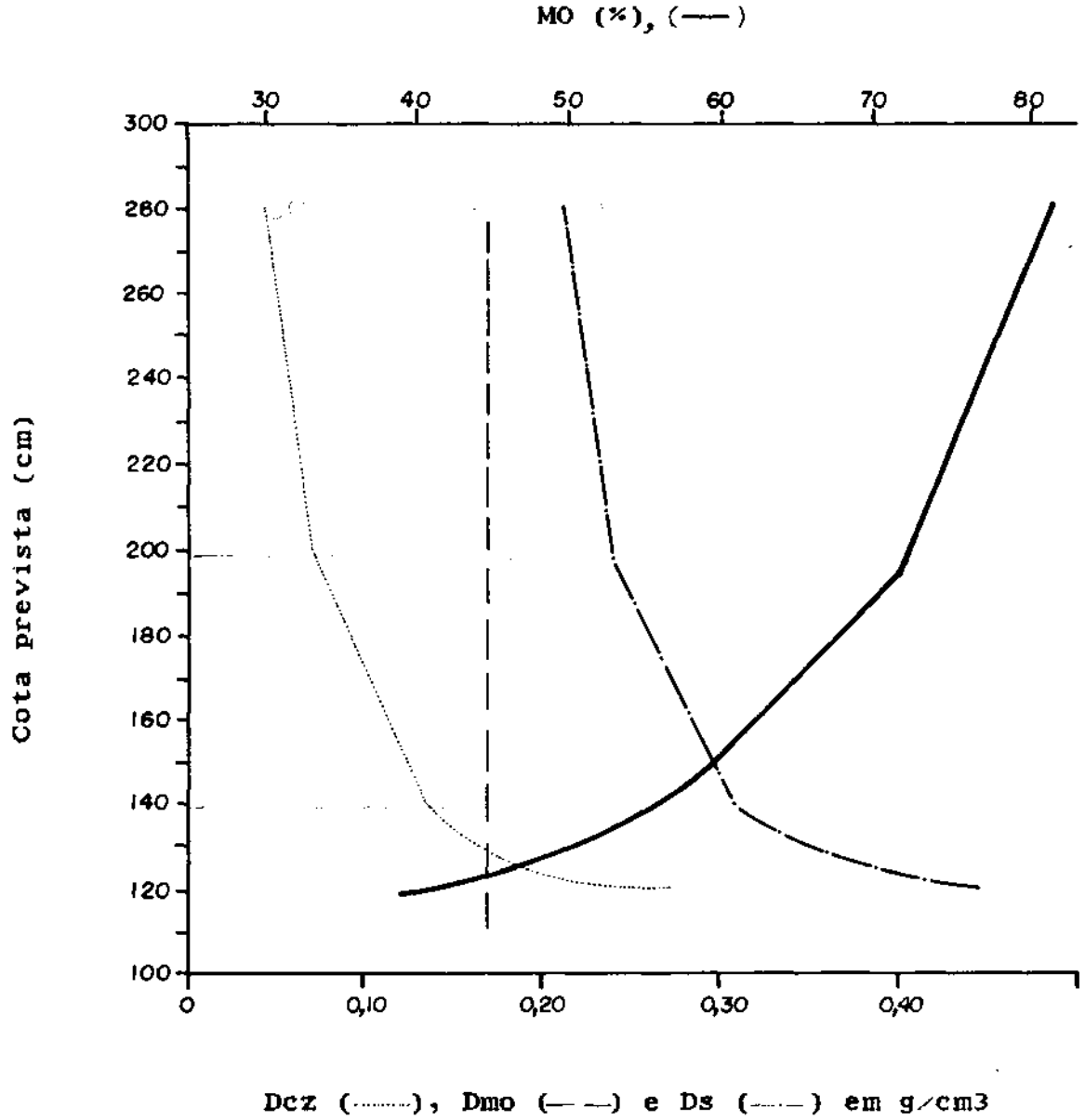


FIGURA 30. Representação da estimativa da densidade de cinzas (Dcz), da densidade de material orgânico (Dmo), da densidade de solo (Ds) e do teor de material orgânico (%MO) na camada superficial de 40cm com o avanço da subsidência.

efeito da contração física). Percebe-se, por outro lado, que a progressiva acumulação de partículas minerais (por efeito da decomposição do material orgânico) nesta camada resulta em um contínuo aumento na Ds. Este aumento, no entanto, somente volta a ser brusco na fase terminal da subsidência, com a incorporção do substrato mineral, conforme pode ser observado na Figura 30.

Na fase inicial da subsidência, a concentração de partículas minerais na camada superficial de 40cm resulta em baixo valor médio da Dcz nesta camada, o qual aumenta pouco e linearmente com o avanço da subsidência, pois a Dcz é baixa e constante nas camadas orgânicas não drenadas superficiais "ombrógenas" (vide Figura 2); isto, associado ao valor relativamente constante (0,17 g/cm3) que a Dmo apresenta nesta camada superficial drenada, ao longo da transeção, resulta em diminuição linear da %MO nas fases iniciais da subsidência. Por outro lado, decréscimos abruptos do teor de MO ocorrem apenas na fase terminal da subsidência, a qual precede a mudança taxonômica do Solo Orgânico para solo mineral, o que ocorre pela incorporação de camadas do substrato mineral com Dcz relativamente elevada.

Com base no somatório vertical da massa de partículas minerais encontrado no perfil modelo original, este modelo prevê uma Dcz máxima de 0,28 g/cm3 quando da camada orgânica original restarem apenas 40cm. Por outro lado, estima-se para esta situação uma Ds máxima de 0,45 g/cm3 (Dcz + Dmo = 0,28 + 0,17 = 0,45 g/cm3) e um teor de MO

mínimo de 38% (100 x Dmo / Ds = 100 x 0,17 / 0,45 = 38%). Estes valores têm ocorrência prevista, pelo modelo, quando o solo em estudo deixar de ser classificado como representativo de Solo Orgânico, ou seja, quando subsidir até que sua a cota fique aquém de 115cm, a qual ocorre 40cm acima do substrato mineral (conforme pode ser verificado na Figura 2). Observa-se, portanto, que durante a subsidência a Dcz média na camada superficial de 40cm aumenta de 0,04 para 0,28 g/cm3, correspondendo a aumentos de 2 para 12% (100 x Dcz / Dp = 100 x 0,28 / 2,38 = 125) do volume do solo (estimado considerando que as partículas minerais possuem uma Dp de 2,38 g/cm3).

Conforme este modelo, na área em estudo não é possível ocorrerem perfis representativos de Solos Orgânicos com teores médios de MO inferiores a 38%, e valores médios de Ds superiores a 0,45 g/cm3, pois o requisito de espessura mínima não seria cumprido; isto é confirmado pelos valores experimentais obtidos, conforme Tabela 5.

A contração isoladamente não altera a %MO. No entanto, os Solos Orgânicos podem ter seu teor médio de MO nos 40cm superficiais diminuído, por efeito da drenagem e da contração, quando nas camadas subjacentes (incorporadas pela subsidência) estes teores são menores. Portanto, a drenagem em curto espaço de tempo pode excluir o perfil da classe dos Solos Orgânicos, pois o requisito de espessura mínima estabelecido (EMBRAPA/SNLCS, 1988) deixaria de ser cumprido. Por isto, atualmente é proposta espessura maior

(60cm) para solos não drenados (KÄMPF & SCHNEIDER, 1989).

Ao longo da transeção, observa-se, dentro dos perfis analisados, diferencas claras nos potenciais de contração, os quais são estimados pelo RMc (Apêndice 1).

A secagem total da camada orgânica resulta numa espessura residual, cuja distribuicão na transecão consta na Tabela 6. Em condições de campo, o efeito da drenagem sobre a contração do solo provavelmente não atinge tal magnitude; estes valores apenas indicam o potencial de subsidência máxima por contração. Verifica-se que este potencial diminui com o adelgamento da camada orgânica, o qual acompanha a diminuição da cota da superfície do solo, que, por sua vez, reflete o grau de subsidência já ocorrido. Isto indica que, no solo estudado, a capacidade de subsidir por contracão diminui com o avanço da subsidência e outros fatores (como por exemplo decomposição biológica) passam a contribuir progressivamente mais para o rebaixamento máximo possível da superfície do solo.

Percebe-se na Tabela 6 que, nos diferentes perfis, a subsidência máxima possível ocorre com diferentes participações da contração física e que, de maneira geral, a contração afeta mais a subsidência nos perfis situados em maior cota. Para exemplificar, o perfil modelo tem uma camada orgânica com 220cm de espessura e possui um RMc médio de 25%, resultando em uma camada orgânica residual de 55cm. Por sua vez, o perfil de número 21, com uma camada orgânica de 135cm, possui um RMc médio de 27%; neste perfil a

TABELA 6. Valores médios do resíduo mínimo por contração (RMc), do resíduo mínimo por eliminação do material orgânico (RM) e da espessura residual por contração (1) e por eliminação do material orgânico (2) da camada orgânica ao longo da transeção.

