



Ministério da
Ciência e Tecnologia



INPE-5424-PRP/172

COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE SOLOS DO ESTADO DE SÃO PAULO

José Carlos Neves Epiphanyo
Antonio Roberto Formaggio
Márcio de Morisson Valeriano
João Bertoldo de Oliveira

Projeto financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo -
FAPESP

Registro do documento original:
<<http://urlib.net/sid.inpe.br/iris@1912/2005/07.19.23.05>>

INPE
São José dos Campos
1992

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3945-6911/6923

Fax: (012) 3945-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO:

Presidente:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Membros:

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Haroldo Fraga de Campos Velho - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

Dr^a Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Dr. Ralf Gielow - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr. Wilson Yamaguti - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Jefferson Andrade Ancelmo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Simone A. Del-Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Marilúcia Santos Melo Cid - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Viveca Sant´Ana Lemos - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da
Ciência e Tecnologia



INPE-5424-PRP/172

COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE SOLOS DO ESTADO DE SÃO PAULO

José Carlos Neves Epiphanyo
Antonio Roberto Formaggio
Márcio de Morisson Valeriano
João Bertoldo de Oliveira

Projeto financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo -
FAPESP

Registro do documento original:
<<http://urlib.net/sid.inpe.br/iris@1912/2005/07.19.23.05>>

INPE
São José dos Campos
1992

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Epiphanio, J.C.N. et al..
Comportamento espectral de solos do Estado de São
Ep36c Paulo / José Carlos Neves Epiphanio
Antonio Roberto Formaggio
Márcio de Morisson Valeriano
João Bertoldo de Oliveira. – São José dos Campos : INPE, 1992.
132p. ; (INPE-5424-PRP/172)

() – , São José dos Campos, .
: .

1. Reflectância. 2. Agronomia. 3. Solos. 4. Radiometria. I.Título.

CDU 528.711.7:63

Copyright © 1992 do MCT/INPE. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação, ou transmitida sob qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotográfico, reprográfico, de microfilmagem ou outros, sem a permissão escrita da Editora, com exceção de qualquer material fornecido especificamente no propósito de ser entrado e executado num sistema computacional, para o uso exclusivo do leitor da obra.

Copyright © 1992 by MCT/INPE. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, microfilming or otherwise, without written permission from the Publisher, with the exception of any material supplied specifically for the purpose of being entered and executed on a computer system, for exclusive use of the reader of the work.

RESUMO

O conhecimento do comportamento espectral dos solos é fator de importância para que os produtos de sensores remotos possam ser utilizados de maneira mais eficiente. Diante da inexistência de um estudo sistemático do comportamento espectral dos solos de regiões tropicais na faixa espectral de 400 a 2500 nm é que se realizou este trabalho. O objetivo foi fazer um levantamento dos fatores de reflectância bidirecional de 111 amostras de solos selecionadas, agrupadas em 14 classes de solos, num total de 54 perfis. A cada uma destas amostras corresponde um conjunto de dados de análises químicas e físicas. Parte desses perfis encontram-se descritos em memoriais descritivos de levantamentos de solos já publicados. A partir desses dados, foi feita uma discussão sobre suas interrelações. Para as medidas de reflectância bidirecional foi utilizado o espectrorradiômetro IRIS, com capacidade de fazer leituras na região de 400 a 2500 nm do espectro eletromagnético. Ainda com base na curva espectral, foram determinados os atributos da cor de cada amostra (brilho, matiz, saturação, e comprimento de onda dominante). Além das análises das características físico-químicas realizou-se um experimento avaliando a influência da umidade sobre o comportamento espectral de amostras selecionadas. Paralelamente são apresentadas pranchas coloridas onde é possível ter idéia da condição superficial das amostras.

ABSTRACT

SPECTRAL REFLECTANCE OF SOILS FROM SÃO PAULO STATE

Comprehension of the spectral reflectance of soils is required for effective use of remote sensing products. The absence of studies concerned to spectral reflectance of the soils from the tropical region in the 400 to 2500 nm spectral range is the main motivation of this research. The aim is the obtention of the bidirectional reflectance factor of 111 selected soil samples, grouped in 14 soil classes, taken from 54 sites (São Paulo State, Brazil). Each soil sample is associated to a set of physical and chemical analyses data. Part of these sites are characterized in published descriptive reports on soil surveys. The dependence between these and the spectral data were discussed. IRIS spectroradiometer, which can operate in the 400 to 2500 nm region of the electro-magnetic spectrum, was used for the bidirectional reflectance factor measurements. It was also made a colorimetric analysis, which resulted in bright and saturation values, as well as in the dominant wavelength and in the tricromacity coordinates of the soil samples colors. Besides the analyses of the physical and chemical properties, a trial about moisture effects on the reflectance of selected soil samples was conducted. Additionally, colored photographs of samples are presented to allow observation of their superficial conditions.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nossos agradecimentos a algumas entidades.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo financiamento a esta pesquisa científica, e pela compreensão demonstrada quando enfrentamos graves problemas com equipamentos.

Ao Instituto Agrônomo de Campinas, pela cessão das amostras de solos e de análises, muitas das quais ainda não publicadas em relatórios.

Ao Instituto de Atividades Espaciais do Centro Tecnológico da Aeronáutica, pelo apoio e empenho demonstrado quando enfrentamos os problemas de instrumentação.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, que apesar de todas as dificuldades, procura manter bons laboratórios e condições de pesquisa.

Entretanto, as Instituições são constituídas de pessoas, e um reflexo da atuação dessas pessoas. Assim não poderíamos deixar de agradecer, dentre outros, ao pesquisador Pedro Neves da Silva Filho, e ao Sr. Carlos Alberto Steffen.

SUMÁRIO

Resumo.....	ii
Abstract.....	iii
Lista de Figuras e Tabelas.....	vi
1. INTRODUÇÃO.....	7
2. SOLOS DO ESTADO DE SÃO PAULO.....	10
2.1 Situação geográfica.....	10
2.2 Breve fundamentação em Pedologia.....	10
2.3 Os solos do Estado de São Paulo.....	12
3. LEVANTAMENTO DE DADOS RADIOMÉTRICOS.....	15
3.1 Grandezas radiométricas.....	15
3.2 Obtenção de dados radiométricos.....	16
3.3 Análise colorimétrica.....	16
4. COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE SOLOS.....	21
4.1 Natureza das interações energia-matéria.....	21
4.1.1 Absorções de origem eletrônica.....	22
4.1.2 Absorções de origem molecular.....	23
4.2 Parâmetros do solo que influenciam a reflectância.....	25
4.2.1 Cobertura vegetal verde.....	25
4.2.2 Resíduos estranhos ao solo.....	26
4.2.3 Rugosidade e formação de crosta superficial.....	27
4.2.4 Umidade do solo.....	27
4.2.5 Matéria orgânica.....	29
4.2.6 Distribuição do tamanho de partículas.....	31
4.2.7 Óxidos de ferro.....	33
4.2.8 Mineralogia de argila.....	34
4.2.9 Material de origem.....	35
4.2.10 Comportamento espectral de constituintes mineralógicos importantes.....	36
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	42
5.1 O sistema de aquisição.....	42
5.2 As amostras de solo.....	44
5.3 Métodos de aquisição dos dados espectrais.....	46
5.4 Processamento dos dados.....	47
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
6.1 Apresentação.....	49
6.2 Forma geral das curvas.....	104
6.3 Particularidades das curvas.....	105
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	116
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	117
APÊNDICE 1 Certificados de calibração das placas de referência.....	125
APÊNDICE 2 Pranchas 1 e 2 contendo fotografias de 80 das 111 amostras de solos.....	132

LISTA DE FIGURAS

3.1 - Valores de tristímulos do espectro	19
3.2 - Diagrama de cromaticidade	20
4.1 - Curva de reflectância espectral da caulinita.....	36
4.2 - Curva de reflectância espectral da gibbsita	37
4.3 - Curva de reflectância espectral da goetita.....	38
4.4 - Curva de reflectância espectral da hematita	39
4.5 - Curva de reflectância espectral da magnetita	40
4.6 - Curva de reflectância espectral da ilmenita	40
4.7 - Curva de reflectância espectral do quartzo.....	41
5.1 - A configuração do sistema de aquisição.....	43
5.2 - Distribuição espacial das quadrículas geográficas que contêm os solos em estudo....	45
6.1 a 6.55 - Curvas de fatores de reflectância bidirecional espectral das 111 amostras de solos	50
6.56 a 6.61 - Curvas de fatores de reflectância bidirecional espectral para 6 amostras de solos em diferentes teores de umidade.....	112

LISTA DE TABELAS

4.1 - Posição das bandas de absorção atribuídas às transições eletrônicas na Hematita e na Goetita.....	38
6.1 - Definição de características e segmentos das curvas espectrais.....	106

1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é apresentar os resultados de pesquisa científica financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). Esta pesquisa foi realizada visando o estudo do comportamento espectral de solos do Estado de São Paulo, considerando a faixa espectral entre 400 e 2500 nm.

O sensoriamento remoto tem se mostrado um instrumental tecnológico de grande valia para o Brasil. Diversas áreas do conhecimento têm utilizado dados de sensoriamento remoto para as mais variadas aplicações. Vários laboratórios de sensoriamento remoto estão espalhados pelo País, em universidades, institutos de pesquisa e mesmo em empresas. O uso de interpretação visual e de tratamento de imagens constitui o grande esforço desses laboratórios, com a finalidade de extrair o máximo de informações.

Os produtos de sensoriamento remoto mais freqüentemente utilizados são as imagens, quer na forma de papel ou digitalizadas em fitas ou cartuchos magnéticos. Atualmente, tais produtos podem ser oferecidos em bandas que abrangem não só o visível e o infravermelho próximo (0,4 - 1,1 μm), mas também o infravermelho médio e termal (1,1 - 2,5 μm e 8 - 14 μm , respectivamente). Contudo, embora se disponha de dados de satélite na faixa do infravermelho médio, o conhecimento detalhado do comportamento espectral dos alvos nesta faixa espectral é reduzido.

No Brasil, a falta de conhecimento do comportamento espectral dos solos na faixa espectral do infravermelho médio é devida basicamente à ausência de instrumentação apropriada de campo ou de laboratório. Até por volta de 1987 a ausência de espectrorradiômetros no INPE era quase total. Nesses últimos três anos foram adquiridos três instrumentos através de fontes de financiamento variadas. Tais instrumentos têm como característica fundamental o fato de operarem nas faixas do visível e do infravermelho próximo (0,4 - 1,1 μm). Em 1989 o Centro Tecnológico Aeroespacial (CTA/Min. Aeronáutica) adquiriu um espectrorradiômetro REFSPEC II que opera entre 0,45 e 2,45 μm e no início de 1990 chegou ao INPE um outro espectrorradiômetro REFSPEC semelhante. A disponibilidade destes dois instrumentos de alto potencial de resolução espectral motivou a proposição do presente projeto de pesquisa sobre comportamento espectral de solos. Contudo, como foi relatado em Relatório anterior (Junho/91)

enviado à FAPESP, ambos os instrumentos apresentaram problemas operacionais e a execução do projeto só foi possível após a chegada ao INPE de um espectrorradiômetro IRIS, que opera entre 0,30 e 3,00 μm .

Nos próximos anos deverão estar em operação ou sendo previstos para lançamento novos sistemas sensores a bordo de satélites, com resoluções cada vez melhores. Assim, tem-se hoje em operação o SPOT (francês) com resolução espacial de até 10 metros e, a bordo da missão EOS (Earth Observing System), deverá estar o HIRIS (High Resolution Imaging Spectrometer), com resolução espectral de 196 bandas programado para o fim da década. A utilização plena de tal disponibilidade de dados exige um conhecimento espectral cada vez mais detalhado dos alvos. Isso é conseguido com instrumentação e métodos de investigação adequados.

As observações remotas da reflectância dos solos na região do visível e do infravermelho próximo/médio do espectro eletromagnético são importantes em função, principalmente, da ubiquidade da presença do solo sobre a superfície da Terra. Com exceção de áreas cobertas por superfícies de água, gelo, neve ou por materiais artificiais, o solo intercepta grande parte da energia solar incidente na superfície terrestre. Até mesmo uma parte da radiação solar incidente em dosséis vegetais densos penetra até o solo subjacente. Assim, pode-se afirmar que o solo influencia a reflectância de superfícies compostas (vegetação + solo), sendo que esta influência aumenta em locais de vegetação dispersa ou senescente e domina em áreas destituídas de vegetação. Na superfície terrestre, muitos processos climatológicos e biológicos envolvem a absorção e a reflexão de radiação solar pelos solos (Irons et al., 1989).

Os solos das regiões tropicais são muito pouco estudados espectralmente, sendo que o número de curvas espectrais na faixa de 0,4 a 2,5 μm é ínfimo em relação ao número de espectros dos solos das regiões temperadas. Os trabalhos com solos do Brasil restringem-se a poucos autores que trabalharam com instrumentos operando em bandas largas e apenas na região do visível e infravermelho próximo (0,4-1,0 μm) (ex. Formaggio, 1983; Epiphanyo et al., 1987; Formaggio e Epiphanyo, 1988). Até 1991, sobre solos brasileiros, havia menos de uma dezena de curvas espectrais abrangendo toda a região de 0,4 a 2,5 μm publicadas na literatura. O levantamento, catalogação, experimentação e estudo do comportamento espectral dos principais solos brasileiros constitui-se, portanto, em subsídio necessário para as atividades de sensoriamento remoto atuais e vindouras.

O levantamento das curvas espectrais dos solos mais representativos, dispondo também das suas características físico-químicas e mineralógicas, permitirá a verificação e delimitação de feições espectrais intrínsecas próprias de cada classe. Com esse estudo pretende-se dar contribuição ao entendimento mais detalhado dos

fatores próprios dos solos das regiões tropicais altamente intemperizados (p.ex. a presença de óxidos de ferro) e seus efeitos sobre o seu comportamento espectral.

O conhecimento detalhado do comportamento espectral dos solos por meio da espectroscopia, tanto de campo como de laboratório, pode fornecer elementos interessantes e ainda praticamente inexplorados no sentido de vir a tornar-se um elemento informativo a mais nos levantamentos de solos, em acréscimo às cores Munsell atualmente usadas. Isso pode ser afirmado tendo em vista o fato de a reflectância poder vir a constituir um elemento objetivo de medida no conjunto das características descritivas dos solos.

Outro aspecto de importância desse trabalho é o de que, em modelos de reflectância de culturas, amplamente utilizados para avaliações de desenvolvimento e de produtividade, informações de solo são imprescindíveis. Tais informações de comportamento espectral de solo permitem a construção das chamadas "linhas de solos". Com esses elementos, os modelos buscam uma "eliminação" do efeito do substrato (solo), enfatizando as características espectrais das plantas suprajacentes quando observadas em produtos de sensoriamento remoto. Desse modo, é possível o relacionamento mais consistente das características agronômicas das culturas com as suas propriedades espectrais.

Assim sendo, este projeto teve por objetivo o estudo do comportamento espectral dos principais solos do Estado de São Paulo nas faixas espectrais do visível, infravermelho próximo e infravermelho médio (0,4 - 2,5 μm), através de espectroscopia fina.

2. SOLOS DO ESTADO DE SÃO PAULO

2.1 - Situação geográfica

O Estado de São Paulo tem a maior parte do seu território contida no ambiente tropical, o qual compreende aquela parte da superfície terrestre situada entre as latitudes 23,5 graus ao norte e ao sul do Equador, segundo a definição geográfica.

Devido à inclinação do eixo terrestre, esta latitude constitui o limite da migração aparente do Sol ao norte e ao sul do Zênite Equatorial. Portanto, os trópicos constituem a única parte da Terra onde o Sol passa diretamente sobre o Zênite.

Segundo Sanchez (1981), os trópicos compreendem 38% da superfície terrestre (aproximadamente 5 bilhões de hectares e cerca de 45% da população mundial. Cerca de 72 países e territórios situam-se totalmente ou em sua maior parte dentro dos trópicos, incluindo a maioria dos países em desenvolvimento, exceto China, Paquistão, Afeganistão, Irã e Oriente Médio, África do Norte, Argentina, Chile e Uruguai. Isto demonstra a importância dos estudos científicos nessa região.

Dentro deste macro-ambiente, o Estado de São Paulo caracteriza-se por tipologias climáticas (Köppen) variadas, como o clima tropical de altitude (ou seja, sem inverno seco e temperatura do mês mais quente inferior a 22 °C) e o clima tropical com verão chuvoso e inverno seco. Em termos de pedoclimas, ocorrem tipologias como údico hipertérmico, údico isoipertérmico, údico térmico e ústico hipertérmico, entre outros.

2.2 - Breve fundamentação em pedologia

Os principais componentes dos solos são sólidos inorgânicos, matéria orgânica, ar e água.

Os espaços porosos entre as partículas de materiais sólidos são ocupados ou pela água do solo ou pelo ar do solo, em concentrações relativas variantes. A água do solo pode ser descrita como uma solução que contém uma variedade de

compostos. As moléculas de água também podem ser encontradas como componentes estruturais em alguns cristais laminares.

Os componentes inorgânicos da maioria dos solos constituem-se de minerais cristalinos, mas há também uma apreciável quantidade de substâncias não-cristalinas. Em condições de uso comum, o termo "minerais do solo" abrange tanto os materiais inorgânicos cristalinos como os não-cristalinos.

Dentre os principais constituintes mineralógicos dos solos de regiões tropicais estão a caulinita, a gibbsita, o quartzo, a goetita e a hematita. Os óxidos de titânio (anatásio e rutilo), freqüentemente presentes, permanecem sempre em quantidades muito pequenas. Em compensação, a magnetita e a ilmenita encontram-se em quantidades importantes nos solos derivados de rochas básicas.

O material orgânico do solo constitui-se de húmus, raízes, resíduos de plantas e organismos que vivem no solo. De maneira geral, os solos não são somente materiais litológicos inconsolidados, mas contêm produtos minerais e orgânicos de intemperismo em associação com água e ar, em variados graus de consolidação, estrutura e estratificação.

A matéria orgânica constitui-se de resíduos de plantas e animais em decomposição, substâncias derivadas dos produtos de decomposição por microorganismos e pequenos animais que habitam o solo.

Estes materiais são categorizados como substâncias não-húmicas ou como húmus. As substâncias não-húmicas são ainda reconhecíveis em sua estrutura original, sendo facilmente decomponíveis pelos microorganismos e incorporadas rapidamente ao solo. A decomposição deixa compostos resistentes originados das plantas (p.ex., óleos, gorduras, ceras e ligninas) e compostos novos sintetizados por microorganismos e retidos como parte de seu tecido (p.ex., polissacarídeos e poliuronídeos). Estes produtos de decomposição formam uma mistura complexa e resistente de substâncias marrons amorfas e colóides denominadas húmus (Brady, 1984).

O húmus constitui aproximadamente 65-75% da matéria orgânica dos solos minerais, podendo ocorrer como substância individual ou recobrando partículas minerais. Pode também atuar como cimento entre as partículas dos agregados do solo.

Pode-se dizer, então, que as concentrações relativas, os arranjos e as interrelações dos materiais pedológicos são os responsáveis pelas diversas maneiras de reflexão da energia solar pelos diferentes solos.

Como principais fatores influenciadores do comportamento espectral dos solos têm sido considerados: a constituição mineral, a matéria orgânica, a textura e a estrutura, e a umidade.

Quanto ao primeiro fator, os minerais do solo são provenientes do intemperismo das rochas. Estes minerais são classificados como "minerais primários" e "minerais secundários", dependendo da origem. Os minerais primários são incorporados aos solos mediante a desintegração das rochas como resultado do intemperismo mecânico. Os minerais secundários são formados através do intemperismo químico dos minerais primários. Os minerais primários ocorrem predominantemente nas frações areia (0,05 mm) e silte (0,002 a 0,05 mm) e os mais comumente encontrados nos solos são: quartzo, feldspatos e silicatos (laminares e ferromagnesianos) (Buol et al., 1984).

Os minerais secundários encontram-se predominantemente na fração argila (0,002 mm), sendo os mais comuns os minerais de argila alumino-silicatados, os óxidos e os hidróxidos de ferro e alumínio, e num segundo plano, os carbonatos, os sulfatos e os fosfatos (Buol et al., 1984).

2.3 - Os solos do Estado de São Paulo

Segundo Demattê (1978), para classificar os solos do Estado de São Paulo, tomando por base o esquema de Classificação Americana de 1949, ocorreriam os seguintes Grandes Grupos:

I. Na Ordem Zonal:

1. Red-Yellow Podzolic (Podzólico Vermelho-Amarelo)
2. Reddish Brown Lateritic Soils (Laterítico Bruno-Avermelhado)
3. Latosols (Latosolos)

II. Na Ordem Intrazonal e Sub-Ordem Hidromórfica:

1. Humic Gley Soils (Gley Húmico)
2. Bog Soils (Solos Orgânicos)
3. Half-Bog Soils (Solos Meio-Orgânicos)
4. Low-Humic Gley Soils (Gley Pouco-Húmicos)
5. Ground Water Podzol Soils (Podzol Hidromórficos)

III. Na Ordem Azonal:

1. Lithosols (Litossolos)
2. Regosols (Regossolos)
3. Alluvial Soils (Solos Aluviais)

Segundo este sistema de Classificação, como Solos Zonais (aqueles em que existe a predominância de características advindas dos denominados "fatores ativos de formação dos solos", ou seja, o clima e os organismos), os quais ocupam a maior parte da área do Estado (cerca de 90%), ficariam situados somente três Grandes Grupos: os Podzólicos Vermelho-Amarelos, os Latossolos e, provavelmente, uma pequena parte dos Lateríticos Bruno-Avermelhados (que corresponderiam à assim denominada "Terra Roxa Estruturada").

De acordo ainda com Dematte (1978), existem ainda muitos solos zonais diferentes no Estado de São Paulo, porém havia apenas um pequeno número de alternativas possíveis naquele sistema de Classificação em função do pouco conhecimento, naquela época, a respeito dos solos de regiões tropicais, pois a Classificação foi desenvolvida em um país de clima temperado.

Assim, para que a falha do sistema de Classificação fosse contornada, a Comissão Nacional de Solos, visando classificar convenientemente todas as unidades de mapeamento separadas no Levantamento de Reconhecimento que foi realizado no Estado, optou pela denominação de alguns Grandes Grupos com nomes não constantes da Classificação Americana de 1949, porém existentes em descrições de solos de trabalhos posteriores a esta Classificação e a elas referidos. Deste modo, houve casos em que foi necessário o "batismo" de novos Grandes Grupos, já que não havia conhecimentos de descrições anteriores de alguns solos em trabalhos referentes àquela Classificação.

No Estado de São Paulo, como em todo o País, os levantamentos de solos disponíveis são ainda os de baixo e médio nível de detalhamento, como o Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado de São Paulo, realizado pela COMISSÃO DE SOLOS (1960), na escala de 1:500.000.

Na legenda do Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado de São Paulo, segundo o critério adotado pela Comissão Nacional de Solos, os solos de São Paulo foram agrupados em quatro níveis categóricos superiores: (a) Solos com B Textural; (b) Solos com B Latossólico; (c) Solos Hidromórficos e (d) Solos Pouco Desenvolvidos. Estes níveis poderiam corresponder aproximadamente à Sub-Ordem, ainda que, como afirma Demattê (1978), os agrupamentos de Solos com B Textural e de Solos com B Latossólico não se enquadrem rigidamente no sistema de Classificação americana, sendo apenas um artifício usado para poder melhor agrupar na legenda os solos em categorias superiores a Grandes Grupos.

Segundo Oliveira e Menk (1984), o Instituto Agronômico de Campinas (IAC), através da sua Seção de Pedologia, vem executando, desde 1975, o levantamento pedológico do Estado de São Paulo. Assim, ao longo destes trabalhos, sentiu-se a falta de uma taxonomia brasileira de solos adequada para levantamentos semidetalhados, bem como de textos específicos sobre conceituação das classes de solos estabelecidas pelo Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos.

Desta maneira, verifica-se que o próprio sistema brasileiro de Classificação de solos ainda está em constante evolução, em função do surgimento de novas concepções e de novas unidades após as execuções de novos levantamentos.

Até o presente momento, dentro do programa de mapeamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo, em realização pelo Instituto Agronômico, já foram realizadas as seguintes quadrículas: Campinas, Araras, São Carlos, Brotas, Descalvado, Jaú, Ribeirão Preto, Piracicaba e Região do Rio Ribeira do Iguape.

Assim, de acordo com estes levantamentos já realizados, os principais solos do Estado são os seguintes: Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho-Escuro, Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Amarelo, Latossolo Variação Una, Podzólico Vermelho-Amarelo, Podzólico Vermelho-Escuro, Podzol, Terra Roxa Estruturada, Areias Quartzosas Profundas, Solos Litólicos, Solos Hidromórficos/Gleizados, Cambissolos, Brunizem Avermelhado, Petroplintossolo, Planossolo, Solos Orgânicos, Solos Aluviais e Solos Indiscriminados de Mangue.

Pode-se considerar que estes levantamentos já realizados cobrem uma percentagem bastante significativa da superfície do Estado e contêm praticamente todos os seus principais tipos de solos.

Assim, neste trabalho de pesquisa foram utilizados os seguintes solos: Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho-Escuro, Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Variação Una, Latossolo Húmico, Podzólico Vermelho-Amarelo, Podzólico Vermelho-Escuro, Podzólico Roxo, Podzol, Terra Roxa Estruturada, Brunizem Avermelhado, Areia Quartzosa, Cambissolos e Solos Hidromórficos. No decorrer deste Relatório, na parte em que são apresentadas as curvas espectrais de cada uma das 111 amostras de solos utilizadas, apresentam-se as fontes bibliográficas onde podem ser obtidos maiores detalhes acerca de cada um dos 54 perfis do estudo.

3. LEVANTAMENTO DE DADOS RADIOMÉTRICOS

3.1 - Grandezas radiométricas

Em estudos do comportamento espectral de alvos há a necessidade de se definirem com clareza as grandezas radiométricas com as quais se está trabalhando.

As observações da reflectância espectral da energia eletromagnética pelos solos têm sido quantificadas através da razão entre o fluxo radiante espectral refletido por uma superfície de solo e o fluxo radiante espectral refletido por um material de referência iluminado e visado sob as mesmas condições que a superfície de solo. O material de referência pode ser considerado como uma superfície quase perfeitamente difusora (ou seja, lambertiana), então aquela razão é definida como "fator de reflectância bidirecional espectral" (Nicodemus et al., 1977).

Desta forma, para fins de comparação de dados provenientes de origens diversas, é sempre conveniente a utilização do fator de reflectância bidirecional, que é o parâmetro radiométrico mais conhecido e empregado em estudos de comportamento espectral de alvos. Este parâmetro está descrito matematicamente em Nicodemus et al. (1977).

Em vários trabalhos tem sido utilizado o fator de reflectância espectral de amostras de solos em condições de laboratório e de superfícies pedológicas em condições de campo (Beck et al, 1976; Bowers e Hanks, 1965; Mathews et al., 1973; Montgomery e Baumgardner, 1974), tendo-se utilizado a reflectância bidirecional.

3.2 - Obtenção de dados radiométricos

Para se ter um fator de reflectância absoluto, é necessário calibrar os dados em relação a uma referência absoluta. Na prática é possível (e de uso corrente) o uso de uma série de inter-referenciações devido à impossibilidade de trabalhar diretamente com padrões absolutos. No caso deste trabalho, os padrões mais rigorosamente referenciados disponíveis foram placas de reflectâncias iguais a 50% e a 100%, desenvolvidas especialmente para servirem de referência, tendo suas reflectâncias determinadas em relação a um padrão de alto nível, sob controle rigoroso do laboratório do fabricante.

Para este trabalho o padrão utilizado pelo fabricante será considerado a referência absoluta. Dessa maneira, ao comparar a radiância do alvo com a da placa 50% (o exemplo real), pode-se calcular a reflectância deste alvo em relação ao padrão absoluto, simplesmente, através da reflectância da placa. Em termos práticos, mediram-se os fatores de reflectância das amostras relativos à placa 50% (FRR, ou fator de reflectância da referência) e estes foram multiplicados pela reflectância absoluta (FCA, ou fator de calibração absoluta) desta placa. O resultado corresponde ao fator de reflectância bidirecional absoluto das amostras (FRBD).

Além da calibração absoluta, deve-se proceder a intercalibração entre os sistemas de iluminação/detecção relativos ao alvo e à referência. Por características de configuração dos sistemas de medição (da referência e do alvo), efeitos de vizinhança ou diferenças entre os detectores, a leitura de um dos sistemas pode ser diferente daquela do outro sistema sobre o mesmo alvo. Se os sistemas fossem idênticos, a divisão entre duas leituras sobre um mesmo alvo qualquer deveria resultar em uma unidade.

Como isso é praticamente impossível, torna-se rotineiro o uso de um fator de intercalibração (FIC), assim calculado, quando as medidas são feitas com mais de um sistema (que é o caso deste trabalho). Em termos práticos, efetuaram-se medidas de reflectância da placa 100% em relação a ela própria, ou seja, cada um dos sistemas mediu um mesmo alvo sob as mesmas condições experimentais. Através da razão destas duas medições obteve-se o Fator de Intercalibração (FIC), pelo qual todos os fatores de reflectância posteriormente determinados foram divididos.

É necessário ressaltar que a calibração absoluta e a intercalibração contêm, implicitamente, o caráter espectral.

O termo "reflectância bidirecional" é freqüentemente utilizado para se referir ao "fator de reflectância bidirecional" medido sobre alvos a partir de ângulos de visada a nadir ou "off nadir". O caráter bidirecional está associado às direções de observação e de iluminação.

3.3 - Análise colorimétrica

O objetivo da análise de colorimetria é uma caracterização da cor de maneira exata, conforme seria vista por um observador padrão. O resultado é a caracterização da cor em termos de atributos quantitativos. Os atributos das cores são 5:

- Valor de brilho: classificação da cor entre o negro (0%) e o branco (100%), sem considerar o tipo de cor. Denota a sensação de claro/escuro exibida pela cor.

- Coordenadas de cromaticidade (x e y): especificação do matiz (tipo) de uma cor. Vermelho, verde, azul e amarelo são nomes comuns por que são referidas às sensações causadas por diferenças de matiz.

- Valor de saturação: especifica a pureza da cor, isto é, a proporção de matiz pura para a cor resultante (matiz + cinza). As chamadas cores "fortes" têm alta saturação, enquanto o negro, o cinza e o branco têm saturação nula.

- Comprimento de onda dominante: é um atributo ligado ao matiz da cor, que indica o comprimento de onda cujo matiz mais se aproxima.

Para possibilitar a quantificação dos atributos físicos das cores, várias normas e padrões vêm sendo formalizados pelo Comitê Internacional de Colorimetria (CIE), desde o ano de 1931. A especificação proposta pela CIE é reconhecida mundialmente e adotada no meio científico em trabalhos que requerem determinação precisa das cores.

Para simular a percepção visual das cores por um "olho humano jovem" padronizado, a CIE estabeleceu três estímulos imaginários básicos. Estes podem ser combinados de modo a se gerarem todas as cores puras de um espectro de energia constante. A contribuição relativa de cada um dos três estímulos em determinado comprimento de onda é denominada o valor de tristímulus. Os valores de tristímulus, denotados $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ e $\bar{z}(\lambda)$, têm, desse modo, caráter espectral. Suas distribuições estão representadas no gráfico da Figura 3.1.

Supondo que sejam $E_c(\lambda)$ a distribuição espectral da iluminação sobre o objeto observado, $\rho(\lambda)$ a reflectância espectral deste objeto, os valores de tristímulus serão:

$$X_0 = \int_{400}^{700} \bar{x}(\lambda) E_c(\lambda) \rho(\lambda) d\lambda, \quad (\text{eq.1})$$

$$Y_0 = \int_{400}^{700} \bar{y}(\lambda) E_c(\lambda) \rho(\lambda) d\lambda, \quad (\text{eq.2})$$

$$Z_0 = \int_{400}^{700} \bar{z}(\lambda) E_c(\lambda) \rho(\lambda) d\lambda, \quad (\text{eq.3})$$

As integrações das equações 1 a 3 visam determinar a área sob a curva produto das três distribuições espectrais contidas na integral. Na prática, o produto $E_c(\lambda)\rho(\lambda)$ é o dado medido diretamente pelo espectrorradiômetro.

As coordenadas de cromaticidade (x, y e z) são obtidas normalizando-se os valores de tristímulus em relação ao total dos três. Desse modo:

$$x = \frac{X_0}{X_0 + Y_0 + Z_0} \quad \text{eq.4}$$

$$y = \frac{Y_0}{X_0 + Y_0 + Z_0} \quad \text{eq.5}$$

$$z = \frac{Z_0}{X_0 + Y_0 + Z_0} \quad \text{eq.6}$$

Uma vez que $x + y + z = 1$, duas coordenadas de cromaticidade já bastam para caracterizar a cor.

O diagrama de cromaticidade representa a distribuição das cores em duas dimensões, equivalentes a x e a y . A curva em forma de ferradura é obtida plotando-se os valores de tristímulus respectivos a cada comprimento de onda de um espectro de energia constante, apresentados na Figura 3.1. Esta curva é o *locus* das cores espectrais saturadas e a reta unindo suas extremidades, o das cores não espectrais-saturadas. Na Figura 3.2 é apresentado o diagrama de cromaticidade.

O centro C representa as coordenadas de cromaticidade da Fonte Padrão de Iluminação do CIE (fonte C), calculadas pelas eq. (1 a 3) e (4 a 6) assumindo-se $\rho(\lambda)$ constante e igual a 1 (100%). Para estudos feitos sob condições normais de iluminação, como é o caso do sensoriamento remoto, adotam-se as especificações da fonte C nas análises colorimétricas. No diagrama de cromaticidade, o centro C é o da cor sem saturação (branca, no caso, podendo ser cinza até negra). A região circunvizinha é o local das cores de baixa saturação (contendo preponderantemente luz branca).

A saturação das cores se distribui linearmente das bordas do diagrama até o centro C . Assim, a saturação é facilmente calculada pela proporção entre as distâncias da borda (saturação = 100%) até o ponto (x,y) e até o ponto C (saturação = 0%), numa semi-reta que parte de C passando por (x,y) .

O comprimento de onda dominante desta cor (x,y) é exatamente aquele correspondente à interseção desta semi-reta com a borda do diagrama.

Para a determinação do brilho da cor deve-se considerar a função espectral de percepção fotópica ($V(\lambda)$), que representa a eficiência relativa da visão humana por um olho "normal jovem" (segundo o CIE) para objetos em condições não-limitantes de iluminação. Esta função se apresenta com forma de sino, com ponto de máximo localizado em 555 nm. Sua configuração é exatamente a mesma exibida pela curva de tristímulus $y(\lambda)$, apresentada na Figura 3.1.

O brilho ($b\%$) da cor em questão é determinado, portanto, através da seguinte equação:

$$b\% = \int_{400}^{700} \rho(\lambda) V(\lambda) d\lambda \quad \text{eq.7}$$

O valor de brilho ($b\%$) e as demais variáveis descritas acima (as coordenadas x e y , o valor de saturação e o comprimento de onda dominante) compõem os atributos das cores que serão abordadas neste trabalho.

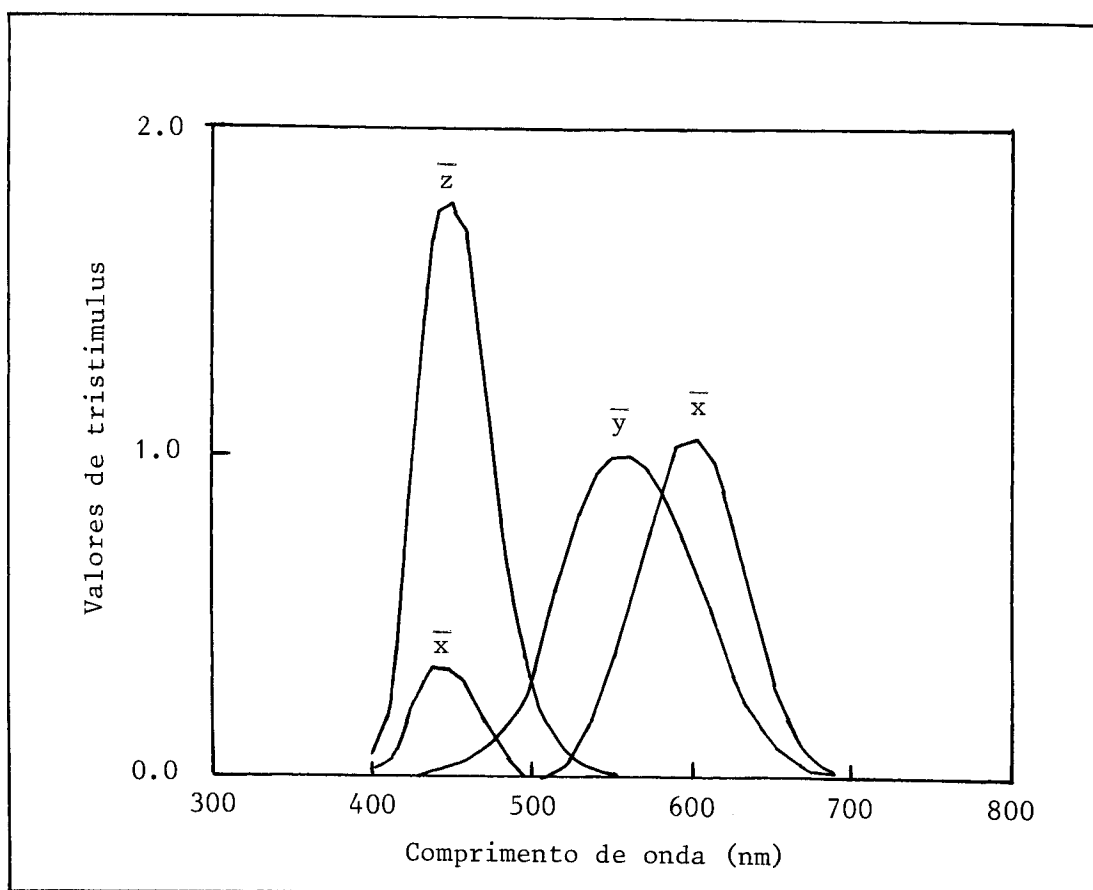


Figura 3.1 - Valores de tristimulus do espectro.

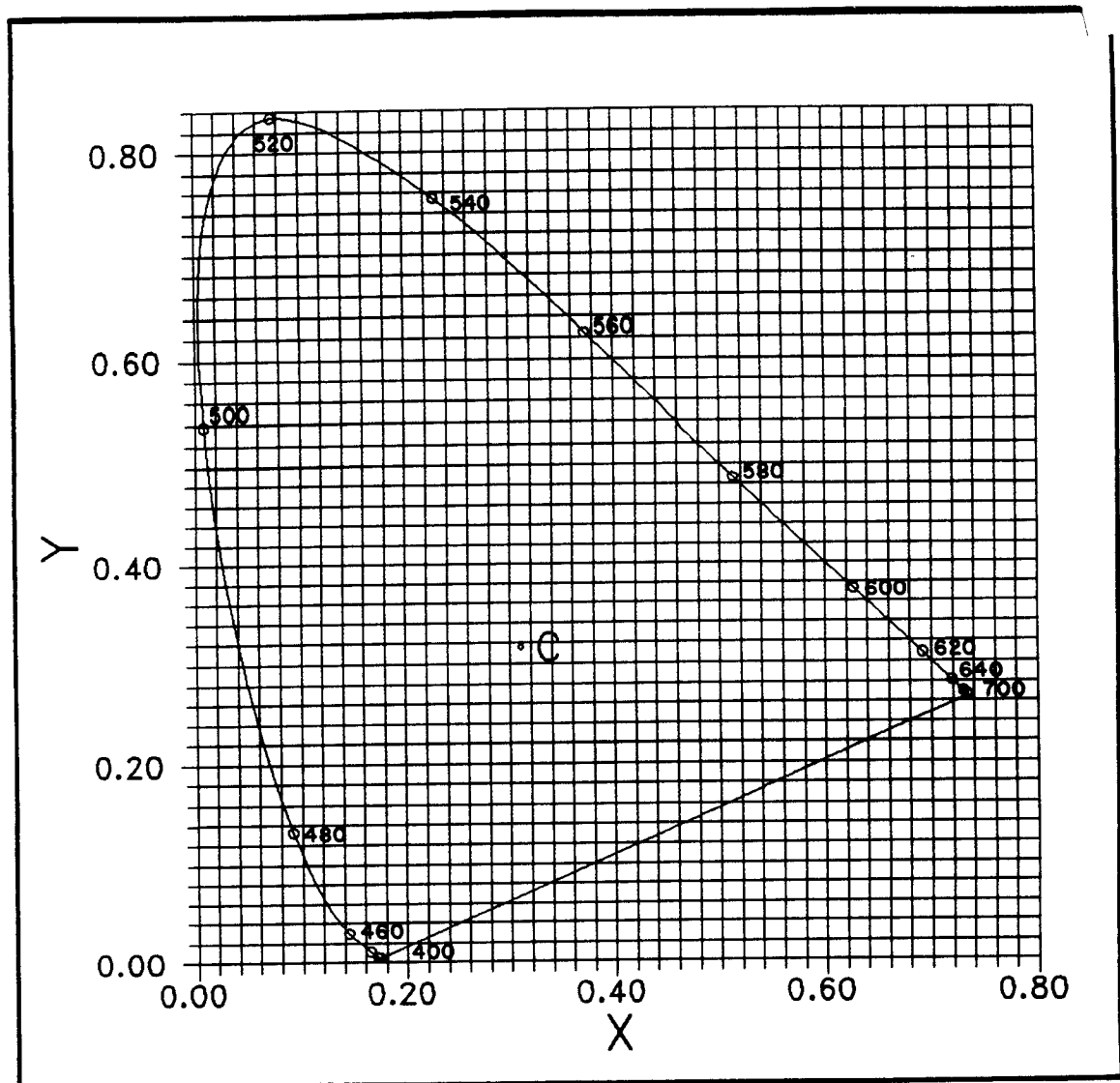


Figura 3.2 - Diagrama de cromaticidade.

4. COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE SOLOS

Um dos mais completos estudos de reflectância de solo foi o executado por Stoner e Baumgardner (1980) onde, em laboratório, foi medido o fator de reflectância bidirecional de amostras de cerca de 240 séries de solos dos Estados Unidos, além de alguns solos brasileiros.

4.1 - Natureza de interações energia-matéria

Para relacionar observações remotas com propriedades dos solos, é necessária uma fundamentação sobre as interações da luz com a matéria. Assim, o item a seguir, relacionado com o assunto, foi extraído de uma excelente revisão bibliográfica realizada por Madeira Netto (1991), para sua tese de doutoramento.

Há várias formas de energia. A mais importante para o sensoriamento remoto é a radiante, ou eletromagnética. Obedece a teoria ondulatória, é igualmente repetitiva e espaçada no tempo, move-se com a velocidade da luz e tem dois campos, um elétrico e outro magnético, que são ortogonais entre si, quando se considera sua propagação de um ponto a outro. Segundo tal modelo, atribui-se à radiação eletromagnética três grandezas: comprimento de onda (λ), frequência (ν) e velocidade (c), que se relacionam da seguinte forma:

$$c = \lambda \cdot \nu$$

Segundo o modelo da teoria quântica, proposto por Max Planck, em 1900, a energia é emitida, absorvida ou propagada não de modo contínuo, mas sim em pequenas parcelas discretas chamadas quanta ou fótons. É particularmente útil quando se trata de processos de absorção ou emissão e para pequenos comprimentos de onda. Nesse caso, a energia, Q , de um quantum, é diretamente proporcional à frequência, ν , da radiação:

$$Q = h \cdot \nu$$

Substituindo na equação anterior, tem-se :

$$Q = (h \cdot c) / \lambda$$

onde h é a constante de Planck e igual $6,625 \times 10^{-34}$ J.s.

A distribuição da energia radiante segundo o comprimento de onda, λ , ou segundo a frequência, ν , é chamada de espectro eletromagnético (Silva Filho, 1992).

Considerando os espectros de reflectância difusa, as principais feições espectrais são devidas a absorções. A absorção da radiação ocorre quando a energia desta radiação corresponde àquela de uma transição entre o estado fundamental e um estado excitado de um elétron ou àquela de uma certa frequência de vibração de uma molécula. Como estas absorções demandam diferentes quantidades de energia, as suas ocorrências evidenciam-se em diferentes posições do espectro. As energias necessárias para as transições de origem eletrônica correspondem aos comprimentos de onda compreendidos entre o ultravioleta e o infravermelho próximo do espectro. Por outro lado, para as absorções de origem vibratória, a energia necessária corresponde aos comprimentos de onda do infravermelho médio.