Perfil	RMc	RM	1	2
No.	%	cm/cm	cm	
1	87	0,41	9	4
2	89	0,38	22	10
3	45	0,12	25	7
4	34	0,10	36	11
5	26	0,08	31	10
6		0,28		8
7		0,23		7
8		0,21		5
9		0,15		5
10		0,14		4
11	74	0,23	26	8
12	74	0,23	30	9
13	73	0,25	37	13
14	58	0,18	29	9
21	27	0,07	36	10
PM	25	0,05	55	11

PM = perfil modelo

contração pode reduzir a espessura da camada orgânica para 36cm, o que o excluiria da classe dos Solos Orgânicos por insuficiência de espessura, o mesmo ocorrendo com os demais perfis.

No entanto, como o RMc estima a contração máxima por secagem, estas espessuras residuais provavelmente não são atingidas em condições de campo, onde a secagem é menos intensa. Como referência de contração máxima possível no campo pode-se tomar o valor médio de 50%, pois a Dmo relativamente constante de 0,17 g/cm3 encontrada nos primeiros 40cm dos perfis representativos de Solos Orgânicos (vide item 4.6.) indica duplicação do valor desta característica em relação ao valor de Dmo relativamente constante observado nas camadas não drenadas (vide item 4.3.1.). Com base nisto, percebe-se que o requisito de espessura mínima de 60cm estabelecido pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA/SNLCS, 1988) para Solos Orgânicos com densidade menor que 0,10 g/cm3 e proposto por KÄMPF & SCHNEIDER (1989) para Solos Orgânicos não drenados não é adequado para o solo em estudo, pois a contração pela drenagem reduziria esta espessura para 30cm. Os resultados obtidos neste estudo indicam, portanto, que o requisito de uma espessura mínima de 60cm é mais adequada para classificar um solo não drenado ou com Ds menor que 0,10 g/cm3 como Solo Orgânico, cumprido o requisito de teor mínimo de carbono.

A subsidência máxima possível, segundo LYNN et al.

(1974), é estimada pelo resíduo mínimo (RM). A massa de partículas minerais presente na camada orgânica do perfil modelo do solo em estudo representa baixo volume de partículas minerais e estima um RM de 0,05 cm/cm, considerando-se uma Ds residual de 1,20 g/cm3. Isto significa que desta camada, atualmente com espessura total de 220cm, restarão apenas 11cm após total eliminação do material orgânico presente.

A tabela 6 mostra também que não existe uma tendência de variar o RM ao longo da transeção, o que ocorre por tratarem-se de solos originados do mesmo material, ou seja, formados sob mesmas condições de paludização (nos quais houve incorporação uniforme de partículas minerais) e tendo, consequentemente, características originais semelhantes. Isto indica que, para solos de um mesmo ambiente de formação, é o resíduo mínimo por contração (RMc) que distingue melhor o potencial de subsidência durante o uso do solo.

5. CONCLUSÕES

1 - Na interpretação das características dos Solos Orgânicos há necessidade de separar-se as amostras provenientes das camadas não drenadas em relação às drenadas, pois as características de ambas diferem significativamente. Nas camadas não drenadas:

a) A densidade de material orgânico é relativamente baixa e constante (0,085 g/cm3), enquanto que a densidade de cinzas é variável e condiciona a umidade do solo e o teor de material orgânico.

b) As variações no teor de material orgânico não refletem variações na concentração de material orgânico em volume de solo; para teores de MO superiores a 50% o volume de partículas minerais presente é muito reduzido (menor que 4% do volume do solo).

c) Grandes variações na umidade gravimétrica não refletem significativas variações no volume de água presente. Existe uma relação significativa entre a umidade gravimétrica, o teor de material orgânico e a densidade de solo. Em função das correlações obtidas pode-se usar uma destas características para estimar as outras; a umidade gravimétrica pode

ser usada para estimar as demais sem necessidade de amostrar o solo em volume conhecido.

d) Em função das correlações obtidas a densidade de solo úmido pode ser usada para estimar a densidade de solo e o teor de material orgânico no campo, utilizando-se apenas uma balança.

2 - A contração física promove significativa subsidência nos solos não drenados, verificando-se que:

a) Durante a secagem a perda inicial de volume de água corresponde a perda de igual volume de solo, o qual permanece consequentemente saturado. A aeração do solo somente ocorre após grandes reduções (superiores a 40%) no seu volume, a partir das quais as perdas de volume de água são relativamente maiores.

b) Através das curvas de contração pode-se estimar a subsidência inicial do solo por contração física e, consequentemente, a profundidade mínima necessária do dreno para obter uma camada drenada com espessura pretendida.

c) Em condições de campo ocorre duplicação da densidade de material orgânico (em relação as camadas não drenadas), o que indica perda da metade da espessura do solo drenado. Disto conclui-se que o requisito de uma espessura mínima de 80cm é adequado para classificar um solo não drenado como Solo Orgânico, cumprindo o requisito de teor mínimo de carbono.

d) O cálculo do resíduo mínimo por contração é afetado significativamente pela densidade de solo atual, podendo ser

estimado pelo teor de material orgânico, pela umidade do solo e pela densidade de solo úmido.

e) O resíduo mínimo por contração diferencia os solos estudados quanto ao seu potencial de subsidência por contração física, o qual diminui com o avanço da subsidência e, consequentemente, com o adelgamento da camada orgânica.

f) A secagem total da camada orgânica pode excluir a maioria dos solos estudados da categoria dos Solos Orgânicos por reduzir a sua espessura a menos de 40cm.

3 - A drenagem provoca contração física do solo e subsidência, acomodando as partículas orgânicas a uma densidade média relativamente alta e constante. A continuidade da subsidência relaciona-se a perdas de material orgânico e as partículas minerais gradativamente se acumulam nas camadas superficiais drenadas, ocorrendo gradativo aumento na densidade de solo e diminuição no teor de material orgânico. Verifica-se que:

a) Na camada superficial de 40cm ocorre uma densidade de material orgânico de 0,17 g/cm3 e, em analogia ao que ocorre nas camadas não drenadas, as variações no teor de material orgânico e na densidade de solo são condicionadas por variações na densidade de cinzas. A densidade de cinzas para determinado grau de subsidência pode ser estimada conhecendo-se a densidade de cinzas média das camadas localizadas acima da cota de superfície prevista para o grau de subsidência considerado.

b) Devido a baixa densidade de cinzas no perfil do solo a

subsidência exclui os solos da categoria dos Solos Orgânicos (por tornar a sua espessura inferior a 40cm) quando eles ainda apresentam elevado teor de material orgânico (38%) e baixa densidade de solo (0,45 g/cm3).

c) Na camada superficial de 20cm ocorre uma densidade de material orgânico de 0,22 g/cm3, não havendo diferença, quanto a esta característica, entre Solos Orgânicos e solos Glei Húmicos. Existe uma relação significativa entre a densidade de solo e o teor de material orgânico, podendo-se usar uma destas características para estimar a outra.

subsidência exclui os solos da categoria dos Solos Orgânicos (por tornar a sua espessura inferior a 40cm) quando eles ainda apresentam elevado teor de material orgânico (38%) e baixa densidade de solo (0,45 g/cm3).

c) Na camada superficial de 20cm ocorre uma densidade de material orgânico de 0,22 g/cm3, não havendo diferença, quanto a esta característica, entre Solos Orgânicos e solos Glei Húmicos. Existe uma relação significativa entre a densidade de solo e o teor de material orgânico, podendo-se usar uma destas características para estimar a outra.

6. CITAÇOES BIBLIOGRAFICAS

ANDERSON, D.L. & BEVERLY, R.B. 1985. The effects of drying upon extractable phosphorus, potassium and bulk density of organic and mineral soils of the Everglades. Soil Sci. Soc Am. J., Madison, 49: 362-366.

ANDRIESSE, J. 1984. Uso de Solos Orgânicos em condições tropicais e subtropicais aliado as possibilidades brasileiras. In: Simpósio Nacional de Solos Orgânicos, Curitiba. Anais. Curitiba, ACARPA. pp. 11-33.

BAILEY, H.H. 1950. Peat formation in the Tropics and Subtropics. Soil Sci. Soc. Proc., Madison, 15: 283-284.

BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. 1972. Soil Physics. New York, J. Wiley. 489p.

BELKOVSKIY, V.I. & RESHETNIK, A.P. 1981. Dynamics of CO2 liberation from peat soil under various uses. Soviet Soil Sci. Washington, 13: 56-60.

BLAKE, G.R. 1965. Bulk density. In: BLACK, C.A. et al. eds. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, Part 1, pp. 374-390.

BOELTER, D.H. 1969. Physical properties of peats as related to degree of decomposition. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 33: 606-609.

BOELTER, D.H. & BLAKE, G.R. 1964. Importance of volumetric expression of water contents of Organic Soils. Soil Sci. Soc. Proc., Madison, 28: 176-178.

BRASIL. Ministério da Agricultura / Provárzeas Nacional, Embrater, Seag-Paraná e Acarpa / Emater-Paraná. 1984. Simpósio Nacional de Solos Orgânicos. Anais. Curitiba. 113p.

CAMARGO, M.N.; KLAMT, E.; KAUFFMANN, J.H. Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil. **B. Inf. Soc. Bras. Ci. Solo**, Campinas, 12(1): 11-33, 1987.

CANADA SOIL SURVEY COMMITTEE. 1978. **The Canadian System of Soil Classification**. Can. Dept. Agric. Publ. 1646, Supply and Services Canada, Ottawa, Ontario. 164p.

EMBRAPA, 1979. **Manual de Métodos de Análises de Solo**. Rio de Janeiro, Ed. SNLCS. 247p.

EMBRAPA/SNLCS, 1988. **Critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento**. Normas em uso pelo SNLCS. Rio de Janeiro. 17p.

EVERETT, K.R. 1983. Histosols. In: WILDING, L.P. **Pedogenesis and Soil Taxonomy**. Amsterdam: Elsevier. V.2, pp. 1-53.

FARNHAM, R.S. & FINNEY, H.R. 1965. Classification and properties of Organic Soils. **Adv. in Agronomy**, New York, 17: 115-162.

FINNEY, H.R.; GROSS, E.R.; FARNHAM, R.S. 1974. Limnic materials in peatlands of Minnesota. In: Aandahl, A.R. Ed: **Histosols: Their Characteristics, Classification, and Use**. Soil Science Society of America, Madison, pp. 21-31. (Special Publication, 6).

FORSYTHE, W. 1975. **Física da Suelos: Manual de Laboratório**. San José, IICA. 212p.

GARDNER, W.H. 1965. Water content. In: BLACK, C.A. et al. ed. **Methods of soil analysis**. Madison, American Society of Agronomy, Part 1, pp. 82-127.

GODEFROY, J. 1977. Analysis physiques et quemiques de sols tourbex. **Fruits**, Fort de France (Martinique), 32: 647-664.

IVARSON, K.C. 1977. Changes in decomposition rate, microbial population and carbohydrate content of an acid peat bog after liming and reclamation. **Can. J. Soil Sci.**, Otawa, 57: 129-137.

KAMPF, N. & SCHNEIDER, P. 1989. Caracterização de Solos Orgânicos do Rio Grande do Sul: Propriedades Morfológicas e Físicas como subsídios à classificação. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, 13(2): 227-236.

LEVESQUE, M.P. & DINEL, H. 1977. Fiber content, particle-size distribution and some related properties of four peat materials in Eastern Canada. **Can. J. Soil Sci.**, Otawa, 57: 187-195.

LEVESQUE, M.P.; DINEL, H.; MARCOUX, R. 1980. Evalution des critères de différenciation pour la classification de 92 matériaux tourbeux des Quebec et de L Ontario. **Can. J. Soil Sci.**, Otawa, 60: 479-486.

LEVESQUE, M.P. & MATHUR, S.P. 1984. The effect of using copper for mitigating Histosol subsidence on: 3. The yield and nutrition of minicarrots, carrots, and onions grown in Histosol, mineral sublayers, and their mixtures. **Soil Sci.**, Baltimore, 138: 127-137.

LIONG, T.Y. & SIONG, K.H. 1979. **A Reviev of Lowland Organic Soils of Sarawak.** Research Branch Department of Agriculture Sarawak. Sarawak. 34p. (Technical Paper, 4).

LYNN, W.C.; McKINZIE, W.E.; GROSSMAN, R.B. 1974. Field laboratory tests for characterization of Histosols. In: Aandahl, A.R. et al ed. **Histosols: their characteristics, classification, and Use.** Soil Science Society of America, Madison, pp. 11-20. (Special Publication, 6).

MAC FARLANE, I.C. & WILLIAMS, G.P. 1974. Some engineering aspects of peat soils. In: Aandahl, A.R. et al. ed. **Histosols: their characteristics, classification, and Use.** Soil Science Society of America. Madison, pp. 79-94. (Special Publication, 6).

MAC MILLAN, K.A. 1976. Biological oxidation of a Humic Mesisol under laboratory conditions. **Can. J. Soil Sci.**, Otawa, 56: 51-53.

MATHUR, S.P. & LEVESQUE, M.P. 1977. Subsidence of an Organic Soil in southwestern Quebec. A letter to the Editors. **Can. J. Soil Sci.**, Otawa, 57: 503-504.

MATHUR, S.P. & RAYMENT, A.F. 1977. The influence of trace element fertilization on the decomposition rate and phosphatase activity of a Mesic Fibrisol. **Can. J. Soil Sci.**, Otawa, 57: 397-408.

NICHOLS, D.S. & BOELTER, D.H. 1984. Fiber size distribution, bulk density, and ash content of peats in Minnesota, Wisconsin, and Michigan. **Soil Sci. Soc. of Am. J.**, Madison, 48: 1.320-1.328.

PARENT, L.E.; MILLETTE, J.A.; MEHUYS, G.R. 1982. Subsidence and erosion of Histosols. Soil Sci. Am. Proc., Madison, 46: 404-408.

PONS, L.J. 1960. Soil genesis and classification of reclaimed peat soils in conection with initial soil formations. In: 7th Int. Cong. of Soil Sci., Madison, Wisc. 4: 205-211.

STANEK, W. & SILC, T. 1977. Comparisons of four methods for determination of degree of peat humification (decomposition) with emphasis on the Von Post method. Can. J. Soil Sci., Otawa, 57: 109-117.

SOIL SURVEY STAFF. 1975. HISTOSOLS. In: Soil Taxonomy. U.S. Dept. of Agriculture Handbook 436, Washington, D.C., pp. 211-226.

VAN HEUVELN, B.; JONGERIUS, A.; PONS, L.J. 1960. Soil formation in Organic Soils. In: 7th Int. Cong. of Soil Sci. Madison, Wisc. 4: 195-204.

VAN LIEROP, W. 1981. Laboratory determination of field bulk density for improving fertilizer recommendations of Organic Soils. Can. J. Soil Sci., Otawa, 61: 475-482.

YEVDOKIMOVA, N.V.; MOSTOVYI, M.M.; MALYY, Y.E. 1976. Subsidence and biochemical destruction of peat in the Ukrainian Poles ye. Soviet Soil Sci., Washington, 8: 345-347.

APENDICES

APENDICE 1. Características físicas da transecão.

Apêndice 1.1. Perfil 1

Prof cm	MO	Ug	Uv %	RMc	P	PC	Dsu	Ds	Dez	Dmo g/cm	DsC	DezC	DmoC	Dp	RM cm/cm
0	30	95	54	85	71	65	1.11	0.57	0.40	0.17	0.67	0.47	0.20	1.94	0.33
5	19	77	54	89	66	62	1.25	0.71	0.58	0.13	0.80	0.65	0.15	2.09	0.48
10	11	46	46	100			1.45	0.99	0.88	0.11	0.99	0.88	0.11		0.73
15	7	39	42	100	54	54	1.49	1.07	1.00	0.07	1.07	1.00	0.07	2.35	0.83
20	8	42	44	100	54	54	1.49	1.05	0.97	0.08	1.05	0.97	0.08	2.28	0.81
25	8	41	40	98	57	56	1.36	0.96	0.88	0.08	0.98	0.90	0.08	2.25	0.74
30	6	36	40	98	53	52	1.52	1.12	1.05	0.07	1.14	1.07	0.07	2.40	0.88
35	7	37	38	98	57	56	1.41	1.03	0.96	0.07	1.05	0.98	0.07	2.39	0.80
40	6	34	40	98	49	48	1.57	1.17	1.10	0.07	1.19	1.12	0.07	2.29	0.92
45	6	32	39	95	48	45	1.62	1.23	1.16	0.07	1.29	1.22	0.08	2.37	0.96

Apêndice 1.2. Perfil 2

0	49	106	57	81	68	60	1.10	0.53	0.27	0.26	0.65	0.33	0.32	1.64	0.23
5	41	100	57	89			1.13	0.56	0.33	0.23	0.63	0.37	0.26		0.28
10	36	94	53	89			1.10	0.57	0.36	0.21	0.61	0.41	0.20		0.30
15	21	62	50	93	61	58	1.32	0.82	0.65	0.17	0.88	0.70	0.19	2.11	0.54
20	18	62	51	91			1.32	0.81	0.66	0.15	0.89	0.73	0.16		0.55
25	9	53	50	93	58	55	1.46	0.96	0.87	0.09	1.03	0.94	0.09	2.29	0.73
30	7	45	48	93			1.54	1.06	0.99	0.07	1.14	1.06	0.08		0.82
35	6	47	48	89	56	51	1.50	1.02	0.96	0.06	1.15	1.08	0.07	2.33	0.80
40	6	39	46	93			1.62	1.16	1.09	0.07	1.25	1.17	0.07		0.91
45	5	36	42	93	51	47	1.59	1.17	1.11	0.06	1.26	1.20	0.06	2.39	0.93

APÊNDICE 1. Continuação.