4.1.1 - Absorções de origem eletrônica

Na região visível-IVM (infravermelho médio) (400-2500 nm) três tipos principais de absorção resultam da excitação dos elétrons (Cervelle, 1990):

(a) *transições intra-atômicas*

Elas são devidas às mudanças de nível de energia de um elétron no interior do átomo, devido à ação de um campo cristalino. O campo cristalino é criado pelas cargas negativas dos ânions e de grupos dipolares ("ligantes") ao redor dos íons. As transições de elétrons de orbitais "d" de elementos de transição e de elétrons de orbitais "f" de terras raras (tabela periódica de Mendeleiev) fazem-se com energias correspondentes a comprimentos de onda do UV ao IVP (ultravioleta ao infravermelho próximo, respectivamente). Os terras raras são de ocorrência muito limitada nos solos. Entre os elementos de transição, o ferro é o mais freqüente, em particular entre os Latossolos.

A localização precisa das particularidades na curva espectral devidas a absorções de origem eletrônica é função de três fatores principais:

- a valência do íon (i.e., Fe^{2+} ou Fe^{3+})
- a coordenação (i.e., tetraédrica ou octaédrica)
- a natureza dos ânions que o circunvizinham (O^- , SO_4^- , etc)

(b) Transferência de carga ou transições inter-elementos

Referem-se ao processo no qual a absorção da energia resulta da transferência de um elétron entre íons adjacentes. Estas transferências de carga são a origem das bandas de absorções intensas centradas no UV (ultravioleta). Os eventos devidos à transferência de carga são, em geral, centenas de milhares de vezes mais elevados que as transições intra-íons (Hunt, 1977). Nos espectros de solos, as transferências de carga são postas em evidência pelo aumento progressivo das intensidades da reflectância do visível em direção ao infravermelho.

(c) transições da banda de valência à banda de transição

Para os metais, um grande número de níveis de energia vazios, próximos uns dos outros, estão igualmente próximos de níveis de energia de elétrons. Uma vez transferidos a estes níveis de energia vazios, os elétrons tornam-se deslocalizados e completamente livres. A energia de radiação é suficiente para os fazer passar a estes níveis de energia. Para os semicondutores, entre os quais alguns óxidos metálicos como a magnetita e a ilmenita, as bandas de energia completadas e as vazias são separadas por um certo intervalo de nível energético ("energy gap"). Este intervalo, sendo inferior à energia dos raios visível e IV (infravermelho), é responsável por bandas intensas de absorção metálica ao longo do espectro.

4.1.2 - Absorções de origem molecular

A energia de radiação eletromagnética pode fazer vibrar as moléculas. Estas vibrações consistem em oscilações de átomos e, também, de seu centro de equilíbrio. A energia necessária para este fenômeno situa-se no infravermelho.

A energia (E_v) correspondente a estas vibrações é dada por:

$$E_v = (\nu_1 + 1/2h\nu_1 + (\nu_2 + 1/2)h\nu_2 + \dots + (\nu_{3N-6} + 1/2)h\nu_{3N-6}$$

onde:

ν_i = número quântico de vibração (0,1,2,etc.)

ν = frequência

N = número de átomos componentes da molécula

h = constante de Planck

As bandas que aparecem como resultado das transições entre os níveis de energia de vibração são denominadas *fundamentais*, *harmônicas* e *combinações*.

As *fundamentais* resultam de transições do estado fundamental onde um só valor de "v_i" é igual a 1 e todos os outros "v_i" são iguais a zero. As *harmônicas* aparecem quando a transição se faz do estado fundamental a um outro estado com um "v_i" igual ou superior a 2. As frequências das harmônicas são portanto múltiplos daquelas das fundamentais. As *combinações* resultam de transições do estado fundamental a um estado com um "v_i" diferente de zero. Considerando o espectro, as combinações são localizadas em frequências correspondentes à soma de frequências em jogo. Pode-se distinguir dois tipos de vibrações: curvaturas de ligações (dobras), ou "d" ("bending"); e alongamentos de ligações, ou "s" ("stretching"). A frequência das vibrações é função do número e dos tipos de átomos constituintes, da geometria espacial e de forças de interação entre os átomos (Hunt e Salisbury, 1970).

As vibrações de grupos OH⁻, SO₄⁼ e CO₃⁼ de ocorrência freqüente nos solos são bons exemplos de absorções de origem molecular. Para os Latossolos, os eventos espectrais ligados às hidroxilas são particularmente importantes pois os radicais OH⁻ participam na rede da caulinita e da gibbsita, dois componentes maiores destes solos.

No entendimento das relações entre as características dos solos e as suas propriedades espectrais, é importante que sejam consideradas não apenas as ponderações sobre os fenômenos físicos ocorrentes durante as interações energia-matéria, mas também vários conceitos pedológicos. Isto porque o comportamento espectral dos solos é o resultado da combinação de influências de vários fatores presentes nos solos; fatores estes que se alteram de um solo para outro (Irons et al., 1989).

As absorções devidas às harmônicas de vibração do tipo alongamento (2s) situam-se próximas de 1450 nm e as combinações do tipo curvaturas e alongamentos de ligação (d + s) estão próximas de 2300 nm.

Hunt e Salisbury (1970) descrevem o espectro da água considerando para o estado líquido três absorções fundamentais em 3160 nm, 2941 nm (vibrações de alongamento) e em 6060 nm (vibrações de curvatura de ligação). Nos espectros de solos, de rochas e de minerais a presença de água é revelada pelas bandas (2s) em 1400 nm e pelas bandas (d + s) em 1900 nm.

4.2 - Parâmetros do solo que influenciam a reflectância

4.2.1 - Cobertura vegetal verde

A composição espectral da radiação refletida pelos solos é notavelmente diferente daquela refletida pelas plantas (Gates, 1963; Gates, 1965). Folhas individuais exibem absorções máximas no azul e no vermelho em 0,47 e em 0,68 μm , respectivamente; enquanto que o familiar pico de reflexão verde ocorre em 0,55 μm . A total falta de absorção dos pigmentos e a falta de absorção apreciável por água líquida resulta em altas reflectâncias no infravermelho próximo para folhas saudáveis, entre 0,7 e 1,3 μm . As principais bandas de absorção aparecem em 1,45 e em 1,95 μm para folhas que ocorrem em solos úmidos (Myers e Allen, 1968). A densidade, a morfologia e as condições do arranjo geométrico de folhas num dossel de planta determinam a extensão em que a cobertura vegetal verde afeta a reflectância de solos superficiais (Hoffer e Johannsen, 1969). Girard-Ganneau (1975) reportou que até uma cobertura vegetal de 15% uma superfície aparece como solo, enquanto que acima de 40% de cobertura, o comportamento espectral tende cada vez mais para o da vegetação.

Dados do infravermelho próximo obtidos a partir de fotografias digitalizadas foram usados para estimar percentagem de cobertura do solo num dossel de milho sobre um Molissol e sobre um Alfissol (Stoner et al., 1976). Usando dados de um "scanner" multiespectral aerotransportado, Kristof e Baumgardner (1975) observaram que a razão entre reflectâncias relativas no infravermelho podiam ser usadas para caracterizar a variação sazonal, a qual está intimamente ligada com mudanças na cobertura vegetativa verde. Foi importante também o fato de padrões de solos permanecerem visíveis apesar da densa cobertura do milho durante a fase de desenvolvimento vegetativo.

Embora densas coberturas de culturas ou de comunidades de plantas naturais possam mascarar as respostas espectrais próprias dos solos, é importante observar que diferenças de fertilidade natural, drenagem, e capacidade de retenção de água entre solos tendem a influenciar o crescimento vegetativo sobre esses solos. Assim, embora os solos possam, por si só, ser mascarados pelos dosséis vegetais, as características dos dosséis variam fenológica e morfologicamente para os diferentes tipos de solos. (Westin e Leme, 1978). Dessa forma, a cobertura vegetativa verde é espectralmente importante no mapeamento de solos de áreas com coberturas vegetativas naturais (Ranzani, 1969).

4.2.2 - Resíduos estranhos ao solo

Os componentes sazonais comuns às cenas de sensoriamento remoto são resíduos não verdes de vegetação senescente, neve e gelo (em regiões temperadas). Não é incomum que regiões cultivadas tenham coberturas de resíduos de culturas sobre a superfície dos solos nas épocas do ano que seriam ideais para obtenção de dados de sensoriamento remoto de solos (Stoner e Horvath, 1971)

Folhas secas comportam-se diferentemente das folhas verdes e saudáveis na região do infravermelho próximo (Gausman et al., 1975). Enquanto múltiplas camadas de folhas verdes saudáveis mostram um realce na reflectância até um pilha de oito folhas, folhas secas não apresentam incrementos de reflectância além de duas ou três camadas de folhas. Não se espera que medidas de reflectância feitas por aeronave ou por satélite possam distinguir entre diferentes densidades de vegetação senescente. Pesquisas radiométricas de campo mostraram que resíduos de cana-de-açúcar deixados sobre o solo tinham maior reflectância que solos expostos, mas que resíduos de cana-de-açúcar que permaneciam de pé tinham menor reflectância que solos expostos (Gausman et al., 1975). Estudos feitos com medidas de reflectância obtidas com o MSS/Landsat mostraram que solos cobertos por resíduos de uma variedade de culturas e gramíneas foram melhor discriminados de solos expostos na região do visível de 0,5-0,6 μm . Posteriormente, Gausman et al. (1977), trabalhando com restos de trigo, sugeriram que a região do infravermelho próximo, de 0,75 a 1,3 μm , parecia melhor que as do visível ou as de absorção de água para distinguir as reflectâncias dos tratamentos de solo exposto, solo cultivado, e solo com resíduos de trigo.

Novamente, como no caso da cobertura por vegetação verde, há indicações de que a presença de resíduos estranhos ao solo não obscurecem completamente os padrões detectáveis dos solos quando áreas de coberturas residuais similares são isoladas e classificadas separadamente usando dados de "scanners" aerotransportados. Estudos espectrorradiométricos de campo sobre coberturas residuais de milho em um Alfissol e em um Molissol mostraram evidências de que as tendências características das curvas espectrais para esses solos não são alteradas pelas diferenças de cobertura residual ou de umidade (Stoner et al., 1979).

4.2.3 - Rugosidade e formação de crosta superficial

As primeiras pesquisas de sensoriamento em solos reconheceram o fato de que solos freqüentemente formavam uma crosta superficial que fazia os solos parecerem secos quando na verdade estavam úmidos (Hoffer e Johannsen, 1969). Cipra et al. (1971) observaram que solos com crostas superficiais tinham maiores valores de reflectância na região de 0,43-0,73 μm que solos com as crostas desfeitas. A menor reflectância dos solos remexidos foi atribuída à rugosidade superficial, a qual presumivelmente causava tanto efeitos de espalhamento da luz como de sombreamento. A rugosidade superficial de um Alfissol arenoso pareceu sobrepujar os efeitos de umidade sobre a reflectância (Johannsen, 1969).

O ângulo de visada do sensor na maioria das configurações de medida de reflectância é normal à superfície sendo medida; entretanto, importantes efeitos do ângulo de iluminação comumente resultam de diferenças no ângulo de elevação solar com a hora do dia e a estação do ano. Solos recém cultivados, além de seu comum maior teor de umidade superficial que solos não remexidos, freqüentemente mostram uma geometria aleatória das superfícies refletoras cuja reflectância geral pode variar com o ângulo de iluminação (Crown e Pawluck, 1974; Coulson e Reynolds, 1971). Solos argilosos cultivados que apresentavam agregados de alguns centímetros de tamanho mostraram fortes diferenças de reflectância em função do ângulo de elevação solar (Coulson e Reynolds, 1971). Uma forte diminuição da reflectância ocorreu com o aumento da elevação solar, possivelmente causada pelo "aprisionamento" da radiação entre as partículas grosseiras à medida que a fração da radiação incidente que entrava nos espaços aumentou com o aumento da elevação solar. Solos com estrutura bem definida na camada de aração refletiram 15-20% menos energia luminosa que solos sem estrutura (Obukhov e Orlov, 1964).

As dificuldades de uma completa caracterização do conteúdo de umidade e da rugosidade superficial de solos sob diferentes tratamentos de cultivo fazem dessa área uma das menos entendidas quando se estuda reflectância de solos.

4.2.4 - Umidade de solo

É observação comum que a maioria dos solos parecem mais escuros quando estão úmidos que quando estão secos. Isso resulta de um decréscimo na reflectância da radiação incidente na região do visível do espectro eletromagnético.

Angström (1925) atribuiu esse efeito de escurecimento da umidade nos solos às reflexões totais dentro do fino filme de água que cobre as partículas de solo. Uma porção da energia não seria refletida para o espaço mas seria re-refletida entre a superfície da partícula e a superfície do filme de água. Planet (1970) indicou que a diferença de reflectância entre seus estados seco e úmido poderiam ser determinados se os seguintes fatores fossem levados em conta: 1) variações no índice de refração devidas aos constituintes do solo dissolvidos; 2) mudanças na natureza física das partículas do solo pela presença da água; e 3) similaridades nos índices de refração da água e do solo.

Hoffer e Johannsen (1969) mostraram que solos úmidos tinham uma reflectância geral menor que os secos na região de 0,4 a 2,6 μm . Bowers e Hanks (1965) notaram uma diminuição na reflectância de um tipo de solo para seis teores crescentes de umidade no intervalo de 0,5 a 2,5 μm . Obukhov e Orlov (1964) observaram que a curva espectral não muda na sua forma quando se umedece o solo e que a razão entre a reflectância de solo úmido e de solo seco permanece praticamente constante na porção do visível do espectro. Observou-se também que o decréscimo na reflectância foi maior para o umedecimento de solos de floresta contendo pouca matéria orgânica que para solos de pradarias com altos teores de matéria orgânica. Condit (1970, 1972) em seu largamente conhecido estudo de 160 solos de 36 estados dos Estados Unidos foi capaz de identificar três formas características de curvas de reflectância no intervalo de 0,32 a 1,0 μm . Embora não se tenha observado que a forma da curva de reflectância se alterasse entre os estados seco e úmido, os teores de umidade não foram relatados para nenhuma das amostras. A necessidade de um controle cuidadoso da tensão da água e do teor de umidade em medidas de reflectância foi reconhecido por Beck et al. (1976).

Bowers e Hanks (1965) demonstraram que, à medida em que a umidade aumenta, ocorre uma diminuição na reflectância dos solos, sendo que as formas gerais das diferentes curvas espectrais dos solos com diferentes umidades não são afetadas pelas variações de umidade.

A forma das curvas de reflectância é afetada pela presença de fortes bandas de absorção de água em 1,45 e 1,95 μm , e ocasionalmente por fracas bandas de absorção de água em 0,97; 1,2 e 1,77 μm . Especificamente, essas bandas são overtones e combinações das três frequências fundamentais de vibração da molécula de água que ocorrem além de 2,5 μm (Bowers e Smith, 1972). A banda em 1,94 μm , uma combinação das frequências fundamentais $\nu_2 + \nu_3$ é a mais sensível à água, e tem sido a melhor para o estabelecimento de relações entre medidas de reflectância e conteúdo de água nos solos (Bowers e Hanks, 1965). Uma banda de absorção em 2,2 μm não foi identificada nos primeiros estudos (Bowers e Hanks, 1965) mas foi posteriormente identificada como o modo vibracional do íon hidroxila (Hunt e Salisbury, 1970). A absorção devida ao íon hidroxila também dá origem a uma banda em 1,45 μm , a mesma que a da água líquida. O aparecimento

da banda em 1,45 μm sem a banda em 1,95 μm indica que os grupos hidroxilas e não da água livre estão presentes no material. Fortes bandas em 1,45 e 1,95 μm indicam que as moléculas de água estão localizadas em sítios organizados bem definidos enquanto bandas largas nesses comprimentos de onda indicam que elas estão relativamente desorganizadas, como é freqüentemente o caso dos solos. Fracas bandas de absorção em 0,97; 1,2 e 1,77 μm correspondem às bandas de absorção observadas nos espectros de transmissão da água para poucos milímetros de espessura (Lindberg e Snyder, 1972). Essas fracas bandas de absorção de água podem ser atribuídas às vibrações da água, com a combinação adicional de vibrações das moléculas de água em 1,77 μm (Hunt e Salisbury, 1971b).

Beck et al. (1976) observaram que, dos vários fatores estudados, a umidade do solo teve a maior influência na reflectância do solo no nível de tensão de umidade de 1/3 bar. Devido à impraticabilidade de medir reflectância de solo no campo na banda de absorção de 1,95 μm (também uma região de forte absorção pela água atmosférica), a reflectância na região de comprimentos de onda de 1,50 a 1,73 μm foi sugerida como a melhor possibilidade para mapeamento do conteúdo de umidade em solos superficiais. Embora a importância da umidade do solo para a reflectância tenha sido reconhecida por Montgomery e Baumgardner (1974) e Montgomery (1976) a contribuição desse parâmetro para a reflectância do solo não foi avaliada quantitativamente por causa do estado de "seco ao ar" no qual todas as amostras de solo foram medidas.

Bowers e Smith (1972) mostraram que uma relação linear entre absorvância e água do solo em percentagem era adequada para determinação de umidade desde o estado de seco ao ar até o equivalente de umidade. A praticabilidade de uma medida de absorvância em 1,94 μm , contudo, está limitada a aplicações em laboratório. Peterson et al. (1979) demonstrou que a perda de reflectância de um estado de seco em estufa para a capacidade de campo para 15 amostras de Molissols e Alfissols da região central de Indiana está definitivamente relacionada com as reflectâncias dos estados secos em estufa daqueles solos. Esta relação manteve-se verdadeira tanto para a região do visível como para as regiões refletidas do infravermelho próximo e médio. Esses resultados apontam para a existência de uma relação ordenada entre tensões de umidade do solo e valores de reflectância de solos.

4.2.5 - Matéria orgânica

O conteúdo de matéria orgânica do solo e a composição dos constituintes orgânicos são reconhecidamente fatores de forte influência sobre a reflectância dos solos. Observa-se, em geral, que à medida que o teor de matéria orgânica aumenta, a reflectância do solo decresce no intervalo de comprimentos de

onda de 0,4 a 2,5 μm (Hoffer Johannsen, 1969). Baumgardner et al. (1970) observaram que a matéria orgânica desempenha um importante papel na determinação das propriedades espectrais dos solos quando o teor de matéria orgânica excede 2,0%. Quando a matéria orgânica cai abaixo de 2,0% torna-se menos efetiva no mascaramento dos efeitos de outros constituintes do solo. Embora não tenha sido reconhecido por Condit (1970, 1972), suas curvas Tipo 1 e Tipo 2 corresponderam respectivamente às curvas de reflectância dos Molissols com altos teores de matéria orgânica superficiais e dos Alfissols com baixos teores de matéria orgânica superficial (Cipra et al., 1971).

No entanto, Beck et al. (1976) constataram que, quando os solos estão menos úmidos, os seus teores de matéria orgânica passam a ter maior efeito na reflectância.

Al-Abbas et al. (1972) sugerem que os efeitos de diminuição de reflectância do solo pelo aumento do teor de matéria-orgânica podem estar associados também ao teor de argila, uma vez que deve existir uma boa correlação entre os teores de argila e de matéria orgânica.

Os constituintes orgânicos incluindo ácidos húmicos e fúlvicos, e compostos não específicos incluindo resíduos de plantas em decomposição são conhecidos como influenciadores da reflectância dos solos em diferentes graus (Obukhov e Orlov, 1964), embora a contribuição de cada um deles tenha sido de difícil quantificação. Montgomery (1976) observou que a reflectância do solo na região de 0,60 a 1,10 μm teve a mais alta correlação com certos constituintes orgânicos. Melhores técnicas de determinação de constituintes orgânicos específicos são necessárias para ajudar clarear suas contribuições para a reflectância dos solos.

A oxidação da matéria orgânica numa amostra de solo com H_2O_2 resultou num aumento da reflectância de 0,4 a 2,4 μm , embora a diferença na reflectância além de 1,3 μm tenha sido muito pequena (Bowers e Hanks, 1965). Mathews et al. (1973) destruíram a matéria orgânica num solo argilo-siltoso com 12,8% de matéria orgânica. A reflectância cresceu acentuadamente de 0,4 a 1,3 μm , e apresentou um ligeira queda de 1,5 a 2,4 μm .

Estudos de regressão indicaram que os teores de matéria orgânica podiam ser relacionados à reflectância dos solos por uma função curvilínea exponencial (Schreier, 1977). Mathews et al. (1973) observaram que a matéria orgânica correlacionou-se mais fortemente com a reflectância no intervalo de 0,5 a 1,2 μm . Por outro lado, Beck et al. (1976) sugeriram que o intervalo de 0,90 a 1,22 μm seria melhor para o mapeamento de carbono orgânico em solos. Montgomery (1976) mostrou que teores de matéria orgânica da ordem de 0,9% pareciam não mascarar as contribuições de outros parâmetros do solo para a reflectância do solo.

Montgomery diferiu de Beck na recomendação da região de comprimentos de onda do visível como a melhor para medidas espectrais do teor de matéria orgânica nos solos.

A despeito de seu conteúdo geralmente baixo (cerca de 1 a 6%), a matéria orgânica exerce, geralmente, profundas influências sobre propriedades dos solos minerais, tais como a estrutura, a fertilidade, a capacidade de retenção de água e, em particular, a reflectância.

4.2.6 - Distribuição do tamanho de partículas

A reflectância, assim como outras propriedades importantes do solo, é influenciada não somente pela composição química dos constituintes do solo, como também pelo tamanho e arranjo das partículas em relação ao ar e à água do solo; ou seja, a textura (granulometria) e a estrutura do solo. A granulometria do solo refere-se à distribuição de tamanhos de partículas minerais do solo. O arranjo físico e a agregação destas partículas proporciona ao solo uma estrutura. A textura e a estrutura determinam a quantidade de espaços porosos disponíveis num solo para serem ocupados por água e por ar.

Bowers e Hanks (1965) mediram a reflectância da caulinita pura em várias frações de tamanhos de partículas entre silte grosso até areia muito grossa e constataram que houve um aumento exponencialmente rápido na reflectância em todos os comprimentos de onda entre 0,4 e 1,0 μm , à medida em que se diminuiu o tamanho das partículas.

Conforme expõem Stoner e Baumgardner (1980), os estudos da influência do tamanho de partículas sobre a resposta espectral têm sido feitos com substâncias puras; contudo, as diferenças de reflectância entre classes texturais específicas de solos ocorrentes em condições naturais ainda não têm sido reportadas.