Apêndice 1.3. Perfil 3

Prof	MO	Ug	Uv	Rfc	P	PC	Dsu	Ds	Dcz	Dmo	DsC	DczC	DmoC	Pp	RM
cm			%							g cm					cm cm
0	70	213	57	60	83	71	0.84	0.27	0.08	0.19	0.45	0.14	0.32	1.55	0.07
5	62	177	63	57			0.98	0.35	0.13	0.22	0.61	0.23	0.38		0.11
10	70	213	62	51			0.91	0.29	0.09	0.20	0.57	0.17	0.40		0.07
15	66	260	65	43	84	63	0.90	0.25	0.09	0.17	0.58	0.20	0.38	1.56	0.07
20	55	325	75	43			0.98	0.23	0.10	0.13	0.53	0.24	0.29		0.09
25	52	344	78	38	86	64	1.01	0.23	0.11	0.12	0.61	0.29	0.31	1.69	0.09
30	59	431	82	40			1.01	0.19	0.08	0.11	0.48	0.19	0.28		0.06
35	45	389	84	40	88	70	1.06	0.22	0.12	0.10	0.55	0.30	0.25	1.85	0.10
40	39	386	83	30			1.05	0.22	0.13	0.09	0.73	0.45	0.29		0.11
45	32	289	84	39	86	63	1.13	0.29	0.20	0.09	0.74	0.51	0.24	2.03	0.16
50	17	153	77	59	77	62	1.27	0.50	0.42	0.09	0.85	0.70	0.14	2.22	0.35
55	11	102	71	79	69	61	1.41	0.70	0.62	0.08	0.89	0.79	0.10	2.27	0.52
60	10	91	67	74	67	56	1.41	0.74	0.67	0.07	1.00	0.90	0.10	2.27	0.56
65	10	75	63	79	62	52	1.47	0.84	0.76	0.08	1.06	0.96	0.11	2.23	0.63
70	9	61	58	83			1.52	0.94	0.86	0.08	1.13	1.03	0.10		0.71
75	8	55	57	86	56	49	1.60	1.03	0.95	0.08	1.20	1.10	0.10	2.36	0.79
80	6	51	55	88	54	48	1.64	1.09	1.02	0.07	1.24	1.16	0.07	2.37	0.85
85	7	52	56	84			1.62	1.06	0.99	0.07	1.26	1.17	0.09		0.82
90	5	47	52	86	52	44	1.63	1.11	1.05	0.06	1.29	1.23	0.06	2.29	0.88
95	7	47	53	84			1.65	1.12	1.04	0.08	1.33	1.24	0.09		0.87
100	7	46	53	88			1.70	1.17	1.09	0.08	1.33	1.24	0.09		0.91
105	7	45	53	88	49	42	1.73	1.20	1.12	0.08	1.36	1.27	0.10	2.36	0.93
110	6	45	52	84	51	41	1.69	1.17	1.10	0.07	1.39	1.31	0.08	2.38	0.92
115	6	47	52	81	53	42	1.63	1.11	1.04	0.07	1.37	1.29	0.08	2.37	0.87
120	6	49	51	79	56	44	1.56	1.05	0.99	0.06	1.33	1.25	0.08	2.39	0.82
125	7	53	52	76			1.51	0.99	0.92	0.07	1.30	1.21	0.09		0.77

APENDICE 1. Continuacão.

Apêndice 1.4. Perfil 4

Prof	MO	Ug	Uv	RMc	P	PC	Dsu	Ds	Dcz	Dmo	DsC	DczC	DmoC	Dp	RM	
cm			%							g. cm					cm	cm
0	61	160	55	60			0.90	0.35	0.14	0.21	0.58	0.23	0.36		0.11	
5	52	178	64	61			1.00	0.36	0.17	0.19	0.59	0.28	0.31		0.14	
10	71	327	75	40			0.98	0.23	0.07	0.16	0.58	0.17	0.41		0.06	
15	77	496	77	28			0.92	0.15	0.03	0.12	0.54	0.12	0.41		0.03	
20	78	562	76	30			0.89	0.13	0.03	0.10	0.43	0.10	0.34		0.02	
25	77	659	79	28			0.91	0.12	0.03	0.09	0.43	0.10	0.33		0.02	
30	69	647	88	22			1.02	0.14	0.04	0.10	0.64	0.20	0.44		0.04	
35	67	660	86	25			0.99	0.13	0.04	0.09	0.52	0.17	0.35		0.04	
40	73	757	89	26			1.01	0.12	0.03	0.09	0.46	0.12	0.34		0.03	
45	64	583	87	24			1.02	0.15	0.05	0.10	0.63	0.23	0.40		0.05	
50	64	616	91	23			1.06	0.15	0.05	0.10	0.65	0.23	0.42		0.05	
55	69	778	89	23			1.00	0.11	0.03	0.08	0.48	0.15	0.33		0.03	
60	67	768	90	25			1.02	0.12	0.04	0.08	0.48	0.16	0.32		0.03	
65	58	618	92	25			1.07	0.15	0.06	0.09	0.60	0.25	0.35		0.05	
70	57	583	89	24			1.04	0.15	0.06	0.09	0.63	0.27	0.36		0.05	
75	53	526	89	27			1.06	0.17	0.08	0.09	0.63	0.30	0.33		0.07	
80	39	386	87	27			1.09	0.22	0.13	0.09	0.81	0.50	0.32		0.11	
85	39	272	85	38			1.16	0.31	0.19	0.12	0.82	0.50	0.32		0.16	
90	23	197	81	45			1.22	0.41	0.32	0.09	0.91	0.70	0.21		0.26	
95	19	154	77	54			1.27	0.50	0.41	0.09	0.93	0.75	0.18		0.34	
100	15	124	75	64			1.36	0.61	0.52	0.09	0.95	0.81	0.14		0.43	
105	12	94	70	70			1.45	0.75	0.66	0.09	1.07	0.94	0.13		0.55	
110	14	100	70	60			1.41	0.71	0.61	0.10	1.18	1.02	0.17		0.51	
115	12	100	69	66			1.39	0.70	0.62	0.08	1.06	0.93	0.13		0.51	
120	11	82	65	72			1.45	0.80	0.71	0.09	1.11	0.99	0.12		0.59	
125	10	78	62	71			1.41	0.79	0.71	0.08	1.11	1.00	0.11		0.59	

APÊNDICE 1. Continuação.

Apêndice 1.5. Perfil 5

Prof	MO	Ug	Uv	RMc	P	PC	Dsu	Ds	Dcz	Dmo	DsC	DczC	DmoC	Dp	RM
cm			%							g/cm					cm/cm
0	59	190	61	57	82	68	0.93	0.32	0.13	0.19	0.56	0.23	0.33	1.75	0.11
5	79	373	79	32	87	59	1.00	0.21	0.04	0.17	0.66	0.14	0.52	1.61	0.04
10	81	524	85	27	90	63	1.01	0.16	0.03	0.13	0.59	0.11	0.48	1.59	0.03
15	78	632	84	26	91	65	0.97	0.13	0.03	0.10	0.50	0.11	0.39	1.44	0.02
20	81	802	84	26	94	76	0.94	0.10	0.02	0.08	0.38	0.07	0.31	1.59	0.02
25	77	844	88	16	94	62	0.98	0.10	0.02	0.08	0.63	0.14	0.48	1.66	0.02
30	79	931	89	15	94	59	0.99	0.10	0.02	0.08	0.67	0.14	0.53	1.64	0.02
35	77	699	84	20	93	63	0.96	0.12	0.03	0.09	0.60	0.14	0.46	1.63	0.02
40	78	757	88	25	93	71	1.00	0.12	0.03	0.09	0.48	0.11	0.37	1.64	0.02
45	76	787	86	23	92	67	0.97	0.11	0.03	0.08	0.48	0.11	0.36	1.46	0.02
50	75	874	86	19	94	68	0.96	0.10	0.03	0.08	0.53	0.13	0.39	1.65	0.02
55	72	781	89	17	93	58	1.00	0.11	0.03	0.08	0.65	0.18	0.47	1.54	0.03
60	56	571	88	23	91	63	1.03	0.15	0.07	0.08	0.65	0.29	0.37	1.74	0.06
65	71	727	86	17	93	57	0.98	0.12	0.03	0.09	0.71	0.20	0.50	1.65	0.03
70	73	810	90	17	93	57	1.01	0.11	0.03	0.08	0.65	0.17	0.47	1.50	0.02
75	74	898	90	15	94	58	1.00	0.10	0.03	0.07	0.67	0.17	0.49	1.60	0.02
80	67	783	91	15	93	53	1.03	0.12	0.04	0.08	0.80	0.26	0.54	1.72	0.03
85	56	644	88	19	92	59	1.02	0.14	0.06	0.08	0.74	0.32	0.41	1.79	0.05
90	55	619	87	21	92	61	1.01	0.14	0.06	0.08	0.67	0.30	0.37	1.71	0.05
95	42	457	89	24	90	59	1.08	0.19	0.11	0.08	0.79	0.46	0.33	1.94	0.09
100	30	282	84	33	86	56	1.14	0.30	0.21	0.09	0.91	0.64	0.27	2.07	0.18
105	28	243	84	38	83	55	1.19	0.35	0.25	0.10	0.92	0.66	0.26	2.06	0.21
110	21	215	87	42	81	56	1.27	0.40	0.32	0.08	0.95	0.75	0.20	2.16	0.26
115	14	133	73	50	76	52	1.28	0.55	0.47	0.08	1.10	0.95	0.15	2.29	0.39
120	13	110	68	53	73	48	1.30	0.62	0.54	0.08	1.17	1.02	0.15	2.27	0.45
125	12	106	68	61	73	55	1.32	0.64	0.56	0.08	1.05	0.92	0.13	2.34	0.47

APENDICE 1. Continuação.

Apêndice 1.6. Perfil 6

Prof	MO	Ug	Uv	RMc	P	PC	Dsu	Ds	Dcz	Dmo	DsC	DczC	DmoC	Pp	RM
cm			%							g/cm					cm/cm
0	59	107	43	81	76	70	0.83	0.40	0.16	0.24	0.49	0.20	0.29	1.64	0.14
5	34	75	46	81	69	61	1.07	0.61	0.40	0.21	0.75	0.50	0.26	1.94	0.34
10	27	75	50	87	66	61	1.16	0.66	0.48	0.18	0.76	0.55	0.20	1.95	0.40
15	42	101	44	77	76	69	0.87	0.43	0.25	0.18	0.56	0.32	0.23	1.82	0.21
20	31	101	37		81		0.74	0.37	0.26	0.11				1.97	0.21
25	20	86	43		76		0.93	0.50	0.40	0.10				2.09	0.33
30	12	59	43		67		1.17	0.74	0.65	0.09				2.26	0.54
35	11	55	49	91	61	57	1.38	0.89	0.79	0.10	0.98	0.87	0.11	2.26	0.66
40	9	54	51	91	59	55	1.45	0.94	0.86	0.08	1.03	0.94	0.09	2.29	0.71
45	9	53	52	91	58	54	1.51	0.99	0.90	0.09	1.09	0.99	0.10	2.35	0.75

Apêndice 1.7. Perfil 7

0	58	86	34	75	76	68	0.74	0.40	0.17	0.23	0.53	0.22	0.31	1.68	0.14
5	56	97	45	72	72	61	0.92	0.47	0.21	0.26	0.65	0.29	0.37	1.69	0.17
10	49	110	50		75		0.96	0.46	0.23	0.23				1.81	0.20
15	40	100	47		75		0.94	0.47	0.28	0.19				1.85	0.24
20	37	99	47		75		0.95	0.48	0.30	0.18				1.95	0.25
25	19	74	44		73		1.03	0.59	0.48	0.11				2.16	0.40
30	8	48	39		65		1.19	0.80	0.74	0.06				2.27	0.61
35	10	53	41		66		1.19	0.78	0.70	0.08				2.31	0.59
40	8	48	46	89	58	53	1.43	0.97	0.89	0.08	1.09	1.00	0.09	2.32	0.74
45	7	45	47	91	56	51	1.51	1.04	0.97	0.07	1.14	1.06	0.08	2.34	0.81

Apêndice 1.8. Perfil 8

0	49	88	39	77	75	67	0.83	0.44	0.22	0.22	0.57	0.29	0.28	1.75	0.19
5	57	106	49		74		0.95	0.46	0.20	0.26				1.75	0.16
10	51	119	55		75		1.01	0.46	0.23	0.23				1.81	0.19
15	49	126	50	71			0.90	0.40	0.20	0.20	0.56	0.29	0.28		0.17
20	29	91	49		74		1.03	0.54	0.38	0.16				2.06	0.32
25	13	60	43	89	67	63	1.15	0.72	0.63	0.09	0.81	0.70	0.11	2.20	0.52
30	11	53	41	91	65	61	1.18	0.77	0.69	0.08	0.85	0.75	0.09	2.17	0.57
35	8	48	45	89	59	54	1.39	0.94	0.86	0.08	1.06	0.97	0.08	2.28	0.72
40	9	53	41	91	67	63	1.18	0.77	0.70	0.07	0.85	0.77	0.08	2.30	0.58
45	6	39	44	91	50	45	1.59	1.15	1.08	0.07	1.26	1.19	0.08	2.30	0.90

APÊNDICE 1. Continuação.

Apêndice 1.9. Perfil 9

Prof	MO	Ug	Uv	RMc	P	PC	Dsu	Ds	Dcz	Dmo	DsC	DczC	DmoC	Dp	RM
cm			%							g·cm					cm·cm
0	58	74	28	74	76	67	0.66	0.38	0.16	0.22	0.51	0.22	0.30	1.58	0.13
5	75	91	32		78		0.67	0.35	0.09	0.26				1.61	0.07
10	69	106	34	67	81	71	0.66	0.32	0.10	0.22	0.48	0.15	0.33	1.66	0.08
15	51	118	44	69	78	69	0.81	0.37	0.18	0.19	0.54	0.26	0.27	1.72	0.15
20	36	99	36		82		0.72	0.36	0.23	0.13				1.97	0.19
25	17	65	37		83		0.74	0.37	0.31	0.06				2.16	0.26
30	12	55	37		69		1.05	0.68	0.60	0.08				2.21	0.50
35	12	51	40	89	64	60	1.19	0.79	0.70	0.09	0.89	0.78	0.11	2.21	0.58
40	8	43	40		60		1.32	0.92	0.85	0.07				2.32	0.71
45	8	43	41	89	60	55	1.36	0.95	0.87	0.08	1.07	0.98	0.09	2.37	0.73

Apêndice 1.10. Perfil 10

0	63	89	30	72	79	71	0.64	0.34	0.13	0.21	0.47	0.17	0.30	1.65	0.10
5	57	94	44		73		0.91	0.47	0.20	0.27				1.75	0.17
10	65	92	36	68	77	66	0.75	0.39	0.14	0.25	0.57	0.20	0.37	1.67	0.11
15	64	149	54		79		0.90	0.36	0.13	0.23				1.73	0.11
20	45	124	52	74	76	68	0.94	0.42	0.23	0.19	0.57	0.31	0.26	1.78	0.19
25	13	65	44		71		1.12	0.68	0.59	0.09				2.31	0.49
30	13	60	41		70		1.09	0.68	0.59	0.09				2.26	0.49
35	10	54	42		65		1.21	0.79	0.71	0.08				2.27	0.59
40	11	59	44		68		1.19	0.75	0.67	0.08				2.34	0.56
45	7	43	45		55		1.51	1.06	0.99	0.07				2.38	0.82

Apêndice 1.11. Perfil 11

0	61	135	55	87	75	71	0.96	0.41	0.16	0.25	0.47	0.18	0.29	1.62	0.13
5	58	123	57	89	72	69	1.03	0.46	0.19	0.27	0.52	0.22	0.30	1.66	0.16
10	60	162	61	76	77	70	1.03	0.39	0.16	0.23	0.51	0.21	0.31	1.70	0.13
15	56	189	68	50	80	60	1.04	0.36	0.16	0.20	0.72	0.32	0.40	1.78	0.13
20	34	165	75	65	70	66	1.20	0.45	0.30	0.15	0.69	0.46	0.24	2.02	0.25
25	21	143	69	72	78	69	1.17	0.48	0.38	0.10	0.67	0.53	0.14	2.17	0.32
30	14	112	66	78	74	66	1.25	0.59	0.51	0.08	0.76	0.65	0.11	2.24	0.42
35	13	118	68	68	74	62	1.26	0.58	0.50	0.08	0.85	0.74	0.11	2.24	0.42
40	12	108	70	72	72	61	1.35	0.65	0.57	0.08	0.90	0.79	0.11	2.29	0.48
45	7	60	59	85	59	52	1.57	0.98	0.91	0.07	1.15	1.07	0.08	2.38	0.76

APÊNDICE 1. Continuação.