Além das diferenças de reflectância citadas anteriormente, que podiam ser explicadas por diferenças na rugosidade superficial e pela estrutura do solo, o tamanho e a forma da partícula bem como o tamanho e a forma dos agregados influenciam a reflectância do solo de diferentes maneiras. Bowers e Hanks (1965) mediram a reflectância de caulinita pura em frações de tamanho variando de 0,022 a 2,68 mm em diâmetro (classes de silte grosseiro a areia grossa), e observaram um aumento exponencial na reflectância para todos os comprimentos de onda entre 0,4 e 1,0 μm com a diminuição do tamanho da partícula. Os aumentos mais notáveis na reflectância ocorreram para tamanhos de partículas menores que 0,4 mm de diâmetro (classes de tamanho de partículas equivalentes a areia média e fina,

aproximadamente). Partículas ou agregados maiores que 2-3 mm de diâmetro teriam pouca influência na absorção adicional da energia solar.

Orlov (1966) observou que a reflectância de agregados de 0,25 a 10 mm em diâmetro variava pouco para solos do tipo Molissol. Contudo, para frações menores que 0,25 mm em diâmetro (classes de tamanho de partículas equivalentes a areia fina ou mais finas) a reflectância aumentou, um fato que Orlov atribuiu às bruscas mudanças na composição química dos agregados menores que 0,25 mm em diâmetro comparados com os agregados mais grosseiros.

A rugosidade superficial numa micro escala pode ser o fator determinante na explicação de mudanças na reflectância em função do diâmetro das partículas ou dos agregados. Bowers e Hanks (1965) observaram que à medida que o tamanho da partícula decresceu, a superfície da caulinita se tornou mais uniforme. Da mesma forma, Orlov (1966) observou que partículas finas completavam um volume mais completamente e formavam uma superfície mais lisa. Agregados grosseiros, tendo uma forma irregular, formavam uma superfície complexa com um grande número de espaços inter-agregados. À medida que a luz atinge agregados grandes e de formas irregulares, a maioria do fluxo incidente penetra nas "armadilhas" de luz e aí é completamente extinta.

Hunt e Salisbury (1970, 1971, 1976a, 1976b) e Hunt et al. (1971a, 1971b, 1973a, 1973b, 1973c, 1974) mediram a reflectância de um grande número de minerais e rochas em quatro frações de tamanho: 0 - 0,005; 0 - 0,074 mm; 0,074 - 0,25 mm; e 0,25 - 1,2 mm. Para os silicatos e carbonatos notou-se que o efeito geral do decréscimo do tamanho da partícula das amostras foi o de aumentar a reflectância em todos os comprimentos de onda e diminuir o contraste de qualquer feição espectral bem definida. Ao contrário dos estudos anteriormente mencionados, no caso dos óxidos e sulfetos a reflectância como uma função do comprimento de onda algumas vezes realmente decresceu com a diminuição do tamanho da partícula. Esse fenômeno pareceu ocorrer em materiais de reflectância muito baixa. Como em outros estudos, entretanto, observou-se que apenas a reflexão integral variava com o diâmetro da partícula, enquanto a forma da curva espectral permanecia a mesma.

Os estudos de regressão feitos por Montgomery (1974, 1976) mostraram o teor de silte como sendo o parâmetro isolado mais significativo na explicação de variações espectrais em solos. A significância do teor de silte pode ser atribuído ao tamanho das partículas de silte em relação aos comprimentos de onda refletivos. Beck et al. (1976), estudando principalmente solos siltosos, concluíram que a região de comprimentos de onda de 1,50 a 1,73 μm foi a melhor para mapeamento de teor de argila em solos superficiais.

4.2.7 - Óxidos de Ferro

O tipo e quantidade relativa de óxidos de ferro influenciam a cor dos solos vermelhos e amarelos ricos em argilas sesquioxídicas (Bigham et al., 1978). Observou-se que predominantemente solos amarelos ricos em goetita adsorviam mais fosfatos por unidade de peso que solos similares vermelhos ricos em hematita. A reflectância espectral de solos pode ser um critério significativo para separações em taxonomia e em manejo em solos altamente intemperizados.

Como expõem Stoner e Baumgardner (1980), os sesquióxidos, típicos de regiões intensamente intemperizadas como nos trópicos, apresentam espectros de reflectância dominados por feições devidas ao ferro férrico. Hematita, limonita e goetita apresentam bandas de absorção bem definidas próximo de $0,9 \mu\text{m}$. Quando há a presença de magnetita, em geral ocorrem baixas reflectâncias no visível e no IV próximo e médio, sem feições de absorção, em função de bandas de condução dos óxidos de ferro e de titânio, que se estendem através do espectro.

Obukov e Orlov (1964) relataram que solos com um elevado teor de ferro podiam ser facilmente distinguidos pela inflexão característica do Fe_2O_3 na curva de reflectância. Observaram que a intensidade da reflexão na região de $0,5$ a $0,64 \mu\text{m}$ era inversamente proporcional ao teor de óxido de ferro. Karmanov (1970) notou que a intensidade de reflexão dos hidróxidos de ferro contendo pouca água e tendo cor "dark brown-red" aumentou mais fortemente no intervalo de $0,554$ a $0,596 \mu\text{m}$ enquanto que a dos óxidos de ferro hidratados aumentou mais fortemente no intervalo de $0,50$ a $0,54 \mu\text{m}$. Nenhum desses estudos investigou a reflectância dos óxidos de ferro além dos comprimentos de onda do visível.

A maioria das feições eletrônicas bem delineadas de óxidos de ferro em minerais e rochas pode ser atribuída a transições eletrônicas nos cátions de ferro (Hunt et al., 1971a). Tipicamente, o íon ferroso produz uma banda próxima a $1,0 \mu\text{m}$ devido à transição permitida de spin entre os níveis quintetos E_g e T_{2g} nos quais o estado estacionário D se separa em um campo cristalino octaedral. Para o íon férrico, as principais bandas produzidas no espectro são resultado da transição do estado estacionário $G_{A_{1g}}$ para o $4T_{1g}$ ao redor de $0,87 \mu\text{m}$; e para $4T_{2g}$ em $0,7 \mu\text{m}$. Enquanto apenas 1% em peso de hematita finamente moída alterou a cor de um Oxissol amarelo e argiloso de 10YR para 5YR (Resende, 1976), uma quantidade de 0,0005% de ferro em peso foi capaz de produzir uma banda de ferro perceptível em $0,87 \mu\text{m}$ num mineral de calcita altamente transparente (Hunt e Salisbury, 1971a). Além da banda de ferro ferroso em $1,0 \mu\text{m}$, uma outra banda de absorção próxima a $1,0 \mu\text{m}$ foi identificada numa amostra de gibbsita como um segundo overton e combinação dos modos de estiramento do radical hidroxila (Hunt et al., 1971a).

Montgomery (1976) observou que o teor de óxido de ferro livre do solo foi significativo tanto no visível como no infravermelho, e que a significância do ferro aumentou com o aumento do comprimento de onda. A presença da matéria orgânica não diminui a contribuição do ferro para a reflectância do solo. A percentagem de ferro em complexos orgânicos, juntamente com a percentagem de carbono e Mg e K trocáveis foram mais significativamente correlacionados com medidas espectrais num estudo de Schreier (1977). A pequena largura das bandas de absorção do ferro é incompatível com as largas bandas no infravermelho presentes nos satélites Landsat, e podem tornar impraticáveis as comparações de reflectâncias em solos com diferentes níveis de óxidos de ferro.

4.2.8 - Mineralogia de argila

O exame dos espectros de reflectância dos minerais de argila dos grupos da montmorilonita e da caulinita indica que eles devem as principais feições de seus espectros de absorção à presença da água (Lindberg e Snyder, 1972). Bandas moleculares de água muito fortes em 1,4 e 1,9 μm são devidas à água retida típica das montmorilonitas (Hunt e Salisbury, 1970). Fortes bandas de hidroxilas centradas em 1,4 e 2,2 μm são típicas de reflectância de caulinita, com a ausência de apreciável água retida resultando em apenas uma fraca banda em 1,9 μm . A presença de uma pequena quantidade do íon ferroso resulta numa sutil banda próxima a 1,0 μm na caulinita, enquanto o íon ferroso numa coordenação 6 na montmorilonita resulta numa forte banda em 1,0 μm . Mathews et al. (1973) mediu uma consistentemente baixa reflectância para comprimentos de onda menores que 1,7 μm numa amostra de illita e mostrou baixas intensidades para as bandas da água e da hidroxila quando comparadas às amostras de caulinita e de nontronita (do grupo da montmorilonita). Para a maioria dos minerais dos grupos da caulinita e da montmorilonita, ocorre um decréscimo geral na reflectância com o decréscimo nos comprimentos de onda começando em 0,7 μm (Lindberg e Snyder, 1972).

Nos espectros dos argilo-minerais dos grupos montmorilonita e caulinita, as principais feições de absorção devem-se à presença de água. Há bandas muito fortes de absorção devidas à água molecular - em 1,4 e em 2,2 μm -; ou seja, a água confinada entre as lâminas constitutivas das partículas de montmorilonita. Há bandas fortes de absorção, devidas à hidroxila, localizadas em 1,4 e 2,2 μm , típicas da reflectância da caulinita (Stoner e Baumgardner, 1980).

As argilas ocorrem em íntima combinação com outros constituintes do solo. Mineralogias de argila mistas são mais comuns que mineralogias de argila com predominância de um único tipo de argila. Montgomery (1976) analisou separadamente um grupo de solos com mineralogia montmorilonítica e notou pouca diferença entre as correlações estatísticas da reflectância e das propriedades

do solo para este grupo e para os solos como um todo. A contribuição da mineralogia de outras frações do solo que não a argila não tem sido reportadas, mas provavelmente sejam importantes.

4.2.9 - Material de origem

Mathews et al. (1973) foram os primeiros a demonstrar a importância do material de origem sobre a reflectância do solo. As curvas de reflectância para solos desenvolvidos de calcários, cinzas vulcânicas, e arenitos exibiram contrastes, feições características e foram separáveis em todos os comprimentos de onda. Schreier (1977) também notou que o material de origem do solo afetava todo o espectro de reflectância dos solos desenvolvidos de materiais deltaicos, orgânicos e aluviões marinhos. Hunt et al. (1973b, 1973c, 1974) observaram que a intensidade geral da reflectância de rochas ígneas diminuía das ácidas para as intermediárias e destas para as básicas, com as formas ultrabásicas sempre mostrando uma banda de ferro bem definida próxima a $1,0 \mu\text{m}$. Tais resultados sugerem que áreas de locais geográficos de material de origem similar devam ser estudadas separadamente quando se objetiva relacionar reflectância do solo a outros parâmetros do solo. Tal como foi a abordagem usada com sucesso por Weismiller et al. (1979) para separar classes de drenagem dentro de grupos de material de origem similares.

4.2.10 - Comportamento espectral de constituintes mineralógicos importantes

(-) *Caulinita* ($\text{Al}_2\text{SiO}_5(\text{OH})_4$)

As principais feições espectrais da caulinita são devidas às vibrações das hidroxilas (OH^-) de sua rede cristalina.

As absorções fundamentais situam-se no IV médio onde cada uma das quatro OH^- determinam uma absorção bem definida em 2700 nm, 2730 nm e 2755 nm através dos modos de alongamento ("s") das OH^- ; e em 10870 nm e 10640 nm pelas curvaturas de ligações ("d") dos grupos Al-O-H (Hlavay et al., 1977).

No infravermelho próximo e médio, as absorções perceptíveis são devidas às harmônicas e às combinações. As harmônicas de alongamentos de ligação (2s) são perceptíveis em 1400 nm e as combinações de curvatura de ligação e de alongamentos (d + s) são visíveis também como em 2200 nm.

A posição precisa destas feições é dada por Crowley e Vergo (1988): 1395/1495 nm e 2163/2208 nm. A Figura 4.1 mostra estas feições no espectro de reflectância de uma caulinita, proveniente da Georgia (USA), moída a $50\ \mu\text{m}$.

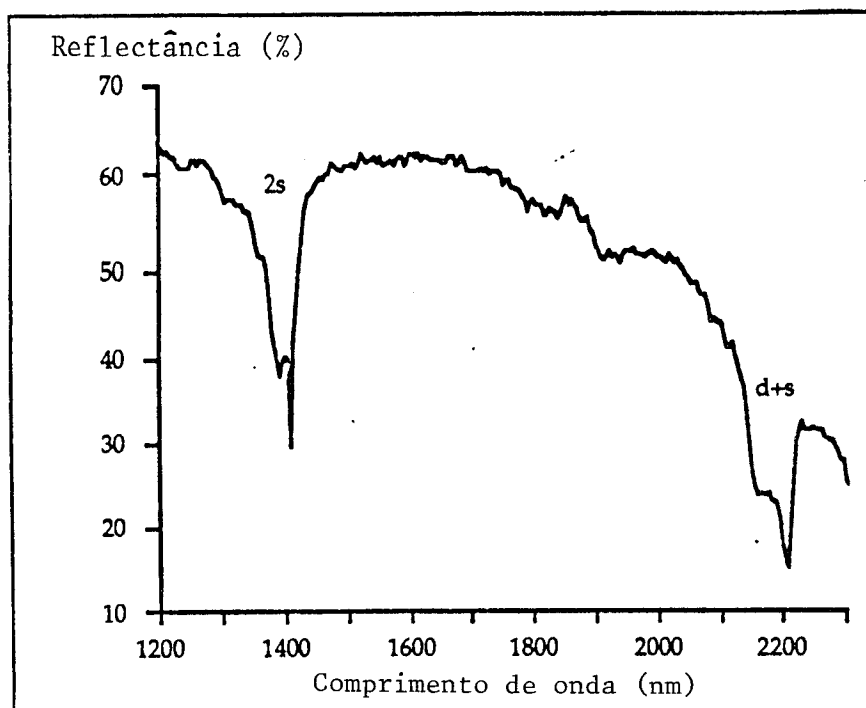


Figura 4.1 - Curva de reflectância espectral da caulinita.

Fonte: Madeira Netto (1991)

As duplas de harmônicas do modo alongamento (2s) e as da combinação dos modos curvatura e alongamento de ligação (d + s) situam-se, respectivamente, por volta de 1400 nm e próximo de 2200 nm.

(-) *Gibbsita* ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)

Como para a caulinita, as feições espectrais presentes nos espectros da gibbsita são devidas a vibrações dos grupos OH^- . Frederickson (1954) mostrou que as vibrações fundamentais de alongamento (s) estão localizadas em 2975 nm, 2960 nm, 2917 nm, 2842 nm e 2765 nm e as vibrações fundamentais de curvatura de ligação (d) estão localizadas em 9800 nm e em 10340 nm. As harmônicas (2s) próximas de 1550 nm e as combinações (d + s) próximas de 2300 nm são perceptíveis no IVP (Hunt et al., 1971). A Figura 4.2 mostra para uma gibbsita, proveniente do Brasil e moída a $50\ \mu\text{m}$, aquelas diferentes feições, assim como as absorções da água próximo de 1400 nm e 1900 nm.

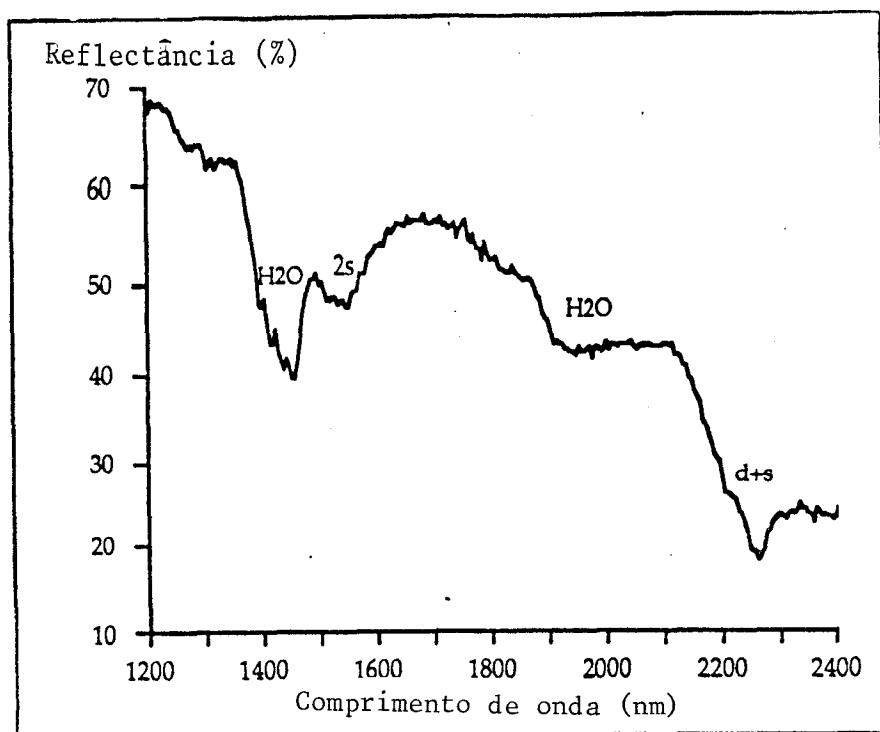


Figura 4.2 - Curva de reflectância espectral da gibbsita.
Fonte: Madeira Netto (1991)

(-) *Goetita e Hematita*

As formas trivalentes de ferro (Fe^{3+}) são responsáveis por uma banda de absorção devida às transferências de carga metal-ligante ($\text{Fe}^{3+} \Rightarrow \text{O}^{2-}$) centralizada no UV, mas cujo flanco de baixa energia situa-se no domínio visível. Por outro lado, este mesmo Fe^{3+} está na origem das absorções intra-íons que conferem aos espectros de reflectância sua forma particular (Hunt et al., 1971). A origem das feições devidas aos óxidos de ferro, assim como a sua posição dentro do espectro e suas intensidades relativas foram definidas por Sherman e Waite (1985). A posição e a atribuição às transições eletrônicas das absorções no visível e no IVP são apresentadas na Tabela 4.1.

A intensidade das bandas é ilustrada nas Figuras 4.3 e 4.4.

Verifica-se que a banda próxima de 430 nm (${}^6\text{A}_1 \Rightarrow {}^4\text{E}, {}^4\text{A}_1$), bastante intensa devida à hematita, apresenta-se como um ponto de inflexão da goetita. A transição $2({}^6\text{A}_1) \Rightarrow 2({}^4\text{T}_1)$ aparece como um evento bem definido localizado em 530

TABELA 4.1 - Posição das bandas de absorção atribuídas às transições eletrônicas na Hematita e da Goetita.

Fonte: Sherman et Waite (1985).

	$6A_1-4T_1$	$6A_1-4T_2$	$2(6A_1)-2(4T_1)$	$6A_1-4E, 4A_1$
Hematita	885 nm	650 nm	530 nm	445 nm
Goetita	1700 nm	650 nm	480 nm	435 nm

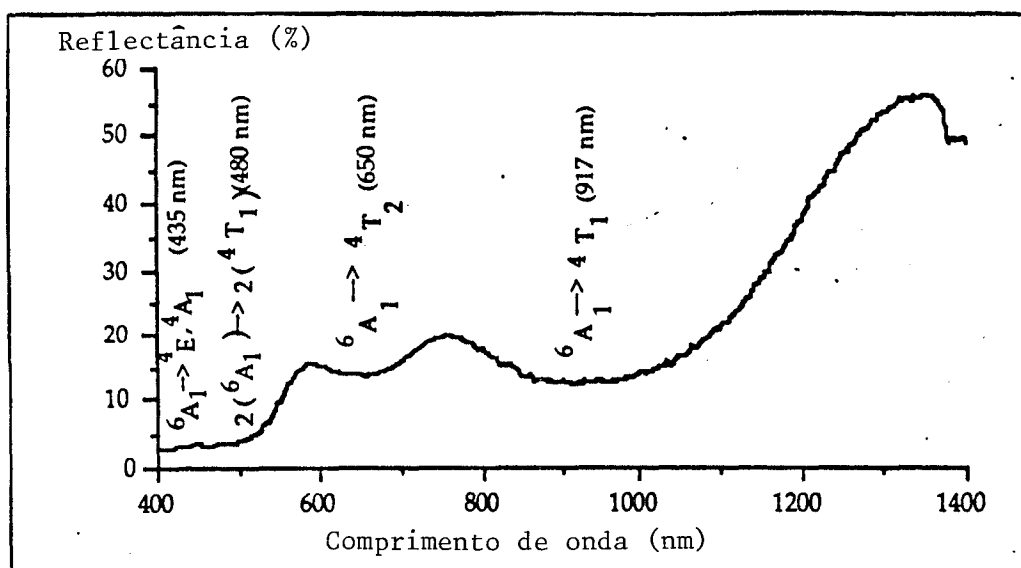


Figura 4.3 - Curva de reflectância goetita.

Fonte: Madeira Netto (1991)

nm no espectro da hematita. Para a goetita, esta transição, localizada em 480 nm, é muito mais fraca e aparece como uma mudança de inclinação. A posição diferente desta absorção é, segundo Sherman e Waite (1985), responsável por diferenças de cor da hematita e da goetita. Kosmas et al. (1984), estudando as variações de cor de misturas de hematita e de goetita, mostraram que as variações de cor estão diretamente correlacionadas com a posição desta absorção.

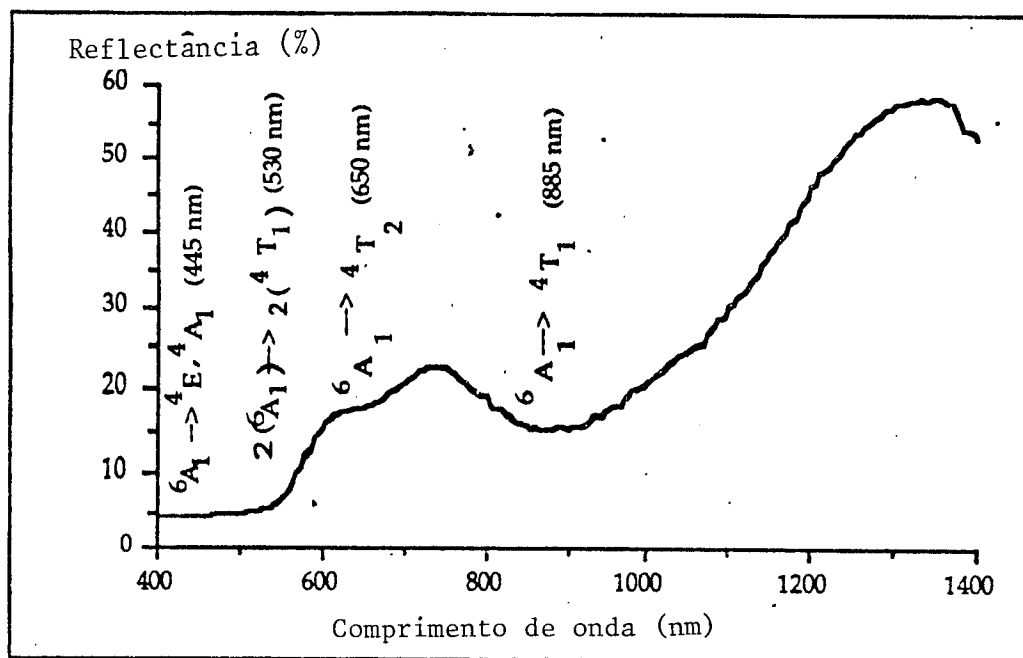


Figura 4.4 - Curva de reflectância espectral da hematita.