Apêndice 1.12. Perfil 12

Prof	MO	Ug	Uv	RMc	P	PC	Dsu	Ds	Dcz	Dmo	DsC	DczC	DmoC	Pp	RM
cm			%							g/cm					cm cm
0	62	139	56	81	76	71	0.96	0.40	0.15	0.25	0.49	0.19	0.31	1.70	0.13
5	58	129	60	81	73	67	1.06	0.46	0.19	0.27	0.57	0.24	0.33	1.72	0.16
10	49	134	57	69	75	64	1.00	0.43	0.22	0.21	0.62	0.32	0.31	1.72	0.18
15	67	191	66	71	79	70	1.01	0.35	0.12	0.23	0.49	0.16	0.33	1.64	0.10
20	58	233	72	69	82	74	1.03	0.31	0.13	0.18	0.45	0.19	0.26	1.74	0.11
25	21	136	70	70	76	66	1.21	0.51	0.40	0.11	0.73	0.58	0.15	2.14	0.34
30	17	118	70	69	73	61	1.29	0.59	0.49	0.10	0.86	0.71	0.15	2.17	0.41
35	14	111	70	72	72	61	1.33	0.63	0.54	0.09	0.88	0.75	0.12	2.23	0.45
40	10	89	67	79	67	58	1.43	0.76	0.68	0.08	0.96	0.87	0.10	2.28	0.57
45	9	84	66	78	66	57	1.44	0.78	0.71	0.07	1.00	0.91	0.09	2.30	0.59

Apêndice 1.13. Perfil 13

0	64	155	58	77	76	68	0.95	0.37	0.13	0.24	0.48	0.17	0.31	1.52	0.11
5	59	134	63	81	70	63	1.10	0.47	0.19	0.28	0.58	0.24	0.34	1.56	0.16
10	55	126	55	79	75	68	0.99	0.44	0.20	0.24	0.56	0.25	0.31	1.75	0.17
15	63	173	61	70	79	70	0.96	0.35	0.13	0.22	0.50	0.19	0.32	1.68	0.11
20	58	194	67	65	78	66	1.02	0.35	0.15	0.20	0.54	0.23	0.31	1.60	0.12
25	39	195	75	57	80	65	1.14	0.39	0.24	0.15	0.68	0.42	0.27	1.96	0.20
30	20	123	70	74			1.27	0.57	0.46	0.11	0.77	0.62	0.15		0.38
35	20	135	74	72	74	64	1.28	0.54	0.43	0.11	0.75	0.60	0.15	2.11	0.36
40	15	109	69	76	72	63	1.32	0.63	0.54	0.09	0.83	0.70	0.12	2.23	0.45
45	17	125	70	76	72	64	1.26	0.56	0.46	0.10	0.74	0.61	0.13	2.03	0.39

Apêndice 1.14. Perfil 14

0	61	195	69	65	77	65	1.05	0.36	0.14	0.22	0.55	0.22	0.34	1.59	0.12
5	55	169	70	58	77	61	1.11	0.41	0.18	0.23	0.71	0.32	0.39	1.80	0.15
10	65	224	76	51	80	61	1.10	0.34	0.12	0.22	0.67	0.23	0.43	1.69	0.10
15	69	367	82	47	87	72	1.04	0.22	0.07	0.15	0.47	0.15	0.32	1.66	0.06
20	58	344	83	46	86	70	1.07	0.24	0.10	0.14	0.52	0.22	0.30	1.75	0.08
25	50	261	81	63	82	71	1.12	0.31	0.16	0.16	0.49	0.25	0.25	1.71	0.13
30	26	176	78	67	78	68	1.22	0.44	0.33	0.11	0.66	0.49	0.17	2.04	0.27
35	26	192	78	59	81	67	1.18	0.40	0.30	0.10	0.68	0.50	0.18	2.07	0.25
40	21	173	78	60	79	65	1.23	0.45	0.36	0.09	0.75	0.59	0.16	2.14	0.30
45	14	140	77	67	75	63	1.32	0.55	0.47	0.08	0.82	0.71	0.11	2.21	0.39

APENDICE 1. Continuação.

Apêndice 1.15. Perfil 15

Prof	MO	Ug	Us	RMc	P	PC	Dsu	Ds	Dcz	Dmo	DsC	DczC	DmoC	Dp	RM	RM
cm			%							g	cm				cm	cm
0	41	139	58	83	77	72	1.00	0.42	0.25	0.17	0.51	0.30	0.21	1.81	0.21	
5	29	112	59	89	72	69	1.12	0.53	0.38	0.15	0.60	0.42	0.17	1.91	0.31	
10	67	200	66	60	80	67	0.99	0.33	0.11	0.22	0.53	0.18	0.35	1.67	0.09	
15	56	138	63	72	75	65	1.08	0.45	0.20	0.25	0.63	0.28	0.35	1.79	0.17	
20	67	381	82	45	87	71	1.04	0.22	0.07	0.15	0.49	0.16	0.33	1.66	0.06	
25	69	455	86	36	88	67	1.05	0.19	0.06	0.13	0.53	0.16	0.36	1.62	0.05	
30	70	579	86	34	91	72	1.01	0.15	0.05	0.11	0.44	0.13	0.31	1.58	0.04	
35	42	337	85	41	87	68	1.10	0.25	0.15	0.11	0.61	0.35	0.26	1.88	0.12	
40	34	261	86	53	83	67	1.19	0.33	0.22	0.11	0.62	0.41	0.21	1.90	0.18	
45	26	223	82	50	82	64	1.19	0.37	0.27	0.10	0.74	0.55	0.19	2.07	0.23	

Apêndice 1.16. Perfil 16

0	62	153	60	79	77	71	0.99	0.39	0.15	0.24	0.49	0.19	0.31	1.68	0.12	
5	50	143	65	85	74	69	1.10	0.45	0.23	0.23	0.53	0.26	0.26	1.73	0.19	
10	67	285	77	65	84	75	1.04	0.27	0.09	0.18	0.42	0.14	0.28	1.66	0.07	
15	79	435	83	50	88	76	1.02	0.19	0.04	0.15	0.38	0.08	0.30	1.56	0.03	
20	72	443	89	44	88	73	1.09	0.20	0.06	0.14	0.45	0.13	0.33	1.67	0.05	
25	69	427	85	42	88	71	1.05	0.20	0.06	0.14	0.48	0.15	0.33	1.64	0.05	
30	63	368	87	46	86	69	1.11	0.24	0.09	0.15	0.52	0.19	0.33	1.70	0.07	
35	56	410	88	31	88	62	1.09	0.21	0.09	0.12	0.68	0.30	0.38	1.77	0.08	
40	34	279	83	38	84	59	1.11	0.30	0.20	0.10	0.79	0.52	0.27	1.91	0.17	
45	29	232	82	59	82	69	1.17	0.35	0.25	0.10	0.59	0.42	0.17	1.94	0.21	

Apêndice 1.17. Perfil 17

0	39	151	69	80			1.15	0.46	0.28	0.18	0.58	0.35	0.22		0.23	
5		182	73	72			1.13	0.40			0.56					
10	34	130	69	89	71	67	1.22	0.53	0.35	0.18	0.60	0.39	0.20	1.80	0.29	
15	62	254	78	65			1.09	0.31	0.12	0.19	0.48	0.18	0.30		0.10	
20	39	205	88	68			1.31	0.43	0.26	0.17	0.63	0.39	0.25		0.22	
25	61	303	75	53			1.00	0.25	0.10	0.15	0.17	0.18	0.29		0.08	
30	54	321	73	50			0.96	0.23	0.11	0.12	0.46	0.21	0.25		0.09	
35	43	276	82	46			1.12	0.30	0.17	0.13	0.65	0.37	0.28		0.14	
40	30	229	80	54			1.15	0.35	0.25	0.11	0.65	0.45	0.19		0.20	
45	38	287	82	41	85	63	1.11	0.29	0.18	0.11	0.71	0.44	0.27	1.89	0.15	
50	38	297	86	36			1.15	0.29	0.18	0.11	0.81	0.50	0.31		0.15	
55	20	174	75	61			1.18	0.43	0.34	0.09	0.70	0.56	0.14		0.29	

APENDICE 1. Continuação.