Fonte: Madeira Netto (1992)

(-) *Magnetita* (Fe_3O_4) e *Ilmenita* ($FeTiO_3$)

Magnetita e Ilmenita são minerais tipicamente opacos, praticamente sem eventos ou feições espectrais no visível e no IVP (Hunt et al., 1971). As absorções responsáveis por esta opacidade são descritas por Strens e Wood (1979).

Para a magnetita, as absorções são atribuídas às transferências de cargas ($Fe^{2+} \Rightarrow Fe^{3+}$); $Fe^{3+} \Rightarrow O$; $Fe^{2+} \Rightarrow O$) e às transições intra-íons (Fe^{2+} ; Fe^{3+}).

Para a ilmenita, as absorções são atribuídas às transferências de carga $Fe^{2+} \Rightarrow O$, $Ti^{4+} \Rightarrow O$ e $Fe^{2+} \Rightarrow Ti^{4+}$; assim como às transições intra-iônicas Fe^{2+} . O efeito conjunto destes eventos é ainda realçado pela presença de bandas de absorção pelos íons metálicos (ferro e titânio) que cobrem o UV e o visível (Hunt et al., 1971). As Figuras 4.5 e 4.6 ilustram os espectros destes dois minerais.

(-) *Quartzo*

O quartzo puro não apresenta nenhum evento (feição) espectral no domínio do visível-IVP como mostra a Figura 4.7.

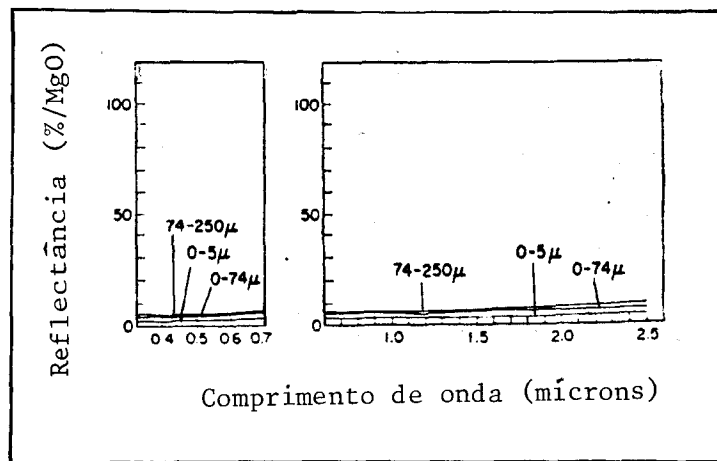


Figura 4.5 - Curva de reflectância espectral da magnetita.
 Fonte: Hunt et al. (1971)

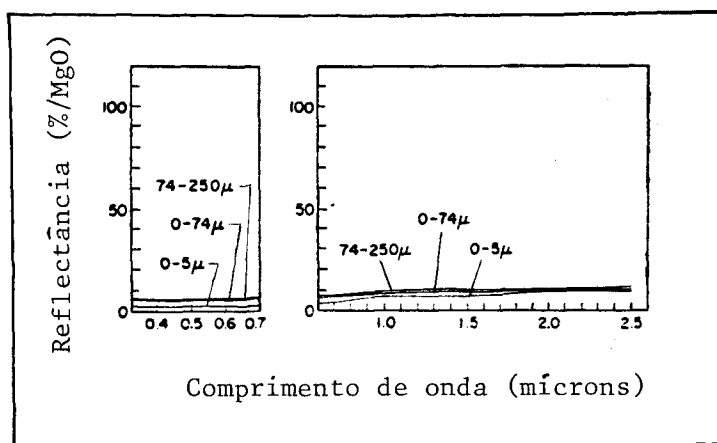


Figura 4.6 - Curva de reflectância espectral da ilmenita.
 Fonte: Hunt et al. (1971)

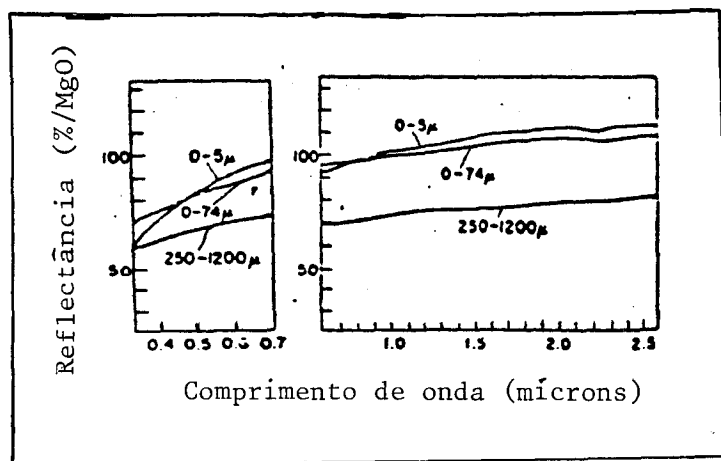


Figura 4.7 - Curva de reflectância espectral do quartzo.
Fonte: Hunt e Salisbury (1970)

5. - MATERIAL E MÉTODOS

5.1 - O sistema de aquisição

O sistema sensor utilizado neste trabalho foi o "Dual Field of View Mark IV Infra-Red Intelligent Spectroradiometer", ou IRIS, fabricado pela GER-Geophysical Environmental Research Corp. Este espectrorradiômetro é um sistema feito para pesquisas e aplicações em todos os ambientes, compacto, semi-portátil e controlado por microcomputador.

É um sistema que faz visada para dois alvos *simultaneamente*, de modo que diferenças entre dois materiais possam ser medidas com precisão, sem os problemas devidos a flutuações na fonte de radiação. O projeto "dual beam" resulta em maior fluxo de energia e confiabilidade de sinal do que os instrumentos de varredura "single beam" (feixe único) ou "beam switching" (feixe ajustável). O sistema do espectrorradiômetro é projetado com três grades movidas por um motor de passo simples.

O instrumento cobre a janela espectral de 300 nm a 3,0 micron numa varredura contínua, durante a qual dois espectros são adquiridos, um em cada FOV ("field of view"). As mudanças de filtros e de detectores são feitas automaticamente para acomodar a larga faixa de frequências desde o ultravioleta até o infravermelho médio.

A resolução espectral é de 2 nm entre 300 nm e 1000 nm e de 4 nm na região entre 1,0 e 3,0 micron, sendo que pode ser variada pela mudança de grades.

O sistema é operado por um microcomputador IBM-PC programado para fazer medições, digitalizar os dados, armazená-los em memória CPU (unidade central de processamento), bem como para fornecer saídas em disquetes. O microcomputador monitora o nível de sinal em qualquer canal espectral e seleciona um entre os três ganhos disponíveis. No modo de controle automático de ganho, o sistema é muito sensível aos sinais mais fracos, porém não saturará nos sinais fortes. O operador não necessita fazer tais ajustes. Toda a aquisição de dados é controlada pelo microprocessador, de modo que não há necessidade de ajustes para sensibilidade e para outros parâmetros, sendo que o ganho automático previne quanto à saturação ou à perda de sensibilidade.

A radiação recebida é modulada em fase e direcionada por um sistema de interrupção através do mesmo sistema óptico para dois detectores paralelos. O sistema processa os sinais analógicos em paralelo através de sistemas detectores sensíveis ao tipo de fase, e com filtragem eletrônica de banda estreita. Os dois sinais de saída são amostrados simultaneamente e convertidos para dados digitais no microcomputador. Os dois arquivos de dados são armazenados e registrados para posteriores processamentos como espectros individuais calibrados para radiância, ou como uma relação simples calibrada em termos de reflectância percentual.

Usou-se o espectrorradiômetro IRIS numa configuração de laboratório para obtenção do fator de reflectância bidirecional dos solos (Figura 5.1). A cabeça sensora é conectada com um microcomputador, no qual está implementado o software "Master" (GER, s.d.), que gerencia todas as operações do equipamento.

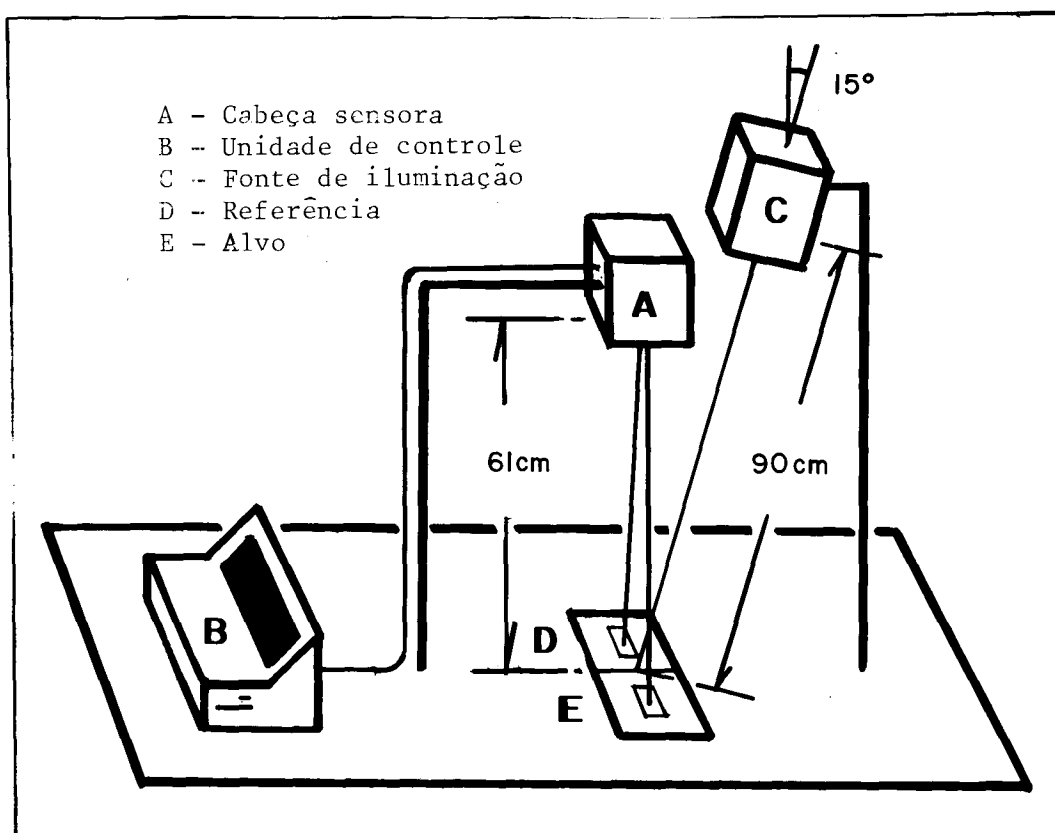


Figura 5.1 - Configuração do sistema de medição.

A cabeça sensora do IRIS estava colocada numa posição vertical a cerca de 61 cm de distância sobre a amostra, definindo uma área amostrada retangular de

aproximadamente 5 cm x 2 cm. A fonte de iluminação, uma lâmpada halógena de iodeto de tungstênio de 600 W de potência, com feixe não colimado para o plano visado, estava posicionada a cerca de 90 cm do recipiente amostral e com um ângulo zenital de 15° (Figura 5.1).

Usou-se como padrão de referência uma placa de spectralon cinza (50% de reflectância) (Labsphere, s.d.) sobre a qual eram realizadas quatro leituras. Cópia do Certificado de Calibração desta placa cinza bem como mais detalhes sobre a mesma podem ser encontrados no Apêndice I.

5.2 - As amostras de solo

Contou-se para o presente trabalho com 14 classes de solos, correspondentes a horizontes de 54 perfis, num total de 111 amostras. Estas 14 classes representam os solos de maior ocorrência e maior significância pedológica e agrícola do Estado de São Paulo. A Figura 5.2 mostra a distribuição espacial das folhas cartográficas correspondentes às quadrículas de São Carlos (Oliveira e Prado, 1984), Araras (Oliveira et al., 1982), Piaracicaba (Oliveira e Prado, 1989), Campinas (Oliveira et al., 1979), Guaiá (Oliveira e Prado, 1991) e Ribeirão Preto (Oliveira e Prado, 1987) de onde foram extraídas as referidas amostras de solos, as quais provieram de levantamentos pedológicos executados pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC/Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo). Dispõe-se, portanto, de análises físicas, químicas e mineralógicas, bem como das descrições morfológicas próprias destes levantamentos. As amostras consideradas foram preferencialmente as dos horizontes superficiais e sub-superficiais (A e B), para cada perfil, uma vez que se pretendeu fazer uma avaliação das variações espectrais que ocorrem de um para outro horizonte.

As amostras de solo foram estudadas na condição de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), peneiradas através de malha de 2 mm. Para as medições espectrorradiométricas, as amostras foram acondicionadas em recipientes de PVC quadrados, de 12,8 cm x 12,8 cm, com profundidade de cerca de 1 cm e com a parte interna pintada com tinta preta a fim de evitar reflexões de fundo. A camada de solos em cada recipiente era suficientemente espessa para obscurecer o fundo do recipiente e assegurava que somente solo estava sendo visado pelo sensor. As dimensões do recipiente foram selecionadas de modo a garantir que o retângulo correspondente ao FOV projetado (5 cm x 2 cm) do IRIS sobre a amostra. Na geometria usada (Figura 5.1), atingia-se a amostra com suficiente margem de segurança.

Uma vez que as amostras de solo estão na condição de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), a umidade remanescente é classificada como umidade higroscópica.

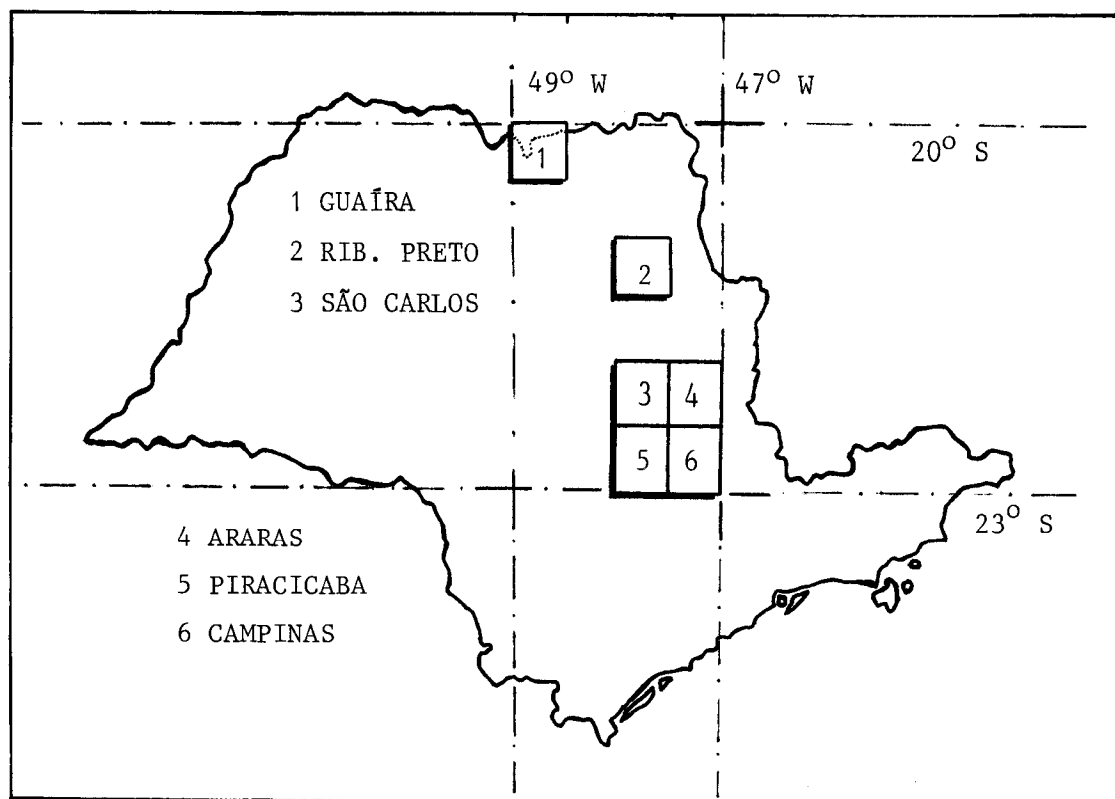


Figura 5.2 Distribuição espacial das quadrículas geográficas que contêm os solos em estudo.

Esta foi determinada pelo método gravimétrico, e conforme recomenda Kiehl (1979), a secagem foi feita em estufa a 110°C por 48h. Uma vez que se trabalhou com um número grande de amostras, apenas 10 foram selecionadas aleatoriamente para tal determinação, cuja média foi atribuída a todo o conjunto de amostras. Este dado tem como finalidade única um controle geral da umidade do material estudado.

Paralelamente, foi realizado um pequeno experimento visando a observação do efeito de variações da umidade sobre a reflectância dos solos. Para este ensaio, foram selecionadas 3 perfis com características físico-químicas distintas. Houve a preocupação em se selecionarem solos que tivessem apresentado curvas com diferentes aspectos. As amostras foram selecionadas de modo que se observassem comportamentos espectrais pertencentes aos 3 tipos de curva espectral de solo classificados por Madeira Netto (1991). Foram selecionadas, assim, 6 amostras correspondentes aos horizontes de superfície e de subsuperfície de três perfis pertencentes a importantes classes de solos.

Estas amostras foram molhadas até o ponto de saturação e preparadas para novas leituras radiométricas, que foram feitas simultaneamente à

determinação gravimétrica da umidade. Esta nova série de leituras/determinações foi repetida em três ocasiões intercaladas com períodos de secamento natural das amostras, feito ao ar por algumas horas. Como resultado, para cada uma destas amostras, foi obtido um conjunto de três reflectâncias espectrais associadas, cada uma, a um nível de umidade.

5.3 - Métodos de aquisição

No item 3.2 deste trabalho, foi explicado o uso de um Fator de Intercalibração (FIC). Este FIC teve como finalidades: (a) uniformizar possíveis diferenças de respostas fornecidas pelas duas cabeças sensoras internas do IRIS; e (b) controlar efeitos de interferências de fontes externas (ambiente do laboratório) que causam incidência de radiação difusa diferencialmente sobre o plano amostral (placa cinza e amostra de solo). Devido ao grande número de amostras, eram previstos vários dias de medições, ao longo dos quais as condições do laboratório poderiam ser modificadas. Portanto, foi adotada uma marcha metodológica em que cada período de medições, aqui denominada sessão, tivesse um FIC associado, independente da próxima sessão.

Antes de iniciar cada sessão, a qual era composta de cerca de 6 amostras, eram coletadas 4 leituras (em 4 posições diferentes dadas por giros de 90 graus em relação à posição anterior) sobre uma placa branca de spectralon (dimensões de 25,4 cm x 25,4 cm), com a finalidade de se obter o fator de intercalibração (FIC) da sessão (mais detalhes sobre a placa branca de spectralon podem ser encontrados no Apêndice II). O uso da placa 100% aqui se deve ao seu tamanho maior que permite o posicionamento dos dois FOV sobre ela.

Para uma determinada sessão de medições, após as leituras para a obtenção do FIC, foram realizadas quatro medições sobre cada amostra de solo, em quatro posições diferentes (dadas por giros de 90 graus do recipiente que continha a amostra).

As repetições de leitura tiveram como finalidade suavizar os ruídos aleatórios intrínsecos aos detectores. Além disso, para a obtenção do FIC, a média das quatro repetições sobre a placa de spectralon branca serviu para reduzir os efeitos de eventuais singularidades na distribuição espacial da reflectância pela superfície da referida placa. Uma eventual irregularidade numa certa posição da placa (onde possivelmente um dos detectores do IRIS estivesse visando numa determinada leitura) geraria uma relação entre as respostas dos detectores (alvo/referência) diferente daquela que de fato ocorre. Assim, tomando-se a média das leituras tomadas em mais de uma posição da placa, o efeito final das irregularidades tende a se tornar nulo. Já no caso das amostras de solos, as

repetições serviram para se ter leituras sobre uma quantidade maior de superfície amostral, uma vez que, embora se adotassem cuidados especiais quanto à uniformização desta superfície, quase sempre houve alguma heterogeneidade.

5.4 - Processamento dos dados

Para referência das medições espectrais dos solos usou-se uma placa cinza de spectralon. Como pode ser verificado no Apêndice I, o Certificado de Calibração da placa cinza fornece os fatores de reflectâncias espectrais hemisféricos para a faixa de 250 a 2500 nm, porém a intervalos de 50 nm. Assim, inicialmente foi necessário fazer interpolação de modo a se obterem os fatores de reflectância para os 875 comprimentos de onda do radiômetro IRIS, devido à sua maior resolução espectral. A reflectância da placa cinza é próxima de 50%, com uma variação, em função de comprimento de onda, entre 50,1% e 56,7%. Este arquivo interpolado referente aos fatores de reflectância da placa cinza é designado aqui como sendo o Fator de Calibração Absoluta (FCA).

Para cada sessão de medições, foram feitas as seguintes leituras:

- (a) quatro repetições sobre a placa branca de spectralon, para a obtenção do Fator de Intercalibração dos detectores (FIC); e,
- (b) quatro repetições sobre cada conjunto "placa cinza + amostra de solo", para a obtenção do Fator de Reflectância Relativo à placa 50% (FRR).

Com estes dados, foram feitas as médias das repetições, a fim de se obterem os valores "FIC médio" e "FRR_i médio". Assim, o fator de reflectância de uma amostra i (FRBD _{i}) é dado pela equação:

$$FRBD_i = [(FRR_i \text{ médio}) / (FIC \text{ médio})] \times (FCA)$$

Considerando que estes cálculos devem ser aplicados para várias repetições em 875 comprimentos de onda, constata-se que o volume de dados processados foi muito grande, tendo sido necessário o emprego de técnicas computacionais envolvendo programação a fim de tornar o processo mais rápido e automático. Assim, ressaltando que cada sessão de medições foi tratada individualmente, o processamento dos vários arquivos destes dados consistiu

basicamente das seguintes etapas: (a) conversão dos dados de saída do IRIS para o formato ASCII, através do programa MASTER (GER, s.d.) (este programa faz parte dos "softwares" fornecidos pelo próprio fabricante do equipamento e são destinados a um tratamento preliminar das saídas do IRIS; mais detalhes sobre os programas associados ao espectrorradiômetro IRIS podem ser encontrados no manual do IRIS, GER, s.d.); (b) transformação desta saída ASCII para uma equivalente, porém em duas colunas (comprimento de onda e fator de reflectância), compatível com planilhas e programas gráficos; c) cálculo da média dos quatro fatores de intercalibração, medidos sobre a placa branca de spectralon, daquela sessão para a obtenção do FIC médio; (d) cálculo da média dos Fatores de Reflectância Relativos à placa cinza (FRRi médio) para cada solo (i) daquela sessão; (e) aplicação do FIC aos FRRs das amostras correspondentes; e (f) aplicação do Fator de Calibração Absoluta (FCA) da placa cinza.

Como resultado deste processamento, obtiveram-se 111 arquivos de FRBD, constituídos de uma coluna referente aos comprimentos de onda e de outra coluna referente aos respectivos FRBDs dos solos estudados. Com os FRBDs assim calculados, procedeu-se à confecção de gráficos, que são mostrados neste Relatório e que serviram de base para as discussões segundo os vários aspectos relacionados com o comportamento espectral dos solos em estudo.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 - Apresentação

Os resultados serão apresentados sob diversas formas. Os gráficos contendo as curvas espectrais dos solos acham-se agrupados num só bloco. Tal disposição visa facilitar a consulta a uma curva espectral específica ou mesmo a comparação entre diversas curvas. A disposição dos solos obedeceu a um agrupamento por tipo de solo, começando pelo Latossolo Roxo e terminando com o Hidromórfico. Dentro do tipo de solo os horizontes ou camadas estão juntos para cada perfil. Assim, há 111 curvas espectrais (Figuras 6.1 a 6.55) individualizadas por horizonte ou camada, e ordenadas por perfil e por tipo de solo. Tais curvas espectrais referem-se a amostras secas ao ar. Sempre que possível, as curvas espectrais do perfil foram dispostas numa única página.

Outra forma de apresentação dos resultados refere-se aos dados físico-químicos das amostras. Tais informações, ao invés de estarem separadas num bloco, encontram-se dispostas ao lado das curvas espectrais. Assim, numa única página, ao analisar um dado gráfico, têm-se imediatamente ao lado as características importantes da amostra.

Na parte referente ao experimento de umidade, as respectivas curvas espectrais foram inseridas no momento da discussão.

Finalmente, numa tentativa de permitir um relacionamento visual da cor do solo com suas propriedades físico-químicas e espectrais, são apresentadas duas pranchas coloridas contendo fotografias da maioria das amostras de solo estudadas.

Para maior facilidade de identificação das informações contidas nas diversas formas de apresentação, dá-se a seguir uma explicação pormenorizada sobre as identificações e notações usadas. Cada gráfico contendo a curva espectral tem no canto superior direito uma indicação contendo três campos separados por barras (por exemplo, 32/LE*/4). O primeiro campo indica um número de ordem, variando de 1 a 111, para facilidade de acesso aos dados. Sempre que possível, as amostras serão referidas por tal número. O segundo campo contém uma denominação abreviada do solo. Quando não se tem o perfil descrito em relatório já publicado, mas apenas classificado preliminarmente, tal denominação vem acompanhada de um asterisco. O terceiro campo indica a camada, horizonte ou

**Figuras 6.1 a 6.55 - Curvas de fator de reflectância bidirecional
espectral das 111 amostras de solos.**

Perfil n° 1245 (curvas 1 e 2)

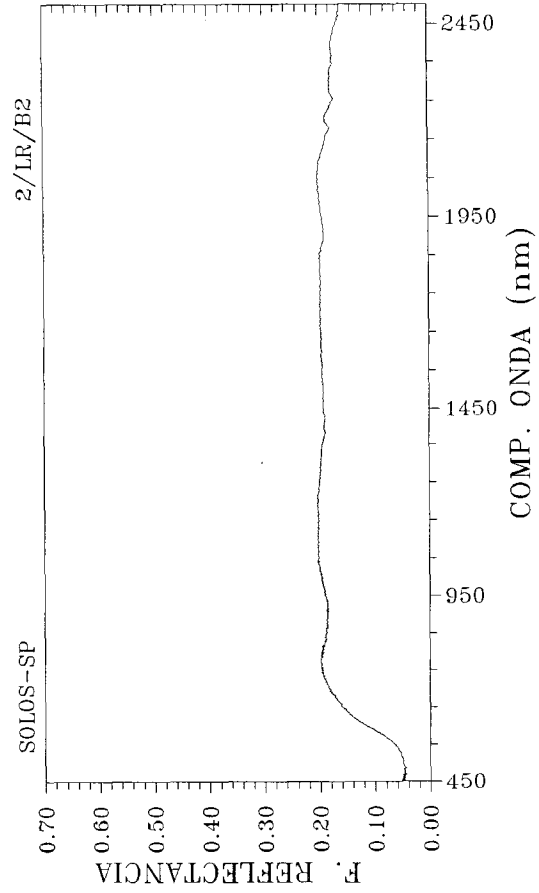
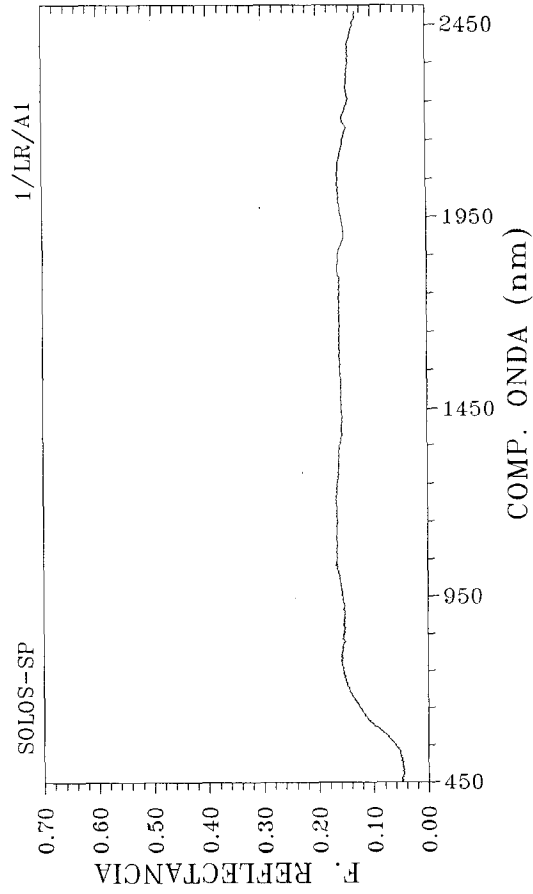
Classe de solo: Latossolo Roxo (LR)

Relatório: Araras, pg. 39.

Horizonte	A1	B2
Areia grossa (%)	6	4
Areia fina (%)	23	22
Silte (%)	17	10
Argila (%)	54	64
pH (H ₂ O)	7,3	5,0
S	17,8	1,4
T	18,5	6,2
C (%)	3,0	0,9
N (%)	0,32	0,06
Fe ₂ O ₃	21,3	23,5
Al ₂ O ₃	10,5	11,4
SiO ₂	11,5	11,3
TiO ₂	7,4	8,5

Cor Munsell	2,5YR 3/4	2,5YR 3/6
Nome	Br-Vmd-e	Vm-e
C.I.E./x	0,39	0,41
C.I.E./y	0,33	0,34
Brilho (%)	7,0	8,0
Pureza (%)	24,6	31,4
Comp.onda dom.	597,5	596,9

Obs.: Proveniente de decomposição de diabásio com provável remanejamento. Perfil sob mata.



Perfil n° 3094 (curvas 3, 4 e 5)

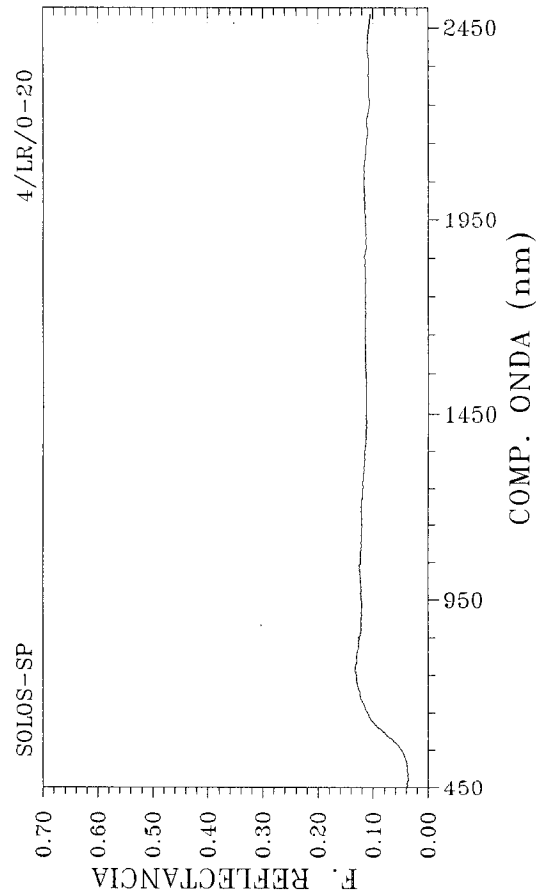
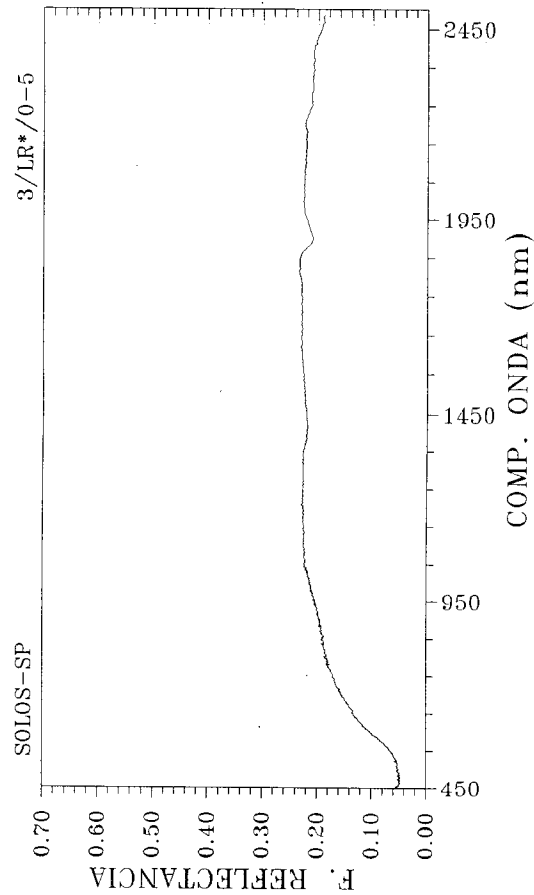
Classe de solo: Latossolo Roxo (LR)

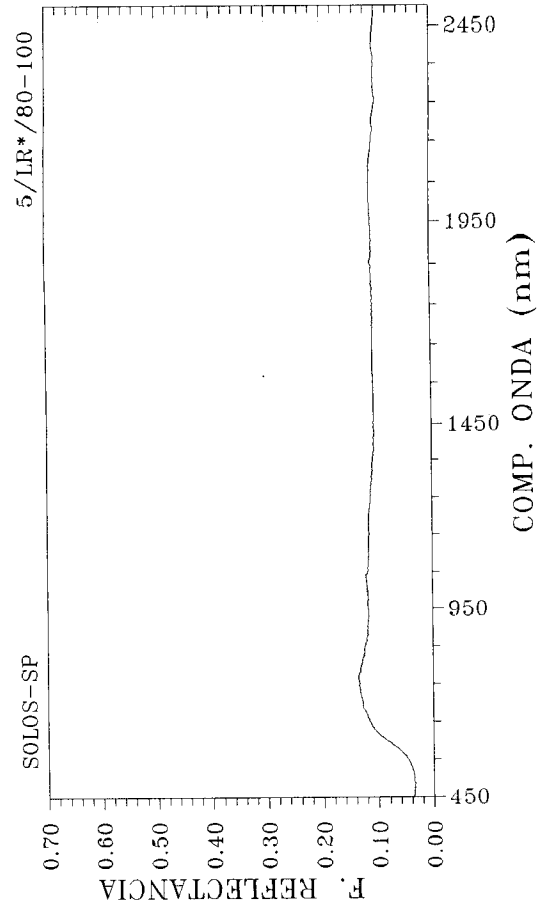
Localização: Quadrícula de Guaira

Camada	0-5	0-20	80-100
Areia grossa (%)	9	10	5
Areia fina (%)	11	16	12
Silte (%)	27	17	20
Argila (%)	53	57	63
pH (H ₂ O)	5,8	5,2	5,1
S	11,3	1,2	0,2
T	19,0	7,3	2,5
C (%)	30,2	2,0	2,0
N (%)	...	...	...
Fe ₂ O ₃	...	...	...
Al ₂ O ₃	...	...	...
SiO ₂	...	...	...
TiO ₂	...	...	...

Cor Munsell	2,5YR 3/4	2,5YR 3/6	2,5YR 4/6
Nome	Br-Vmd-e	Vm-e	Vm
C.I.E./x	0,39	0,40	0,40
C.I.E./y	0,34	0,34	0,34
Brilho (%)	7,6	5,9	5,8
Pureza (%)	6,1	28,7	30,3
Comp.onda dom.	594,8	596,5	597,9

Obs.: Perfil sob cerradão.





Perfil n° 3095 (curvas 6 e 7)

Classe de solo: Latossolo Roxo (LR)

Localização: Quadrícula de Guaiará

Camada 0-20 80-100

Areia grossa (%)

6

Areia fina (%)

13

Silte (%)

20

Argila (%)

61

pH (H₂O)

5,7

S

2,5

T

9,9

C (%)

1,8

N (%)

0,7

...

...

...

...

...

Cor Munsell

2,5YR 3/4

2,5YR 3/6

Nome

Br-Vmd-e

Vm-e

C.I.E./x

0,40

C.I.E./y

0,34

Brilho (%)

5,8

Pureza (%)

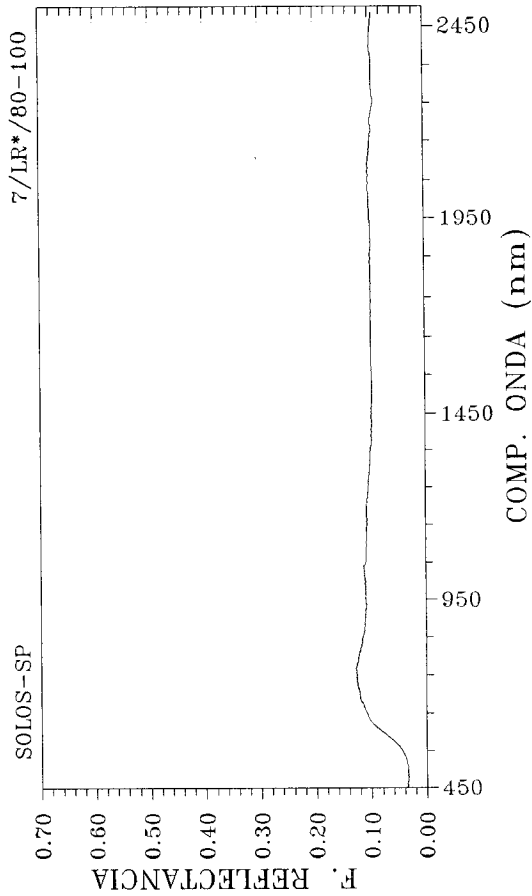
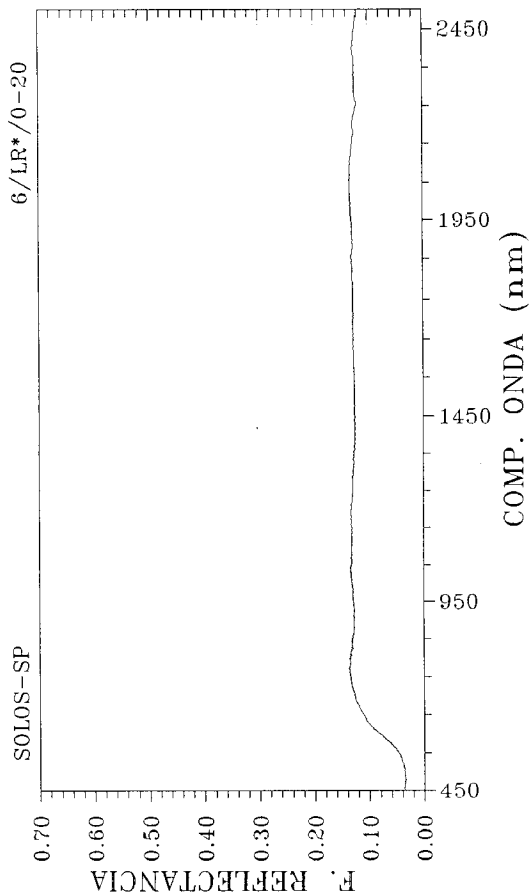
29,0

Comp.onda dom.

597,5

598,6

Obs.: Perfil sob cultura (cana-de-açúcar).



Perfil n° 3103 (curvas 8, 9 e 10)

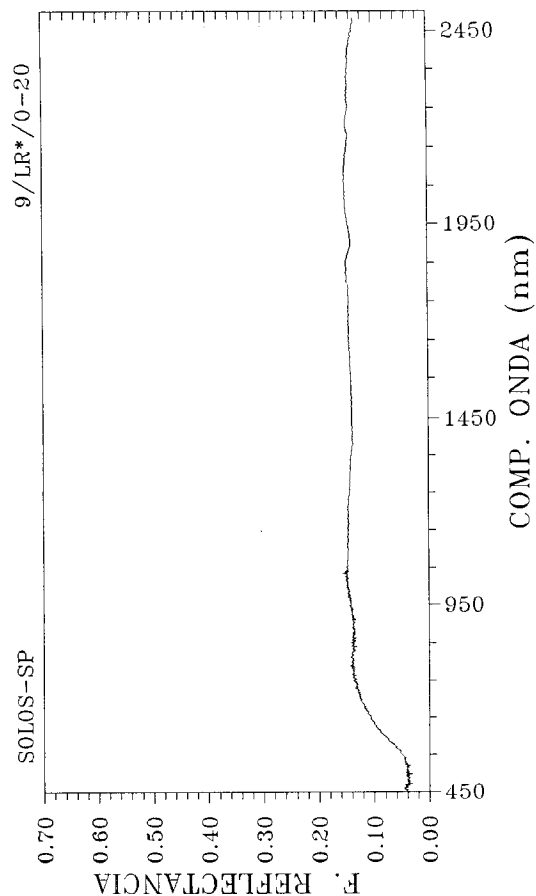
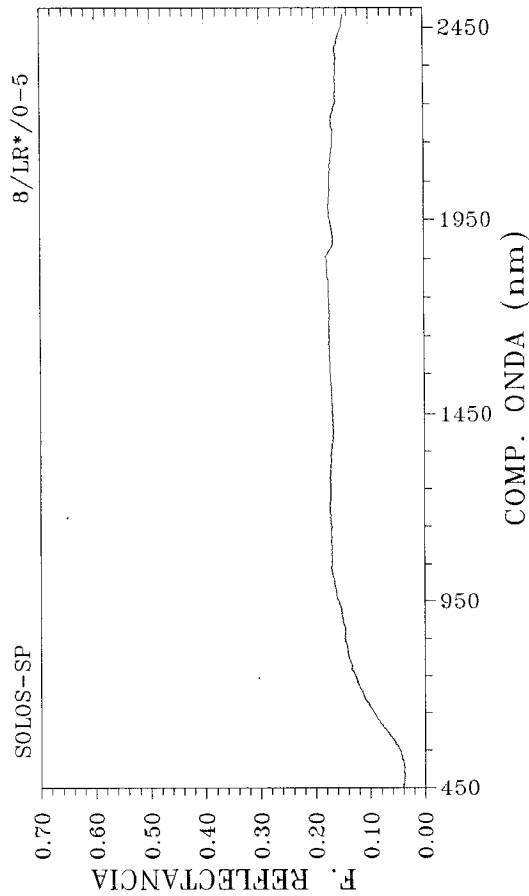
Classe de solo: Latossolo Roxo (LR)

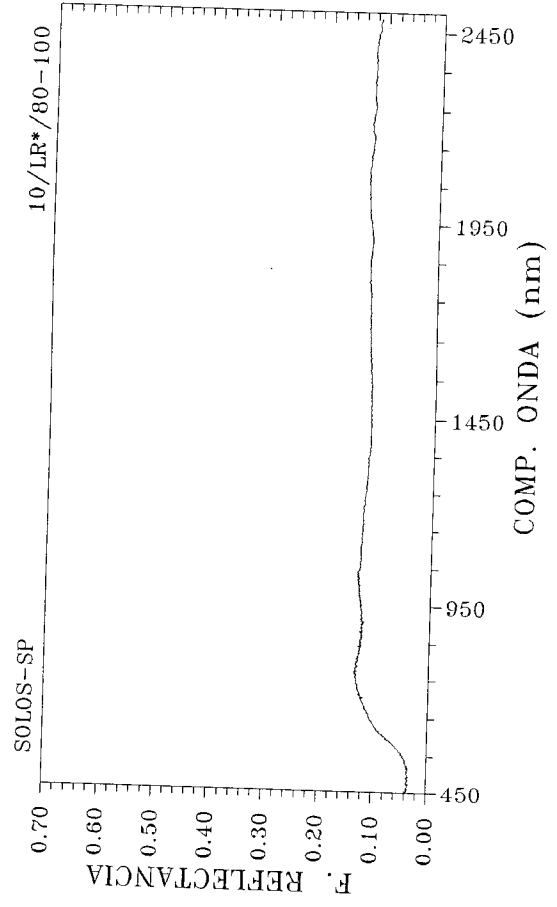
Localização: Quadrícula de Guaira

Camada	0-5	0-20	80-100
Areia grossa (%)	7	10	8
Areia fina (%)	8	6	4
Silte (%)	39	33	23
Argila (%)	51	51	65
pH (H ₂ O)	6,6	6,7	6,2
S	25,9	17,1	4,5
T	28,9	19,7	8,6
C (%)	17,6	24,9	1,4
N (%)	...	...	...
Fe ₂ O ₃	...	...	...
Al ₂ O ₃	...	...	...
SiO ₂	...	...	...
TiO ₂	...	...	...