Apêndice 1.18. Perfil 18

Prof	MO	Ug	Uv	RMc	P	PC	Dsu	Ds	Dcz	Dmo	DsC	DczC	DmoC	Dp	RM
cm			%							g·cm					cm cm
0	49	161	68	70			1.11	0.43	0.22	0.21	0.61	0.31	0.30		0.18
5	55	146	62	80			1.05	0.43	0.19	0.24	0.54	0.24	0.30		0.16
10	53	159	59	74			0.96	0.37	0.17	0.20	0.50	0.24	0.27		0.14
15	68	261	76	51			1.05	0.29	0.09	0.20	0.57	0.18	0.39		0.08
20	63	301	78	49			1.04	0.26	0.10	0.16	0.53	0.20	0.33		0.08
25	51	317	78	48			1.03	0.25	0.12	0.13	0.52	0.26	0.27		0.10
30	52	333	77	37			1.00	0.23	0.11	0.12	0.62	0.30	0.32		0.09
35	49	354	87	34			1.12	0.25	0.13	0.12	0.74	0.38	0.36		0.11
40	43	332	84	33			1.09	0.25	0.14	0.11	0.76	0.43	0.33		0.12
45	39	307	86	43			1.14	0.28	0.17	0.11	0.65	0.40	0.25		0.14

Apêndice 1.19. Perfil 19

0	62	175	72	70			1.13	0.41	0.16	0.25	0.59	0.22	0.36		0.13
5	71	209	73	49	78	55	1.08	0.35	0.10	0.25	0.71	0.21	0.51	1.57	0.08
10	71	257	80	52			1.11	0.31	0.09	0.22	0.60	0.17	0.42		0.07
15	69	282	82	49			1.11	0.29	0.09	0.20	0.59	0.18	0.41		0.07
20	63	298	75	58			1.00	0.25	0.09	0.16	0.43	0.16	0.27		0.08
25	68	394	70	36			0.88	0.18	0.06	0.12	0.50	0.16	0.34		0.05
30	62	437	81	34			0.99	0.18	0.07	0.11	0.53	0.20	0.33		0.06
35	54	393	80	33			1.00	0.20	0.09	0.11	0.61	0.28	0.33		0.08
40		465	83	24			1.01	0.18			0.75				
45		524	89	22			1.06	0.17			0.77				
50		503	91	21			1.09	0.18			0.86				

APENDICE 1. Continuação.

Apêndice 1.20. Perfil 20

Prof	MO	Ug	Uv	RMc	P	PC	Dsu	Ds	Dcz	Dmo	DsC	DczC	DmoC	Dp	RM
cm			%							g.cm					cm cm
0		197	72	67			1.09	0.37			0.55				
5		219	72	50	79	58	1.05	0.33			0.66			1.59	
10	66	271	80	55	81	66	1.10	0.30	0.10	0.20	0.55	0.19	0.36	1.62	0.09
15	70	316	72				0.95	0.23	0.07	0.16					0.06
20	71	477	73				0.88	0.15	0.04	0.11					0.04
25	61	394	82	28	87	53	1.03	0.21	0.08	0.13	0.75	0.29	0.46	1.58	0.07
30	62	428	84	30			1.04	0.20	0.08	0.12	0.67	0.25	0.41		0.06
35	68	566	92	30	90	66	1.08	0.16	0.05	0.11	0.53	0.17	0.36	1.59	0.04
40		662	88	23			1.01	0.13			0.57				
45	59	559	90	29	90	67	1.06	0.16	0.07	0.09	0.55	0.23	0.33	1.68	0.05
50		505	90	22			1.08	0.18			0.82				
55	42	304	81	37			1.08	0.27	0.16	0.11	0.73	0.42	0.31		0.13
60	41	319	86	29			1.11	0.25	0.14	0.11	0.86	0.48	0.38		0.13
65	33	298	78	31	87	57	1.04	0.26	0.17	0.09	0.84	0.56	0.28	1.93	0.15
70	18	187	74	49			1.14	0.40	0.33	0.07	0.82	0.67	0.15		0.27
75	17	158	74	49			1.21	0.47	0.39	0.08	0.96	0.80	0.16		0.33

APÊNDICE 1. Continuação.

Apêndice 1.21. Perfil 21

Prof cm	MO	Ug	Uv %	RMc	P	PC	Dsu	Ds	Dcz	Dmo g cm	DsC	DczC	DmoC	Dp	RM cm	cm
0	42	148	62	75			1.04	0.42	0.24	0.18	0.56	0.32	0.24		0.20	
5	51	183	52	54			0.80	0.28	0.14	0.14	0.52	0.25	0.26		0.11	
10	84	387	73	41			0.92	0.19	0.03	0.16	0.46	0.07	0.39		0.03	
15	91	509	73	48			0.87	0.14	0.01	0.13	0.29	0.03	0.27		0.01	
20	83	770	74	17			0.84	0.10	0.02	0.08	0.59	0.10	0.49		0.01	
25	83	784	88	23			0.99	0.11	0.02	0.09	0.48	0.08	0.40		0.02	
30	80	716	89	18			1.01	0.12	0.02	0.10	0.67	0.13	0.53		0.02	
35		728	90	17			1.02	0.12			0.71					
40		817	92	20			1.03	0.11			0.55					
45		821	94	23			1.05	0.11			0.48					
50		792	88	18			0.99	0.11			0.61					
55	73	678	93	18			1.07	0.14	0.04	0.10	0.78	0.21	0.57		0.03	
60	72	882	93	14			1.05	0.12	0.03	0.09	0.86	0.24	0.62		0.03	
65	66	801	91	12			1.02	0.11	0.04	0.07	0.92	0.31	0.61		0.03	
70		662	88	14			1.01	0.13			0.93					
75		644	88	15			1.02	0.14			0.93					
80		709	92	16			1.05	0.13			0.81					
85	73	955	90	20			0.99	0.09	0.02	0.07	0.45	0.12	0.33		0.02	
90	74	874	92	21			1.03	0.11	0.03	0.08	0.52	0.14	0.39		0.02	
95	73	806	96	17			1.08	0.12	0.03	0.09	0.71	0.19	0.52		0.03	
100	59	597	92	17			1.07	0.15	0.06	0.09	0.88	0.36	0.52		0.05	
105	62	600	85	16			0.99	0.14	0.05	0.09	0.88	0.33	0.54		0.04	
110	44	491	89	21			1.07	0.18	0.10	0.08	0.86	0.48	0.38		0.08	
115	33	339	89	33			1.15	0.26	0.17	0.09	0.79	0.53	0.26		0.15	
125	26	221	81	41			1.18	0.37	0.27	0.10	0.90	0.67	0.23		0.23	
135	10	93	67	69			1.39	0.72	0.65	0.07	1.04	0.94	0.10		0.54	

APENDICE 1. Continuação.

Apendice 1.22. Perfil 22

Prof	Ho	Ug	Us	Ele	P	PC	Dsu	Ds	Dez	Dmo	Dsc	Dc20	Dmoc	Dp	RM	
cm			%							g cm⁻³					cm	cm
0	65	197	63	59			0.95	0.32	0.11	0.21	0.51	0.19	0.35		0.09	
5	69	236	68	56	82	67	0.97	0.29	0.09	0.20	0.52	0.16	0.36	1.58	0.07	
10	80	427	79	41			0.97	0.18	0.04	0.14	0.41	0.09	0.35		0.03	
15	87	764	84	29			0.95	0.11	0.01	0.10	0.38	0.05	0.33		0.01	
20	89	984	92	18	93	63	1.01	0.09	0.01	0.08	0.50	0.06	0.45	1.35	0.01	
25	89	889	91	23	93	68	1.01	0.10	0.01	0.09	0.43	0.05	0.39	1.37	0.01	
30	89	845	91	23	92	64	1.02	0.11	0.01	0.10	0.48	0.05	0.43	1.34	0.01	
35	88	914	90	24	93	70	1.00	0.10	0.01	0.09	0.42	0.05	0.37	1.39	0.01	
40	85	835	84	29	93	75	0.94	0.10	0.02	0.09	0.34	0.05	0.29	1.40	0.01	
45		821	70	36			0.79	0.09			0.25					
50	89	686	74	44	92	82	0.85	0.11	0.01	0.10	0.25	0.03	0.22	1.39	0.01	
55	87	972	78	21	94	73	0.86	0.08	0.01	0.07	0.38	0.05	0.33	1.42	0.01	
60	89	966	88	15	94	58	0.97	0.09	0.01	0.08	0.60	0.07	0.53	1.44	0.01	
65		979	86	27			0.95	0.09			0.33					
70	92	1033	93	25			1.02	0.09	0.01	0.08	0.36	0.03	0.33		0.01	
75		1008	95	26			1.04	0.09			0.35					
80		805	86	37			0.97	0.11			0.30					
85	91	1033	90	25			0.99	0.09	0.01	0.08	0.36	0.03	0.33		0.01	
90	89	1066	91	22			1.00	0.09	0.01	0.08	0.41	0.05	0.36		0.01	
95	90	1024	94	20	94	68	1.03	0.09	0.01	0.08	0.45	0.05	0.41	1.40	0.01	
100	90	1083	88	16	94	65	0.96	0.08	0.01	0.07	0.50	0.05	0.45	1.41	0.01	
105	84	878	92	23	92	65	1.03	0.11	0.02	0.09	0.48	0.08	0.40	1.36	0.01	
110	81	821	92	19	92	57	1.03	0.11	0.02	0.09	0.58	0.11	0.47	1.36	0.02	

APENDICE 1. Continuação.