Cor Munsell	5YR 3/3	2,5YR 3/4	10R 3/6
Nome	Br-Vmd-e	Br-Vmd-e	Vm-e
C.I.E..x	0,37	0,38	0,39
C.I.E..y	0,33	0,33	0,33
Brilho (%)	5,4	5,9	5,4
Pureza (%)	20,5	22,8	25,3
Comp.onda dom.	599,0	601,3	602,6

Obs.: Perfil sob cerradão.





Perfil n° 3104 (curvas 11 e 12)

Classe de solo: Latossolo Roxo (LR)

Localização: Quadrícula de Guaíra

Camada 0-20 80-100

Areia grossa (%) 4

Areia fina (%) 9

Silte (%) 19

Argila (%) 68

pH (H₂O) 6,4

S 8,3

T 11,8

C (%) 2,2

N (%) ...

Fe₂O₃ ...Al₂O₃ ...SiO₂ ...TiO₂ ...

Cor Munsell 10R 3/4 2,5YR 3/6

Nome Vm-e-Czd Vm-e

C.I.E./x 0,39 0,40

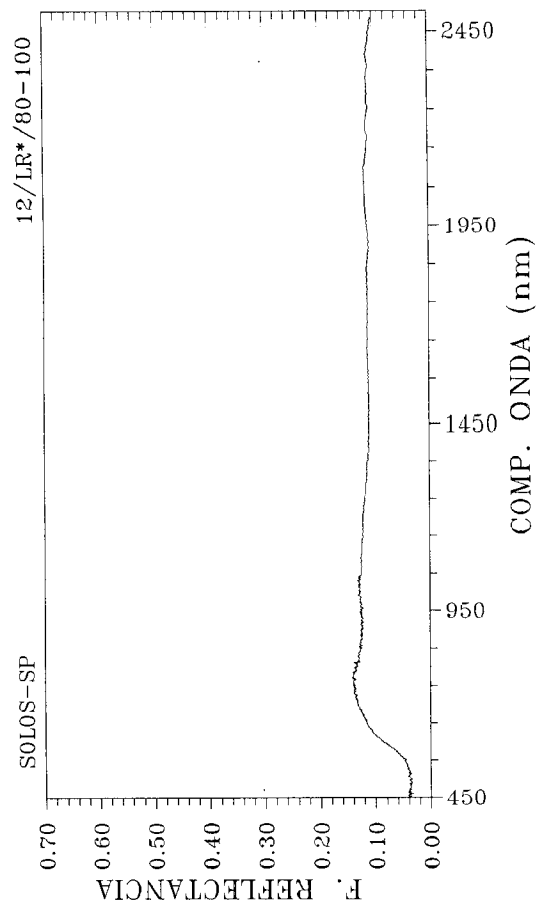
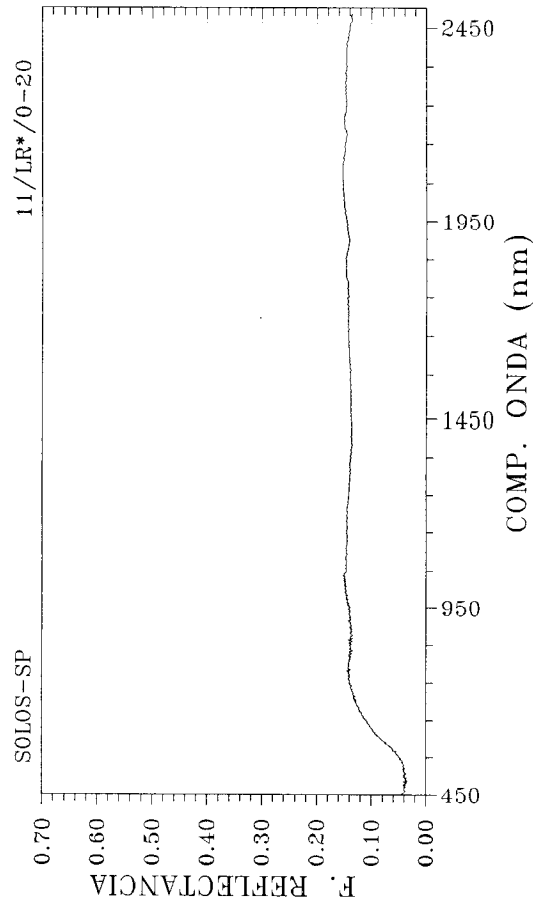
C.I.E./y 0,33 0,33

Brilho (%) 5,9 6,0

Pureza (%) 24,7 27,1

Comp.onda dom. 600,6 600,8

Obs.: Perfil sob cultura (solo arado).



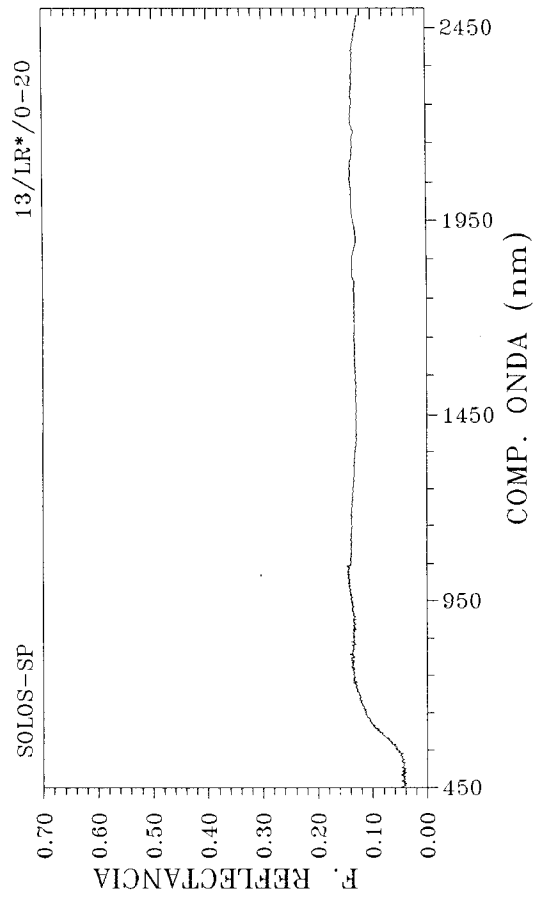
Perfil n° 3162 (curva 13)

Classe de solo: Latossolo Roxo (LR)

Localização: Quadrícula de Guaíra

Camada	0-20
Areia grossa (%)	15
Areia fina (%)	22
Silte (%)	17
Argila (%)	46
pH (H ₂ O)	7,0
S	15,9
T	16,7
C (%)	3,2
N (%)	...
Fe ₂ O ₃	...
Al ₂ O ₃	...
SiO ₂	...
TiO ₂	...
Cor Munsell	2,5YR 3/6
Nome	Vm-e
C.I.E./x	0,39
C.I.E./y	0,33
Brilho (%)	6,4
Pureza (%)	24,8
Comp.onda dom.	597,8

Obs.: Perfil sob mata.



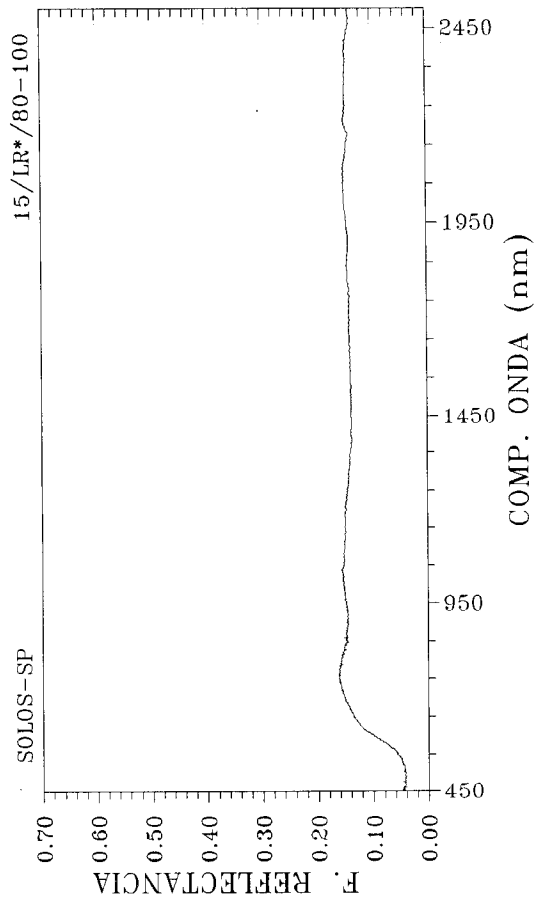
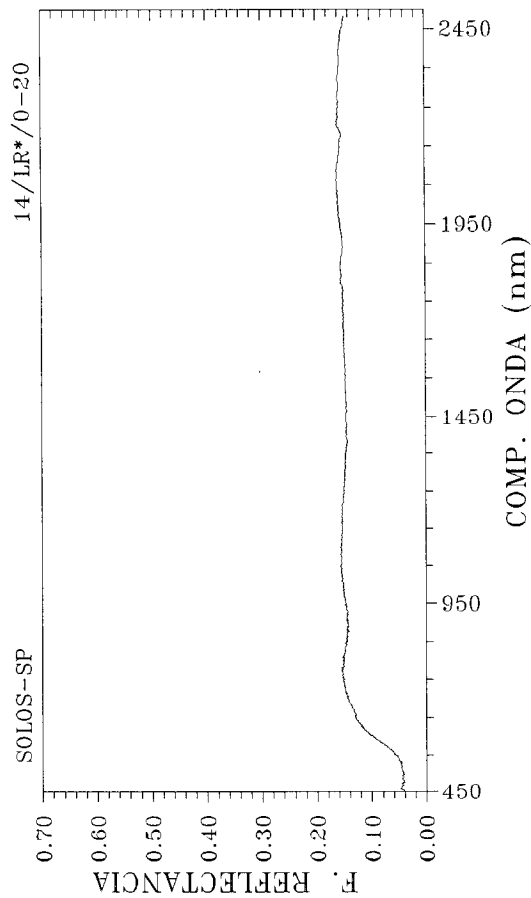
Perfil n° 3163 (curvas 14 e 15)

Classe de solo: Latossolo Roxo (LR)

Localização: Quadrícula de Guaira

Camada	0-20	80-100
Areia grossa (%)	14	12
Areia fina (%)	23	22
Silte (%)	15	14
Argila (%)	48	52
pH (H ₂ O)	5,6	6,1
S	2,9	2,4
T	3,1	2,9
C (%)	1,4	0,4
N (%)	...	...
Fe ₂ O ₃	...	...
Al ₂ O ₃	...	...
SiO ₂	...	...
TiO ₂	...	...
Cor Munsell	2,5YR 3/6	2,5YR 3/6
Nome	Vm-e	Vm-e
C.I.E./x	0,40	0,40
C.I.E./y	0,33	0,33
Brilho (%)	6,9	6,9
Pureza (%)	28,3	28,4
Comp.onda dom.	598,0	599,5

Obs.: Perfil sob cultura (cana).



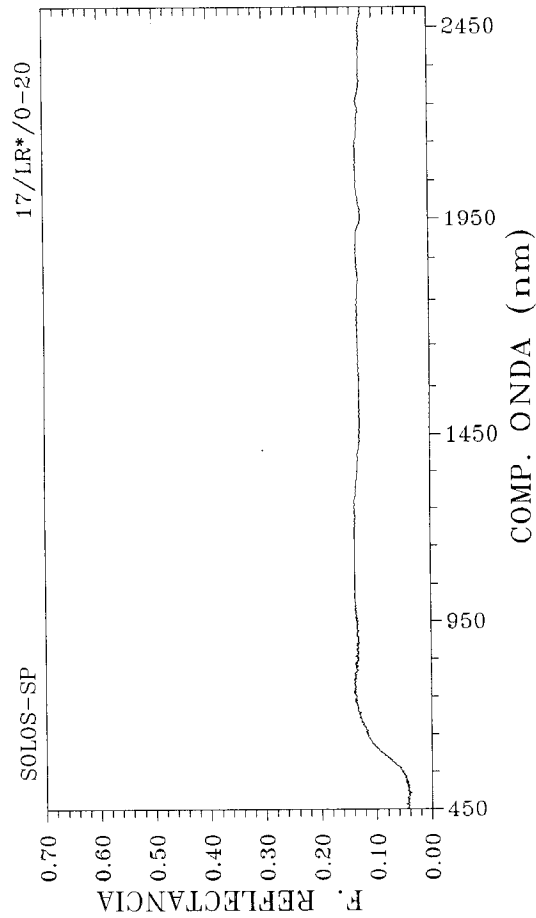
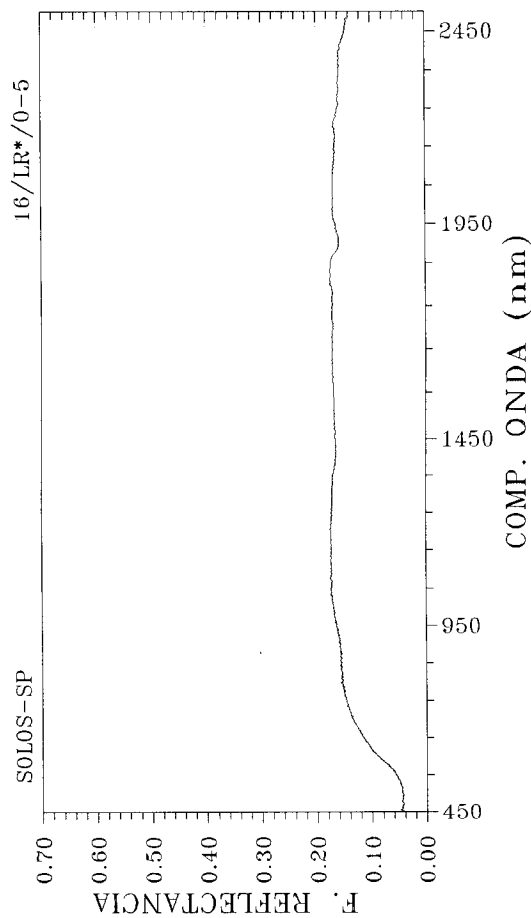
Perfil n° 3196 (curvas 16, 17 e 18)

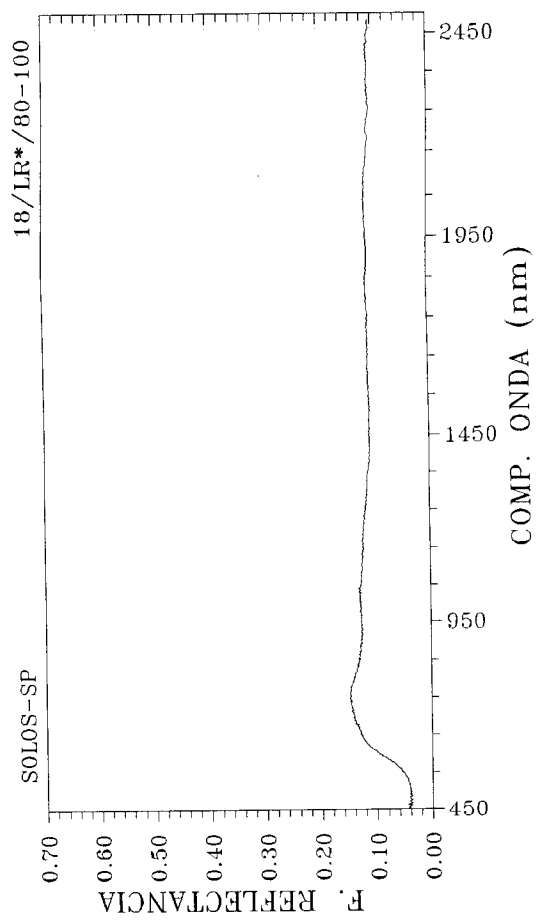
Classe de solo: Latossolo Roxo (LR)

Localização: Quadrícula de Guaira

Camada	0-5	0-20	80-100
Areia grossa (%)	9	7	3
Areia fina (%)	11	10	10
Silte (%)	23	20	20
Argila (%)	57	63	67
pH (H ₂ O)	5,7	5,5	5,1
S	12,9	5,7	0,3
T	18,4	12,0	2,2
C (%)	5,0	3,6	0,8
N (%)	...	...	...
Fe ₂ O ₃	...	...	...
Al ₂ O ₃	...	...	...
SiO ₂	...	...	...
TiO ₂	...	...	...
Cor Munsell	10R 3/4	2,5YR 3/4	2,5YR 3/6
Nome	Vm-e-Czd	Br-Vmd-e	Vm-e
C.I.E./x	0,38	0,39	0,40
C.I.E./y	0,33	0,33	0,34
Brilho (%)	6,6	6,4	6,6
Pureza (%)	23,7	25,1	30,0
Comp.onda dom.	597,7	599,0	598,3

Obs.: Perfil sob cerradão.





Perfil n° 3197 (curvas 19 e 20)

Classe de solo: Latossolo Roxo (LR)

Localização: Quadrícula de Guaiará

Camada 0-20 80-100

Areia grossa (%) 7 6

Areia fina (%) 10 9

Silte (%) 20 18

Argila (%) 63 67

pH (H₂O) 5,3 5,9

S 1,9 2,2

T 6,0 3,2

C (%) 1,6 0,6

N (%)

Fe₂O₃Al₂O₃SiO₂TiO₂

Cor Munsell 2,5YR 3/6 2,5YR 3/6

Nome Vm-e Vm-e

C.I.E./x 0,40 0,40

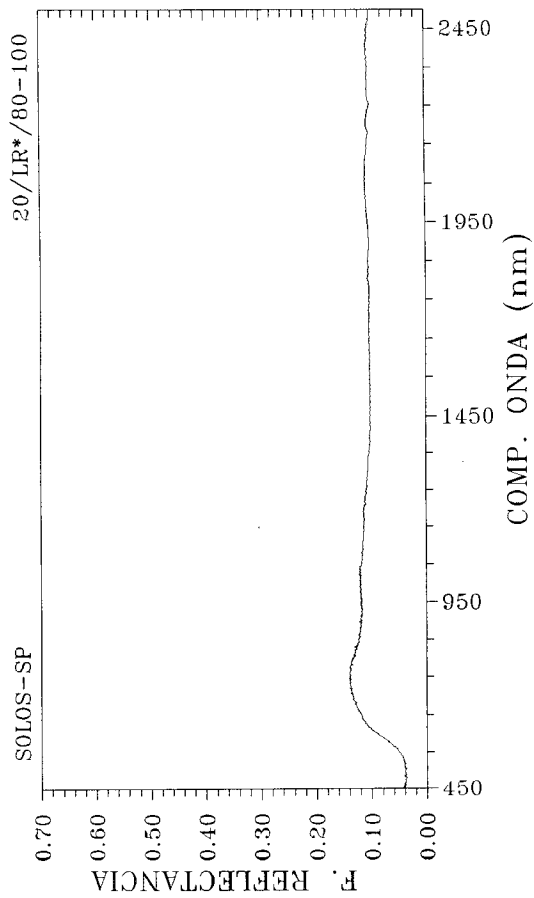
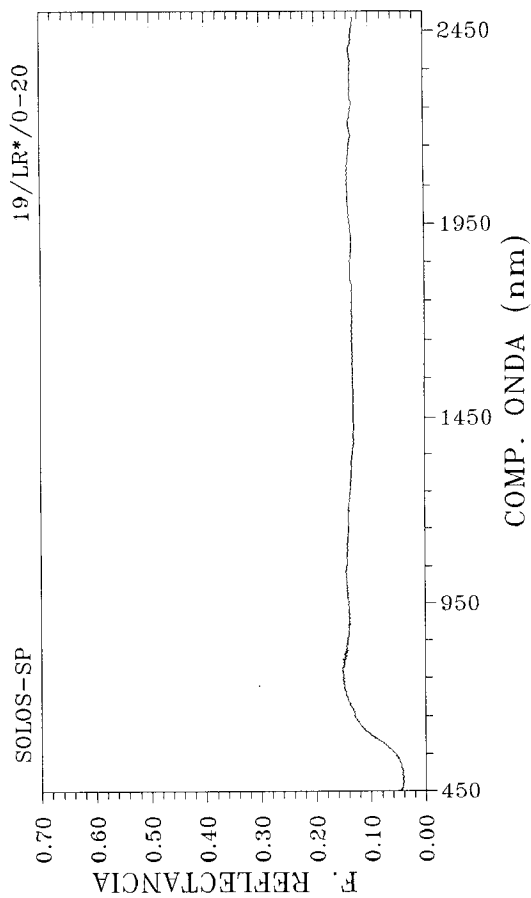
C.I.E./y 0,34 0,33

Brilho (%) 6,8 6,2

Pureza (%) 29,5 26,4

Comp.onda dom. 597,3 601,6

Obs.: Perfil sob cultura (sorgo).