Apêndice 1.23. Perfil modelo

Prof	MO	Ug	Uv	RMc	P	PC	Dsu	Ds	Dcz	Dmo	DsC	DczC	DmoC	Dp	RM
cm			%							g/cm					cm/cm
0	65	197	63	59			0.95	0.32	0.11	0.21	0.54	0.19	0.35		0.09
5	69	236	68	56	82	67	0.97	0.29	0.09	0.20	0.52	0.16	0.36	1.58	0.07
10	80	427	79	41			0.97	0.18	0.04	0.14	0.44	0.09	0.35		0.03
15	87	764	84	29			0.95	0.11	0.01	0.10	0.38	0.05	0.33		0.01
20	89	984	92	18	93	63	1.01	0.09	0.01	0.08	0.50	0.06	0.45	1.35	0.01
25	89	889	91	23	93	68	1.01	0.10	0.01	0.09	0.43	0.05	0.39	1.37	0.01
30	89	845	91	23	92	64	1.02	0.11	0.01	0.10	0.48	0.05	0.43	1.34	0.01
35	88	914	90	24	93	70	1.00	0.10	0.01	0.09	0.42	0.05	0.37	1.39	0.01
40	85	835	84	29	93	75	0.94	0.10	0.02	0.09	0.34	0.05	0.29	1.40	0.01
45		821	70	36			0.79	0.09			0.25				
50	89	686	74	44	92	82	0.85	0.11	0.01	0.10	0.25	0.03	0.22	1.39	0.01
55	87	972	78	21	94	73	0.86	0.08	0.01	0.07	0.38	0.05	0.33	1.42	0.01
60	89	966	88	15	94	58	0.97	0.09	0.01	0.08	0.60	0.07	0.53	1.44	0.01
65		979	86	27			0.95	0.09			0.33				
70	92	1033	93	25			1.02	0.09	0.01	0.08	0.36	0.03	0.33		0.01
75		1008	95	26			1.04	0.09			0.35				
80		805	86	37			0.97	0.11			0.30				
85	91	1033	90	25			0.99	0.09	0.01	0.08	0.36	0.03	0.33		0.01
90	89	1066	91	22			1.00	0.09	0.01	0.08	0.41	0.05	0.36		0.01
95	90	1024	94	20	94	68	1.03	0.09	0.01	0.08	0.45	0.05	0.41	1.40	0.01
100	90	1083	88	16	94	65	0.96	0.08	0.01	0.07	0.50	0.05	0.45	1.41	0.01
105	84	878	92	23	92	65	1.03	0.11	0.02	0.09	0.48	0.08	0.40	1.36	0.01
110	81	821	92	19	92	57	1.03	0.11	0.02	0.09	0.58	0.11	0.47	1.36	0.02
115	80	716	89	18			1.01	0.12	0.02	0.10	0.67	0.13	0.53		0.02
120		728	90	17			1.02	0.12			0.71				
125		817	92	20			1.03	0.11			0.55				
130		821	94	23			1.05	0.11			0.48				
135		792	88	18			0.99	0.11			0.61				
140	73	678	93	18			1.07	0.14	0.04	0.10	0.78	0.21	0.57		0.03
145	72	882	93	14			1.05	0.12	0.03	0.09	0.86	0.24	0.62		0.03
150	66	801	91	12			1.02	0.11	0.04	0.07	0.92	0.31	0.61		0.03
155		662	88	14			1.01	0.13			0.93				
160		644	88	15			1.02	0.14			0.93				
165		709	92	16			1.05	0.13			0.81				
170	73	955	90	20			0.99	0.09	0.02	0.07	0.45	0.12	0.33		0.02
175	74	874	92	21			1.03	0.11	0.03	0.08	0.52	0.14	0.39		0.02
180	73	806	96	17			1.08	0.12	0.03	0.09	0.71	0.19	0.52		0.03
185	59	597	92	17			1.07	0.15	0.06	0.09	0.88	0.36	0.52		0.05
190	62	600	85	16			0.99	0.14	0.05	0.09	0.88	0.33	0.51		0.04
195	44	491	89	21			1.07	0.18	0.10	0.08	0.86	0.48	0.38		0.08
200	33	339	89	33			1.15	0.26	0.17	0.09	0.79	0.53	0.26		0.15
210	26	221	81	41			1.18	0.37	0.27	0.10	0.90	0.67	0.23		0.23
220	10	93	67	69			1.39	0.72	0.65	0.07	1.04	0.94	0.10		0.54

APENDICE 2. Alterações no volume de solo (Vs), no volume de água (Va), na umidade volumétrica (Uv), na densidade de solo (Ds), na porosidade total do solo (P) e no grau de saturação com água (GS) durante a contração do solo por secagem.

Apêndice 2.1. Amostra contendo 45% de material orgânico, densidade de solo de 0,23 g/cm3 e densidade de partículas de 1,85 g/cm3, coletada no perfil de número 3 na profundidade de 35cm.

Apêndice 2.1.1. Repetição 1

Vs	Va	Uv	Ds	P	GS
	%		g/cm3	%	
100	84	84	0,24	87	97
61	43	70	0,39	79	89
52	34	65	0,46	75	87
48	28	58	0,50	73	79
41	10	24	0,59	68	35
32	3	9	0,75	59	15
32	0	0	0,75	59	0

Apêndice 2.1.2. Repetição 2

100	85	85	0,21	89	96
61	45	74	0,34	82	90
52	35	67	0,40	78	86
48	29	60	0,44	76	79
38	12	32	0,55	70	46
29	3	10	0,72	61	16
28	0	0	0,75	59	0

Apêndice 2.1.3. Repetição 3

100	85	85	0,23	88	97
59	46	78	0,39	79	99
53	37	70	0,43	77	91
50	30	60	0,46	75	80
43	14	33	0,53	71	46
34	3	9	0,68	63	14
32	0	0	0,72	61	0

Apêndice 2.2. Amostra contendo 70% de material orgânico, densidade de solo de 0,22 g/cm3 e densidade de partículas de 1,59 g/cm3, coletada no perfil de número 20 na profundidade de 15cm.

Apêndice 2.2.1. Repetição 1

Vs	Va	Uv	Ds	P	GS
	%		g/cm3	%	
100	83	83	0,22	86	97
66	48	73	0,33	79	92
56	37	66	0,39	75	88
50	31	62	0,44	72	86
42	15	36	0,52	67	54
30	4	13	0,73	54	24
28	0	0	0,79	50	0

Apêndice 2.2.2. Repetição 2

100	83	83	0,22	86	97
61	47	77	0,36	77	100
52	39	74	0,42	74	100
49	33	67	0,45	72	93
37	16	43	0,59	63	68
30	4	13	0,73	54	24
27	0	0	0,81	49	0

Apêndice 2.2.3. Repetição 3

100	84	84	0,22	86	98
61	47	77	0,36	77	100
53	38	72	0,42	74	97
47	32	68	0,47	70	97
38	13	34	0,58	64	53
30	4	13	0,73	54	24
27	0	0	0,81	49	0

APÊNDICE 3. Cálculos efetuados para obter as equações curvilineares.

Apêndice 3.1. Densidade de solo (Ds) versus teor de material orgânico (%MO)

Dcz = Ds - (0,01%MO x Ds)
Ds = 0,088 + 0,989Dcz

Ds = 0,088 + 0,989 [Ds - (0,01%M x Ds)]

Ds = 8,876 / (%MO + 1,106)

Apêndice 3.2. Umidade gravimétrica (Ug) versus densidade de solo (Ds)

Uv = 93,637 - 36,895Ds
Ug = Uv / Ds

Ug = (93,637 - 36,895Ds) / Ds

Ug = 93,637 / Ds - 36,895

Apêndice 3.3. Densidade de solo úmido (Dsu) versus teor de material orgânico (%MO)

Ds = 8,876 / (%MO + 1,106)
Dsu = 0,936 + 0,631Ds

Dsu = 0,936 + 0,631 [8,876 / (%MO + 1,106)]

Dsu = 0,936 + 5,601 / (%MO + 1,106)

Apêndice 3.4. Resíduo mínimo por contração (RMc) versus umidade gravimétrica (Ug)

$Uv = 93,637 - 36,895Ds \longrightarrow Ds = (Uv - 93,637) / -36,895$
$Ug = 93,637 / Ds - 36,895 \longrightarrow Ds = 93,637 / (Ug + 36,895)$

$(Uv - 93,637) / -36,895 = 93,637 / (Ug + 36,895) \longrightarrow$

$\longrightarrow Uv = 93,649 - 3455,240 / (Ug + 36,895)$

$RMc = 221,26 - 2,23Uv$

$RMc = 221,26 - 2,23 [93,649 - 3455,240 / (Ug + 36,895)]$

$RMc\ 12,41 + 7705,19 / (Ug + 36,895)$

Apêndice 3.5. Resíduo mínimo por contração (RMc) versus teor de material orgânico (%MO)

$RMc = 10,41 + 95,05Ds$
$Ds = 8,876 / (\%MO + 1,106)$

$RMc = 10,41 + 95,05 [8,876 / (\%MO + 1,106)]$

$RMc = 10,41 + 843,65 / (\%MO + 1,106)$