Perfil n° 3214 (curvas 21, 22 e 23)

Classe de solo: Latossolo Roxo (LR)

Localização: Quadrícula de Guaiçara

Camada 0-5 0-20 80-100

Areia grossa (%) 8 5

Areia fina (%) 12 12

Silte (%) 23 18

Argila (%) 57 65

pH (H₂O) 5,8 4,9

S 13,9 0,7

T 20,6 3,1

C (%) 5,6 0,9

N (%)

Fe₂O₃Al₂O₃SiO₂TiO₂

Cor Munsell 2,5YR 3/4 2,5YR 3/6 2,5YR 3/6

Nome Br-Vmd-e Vm-e Vm-e

C.I.E.x 0,38 0,40 0,40

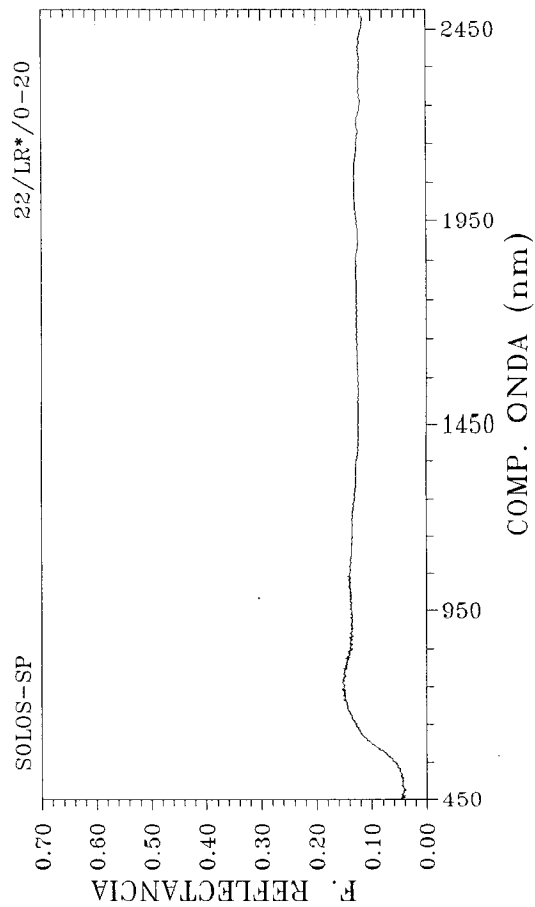
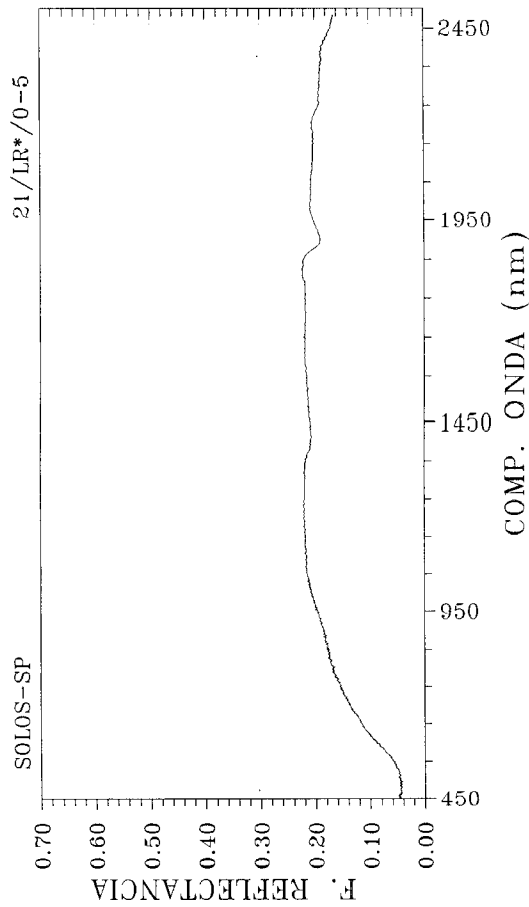
C.I.E.y 0,33 0,34 0,33

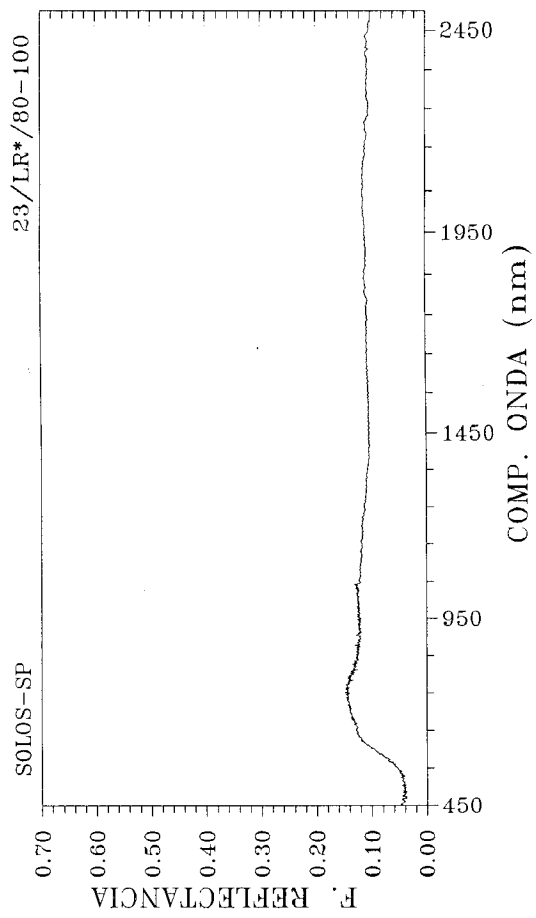
Brilho (%) 6,6 7,0 6,7

Pureza (%) 23,8 28,6 28,7

Comp.onda dom. 596,2 597,1 598,3

Obs.: Perfil sob cerradão.





Perfil n° 3215 (curvas 24 e25)

Classe de solo: Latossolo Roxo (LR)

Localização: Quadrícula de Guaíra

Camada 0-20 80-100

Areia grossa (%) 8 6

Areia fina (%) 13 12

Silte (%) 15 18

Argila (%) 64 64

pH (H₂O) 5,0 5,7

S 1,5 1,9

T 5,7 3,4

C (%) 1,4 0,8

N (%)

Fe₂O₃Al₂O₃SiO₂TiO₂

Cor Munsell 2,5YR 3/6 2,5YR 3/6

Nome Vm-e Vm-e

C.I.E./x 0,40 0,40

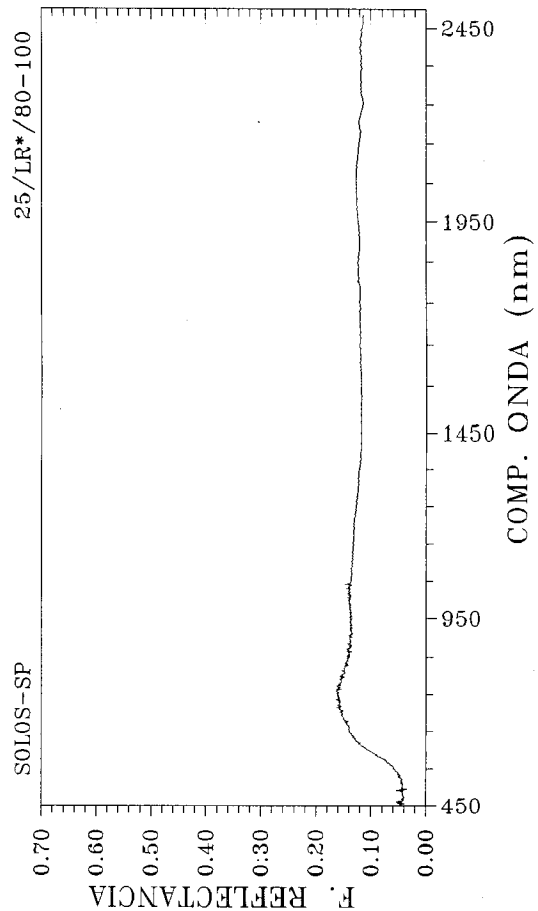
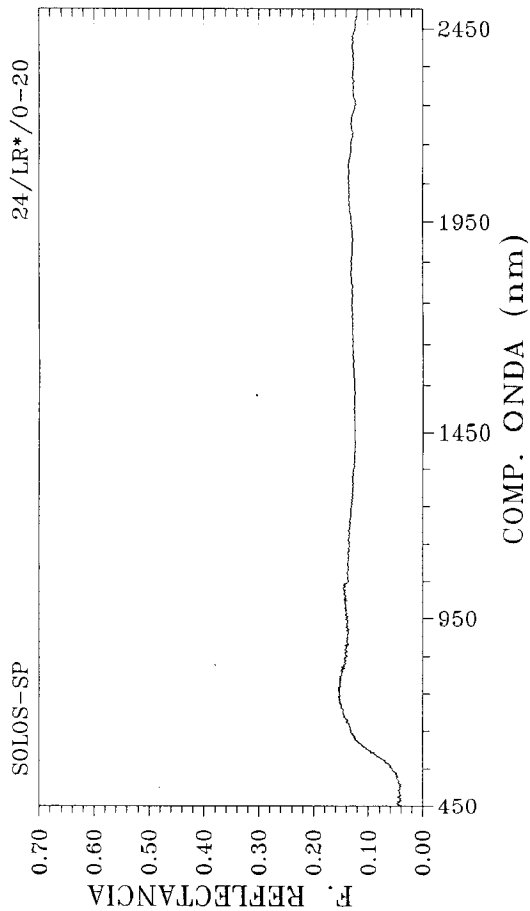
C.I.E./y 0,33 0,33

Brilho (%) 6,9 7,1

Pureza (%) 28,8 29,2

Comp.onda dom. 598,4 599,5

Obs.: Perfil sob cultura (milho).



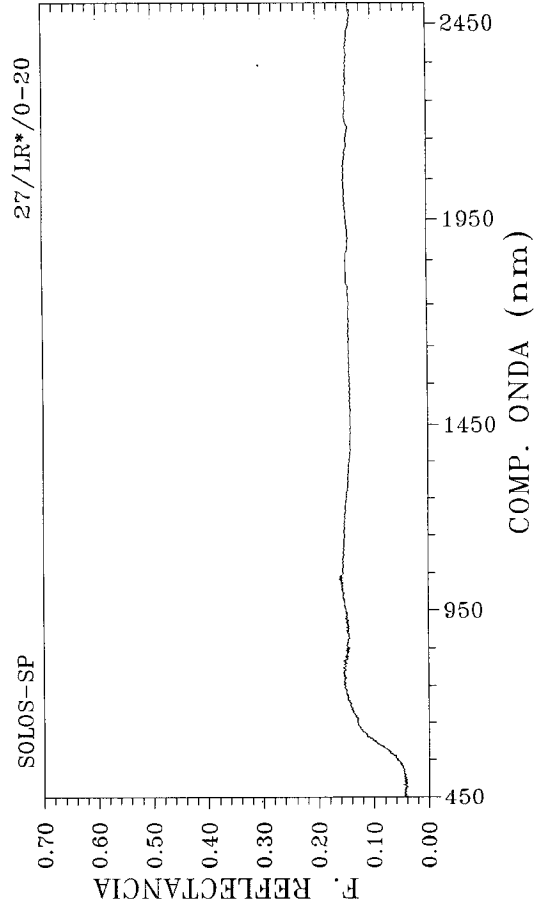
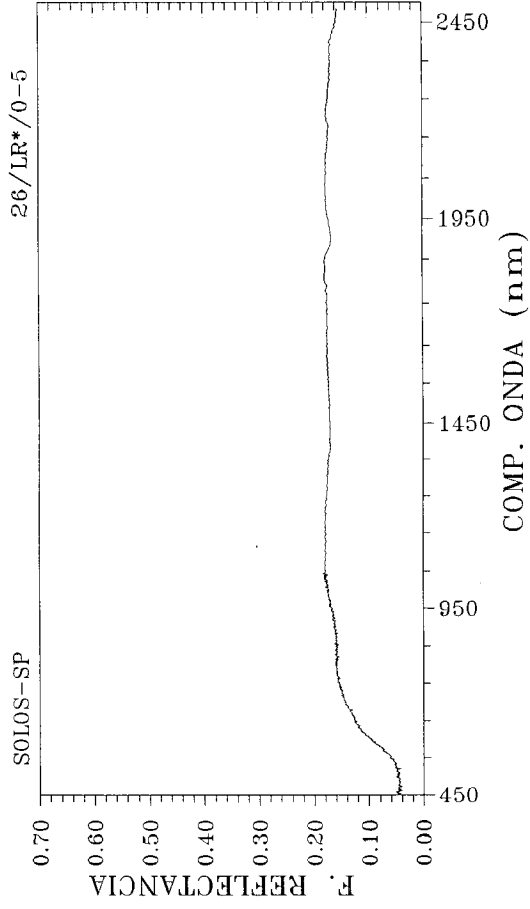
Perfil n° 1164 (curvas 26,27 e 28)

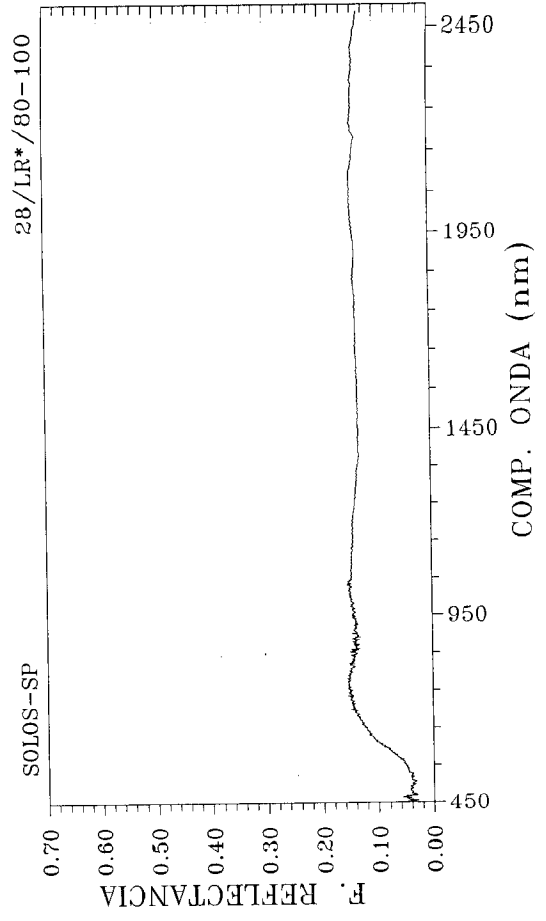
Classe de solo: Latossolo Roxo (LR)

Localização: Quadrícula de Guaira

Camada	0-5	0-20	80-100
Areia grossa (%)	5	4	9
Areia fina (%)	10	11	2
Silte (%)	28	26	20
Argila (%)	57	59	69
pH (H ₂ O)	5,9	5,9	5,5
S	14,5	7,9	1,8
T	20,4	13,5	6,2
C (%)	4,5	2,3	0,8
N (%)	...	...	...
Fe ₂ O ₃	...	...	...
Al ₂ O ₃	...	...	...
SiO ₂	...	...	...
TiO ₂	...	...	...
Cor Munsell	2,5YR 4/4	2,5YR 3/6	2,5YR 3/6
Nome	Br-Vmd	Vm-e	Vm-e
C.I.E./x	0,39	0,40	0,39
C.I.E./y	0,33	0,34	0,32
Brilho (%)	7,1	6,9	6,2
Pureza (%)	25,6	28,5	24,4
Comp.onda dom.	597,5	597,9	605,5

Obs.: Perfil sob mata.





Perfil n° 1165 (curvas 29 e 30)

Classe de solo: Latossolo Roxo (LR)

Localização: Quadrícula de Guaiará

Camada 0-20 80-100

Areia grossa (%) 4 3

Areia fina (%) 11 10

Silte (%) 23 19

Argila (%) 62 68

pH (H₂O) 6,0 6,6

S 6,5 4,8

T 10,8 6,8

C (%) 1,6 0,6

N (%)

Fe₂O₃Al₂O₃SiO₂TiO₂

Cor Munsell 2,5YR 3/4 2,5YR 3/6

Nome Br-Vmd-e Vm-e

C.I.E./x 0,39 0,40

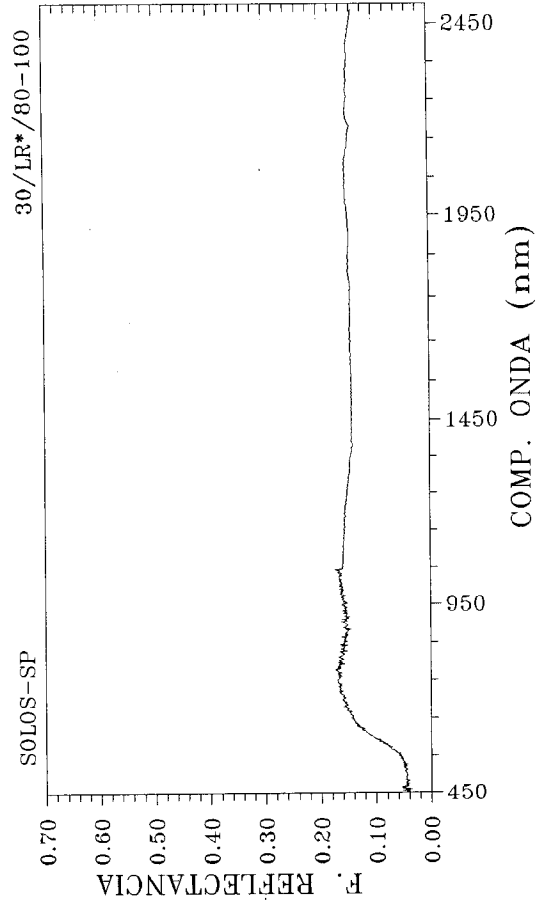
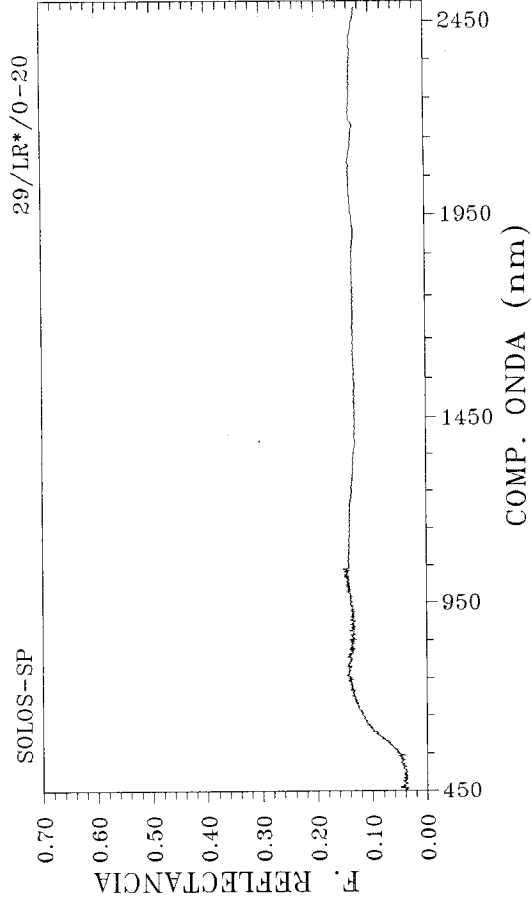
C.I.E./y 0,33 0,34

Brilho (%) 6,3 7,2

Pureza (%) 26,5 29,8

Comp.onda dom. 598,9 598,4

Obs.: Perfil sob cultura (cana-de-açúcar).



Perfil n° 1384 (curvas 31 e 32)

Classe de solo: Latossolo Vermelho-Escuro (LE)

Localização: Quadrícula de Piracicaba

Camada 1 4

Areia grossa (%) 1

Areia fina (%) ...

Silte (%) 24 15

Argila (%) 60 72

pH (H₂O) 5,7 5,0

S 6,3 0,4

T 12,6 5,7

C (%) 2,4 0,8

N (%) 0,14 0,08

Fe₂O₃ 8,3 9,6Al₂O₃ 20,8 21,9SiO₂ 23,9 24,7TiO₂ 2,4 2,5

Cor Munsell 5YR 5/6 2,5YR 5/8

Nome Vm-Amd Vm

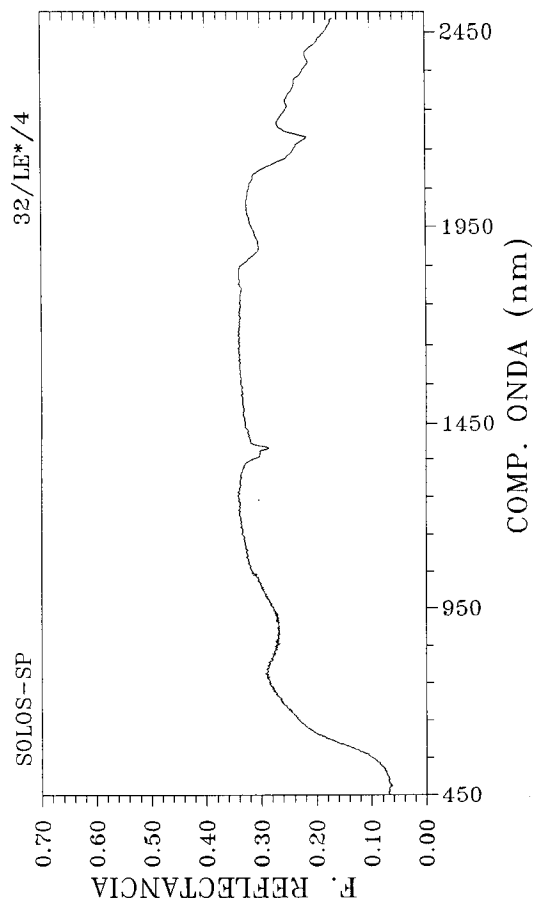
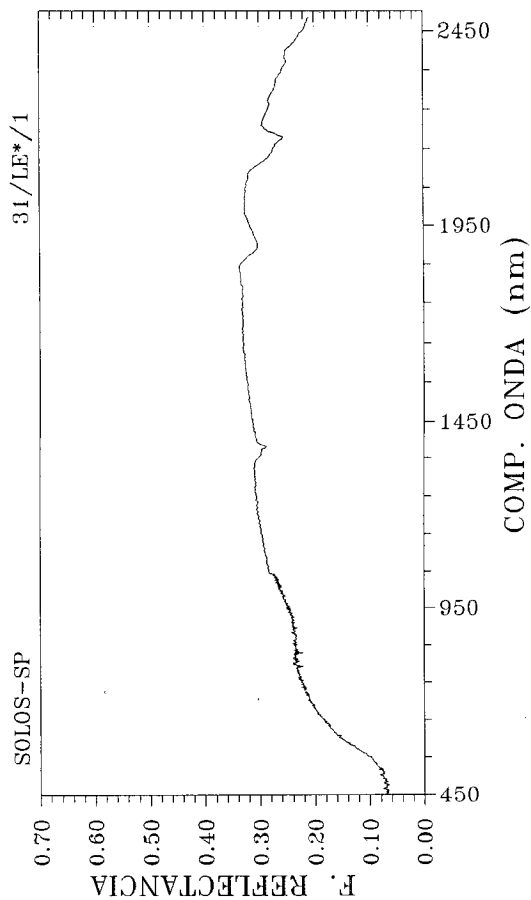
C.I.E./x 0,39 0,41

C.I.E./y 0,35 0,35

Brilho (%) 11,3 12,0

Pureza (%) 30,1 36,3

Comp.onda dom. 589,6 593,2



Perfil n° 1454 (curvas 33 e 34)

Classe de solo: Latossolo Vermelho-Escuro (LE)

Localização: Quadrícula de Guaíra

Horizonte A1 Bw2

Areia grossa (%) 16

Areia fina (%) 29

Silte (%) 10

Argila (%) 45

pH (H₂O) 5,3

S 2,0

T 6,6

C (%) 1,7

N (%) ...

Fe₂O₃ 6,8Al₂O₃ 10,2SiO₂ 12,3TiO₂ 4,0

Cor Munsell 2,5YR 4/4 2,5YR 4/6

Nome Br-Vmd Vm

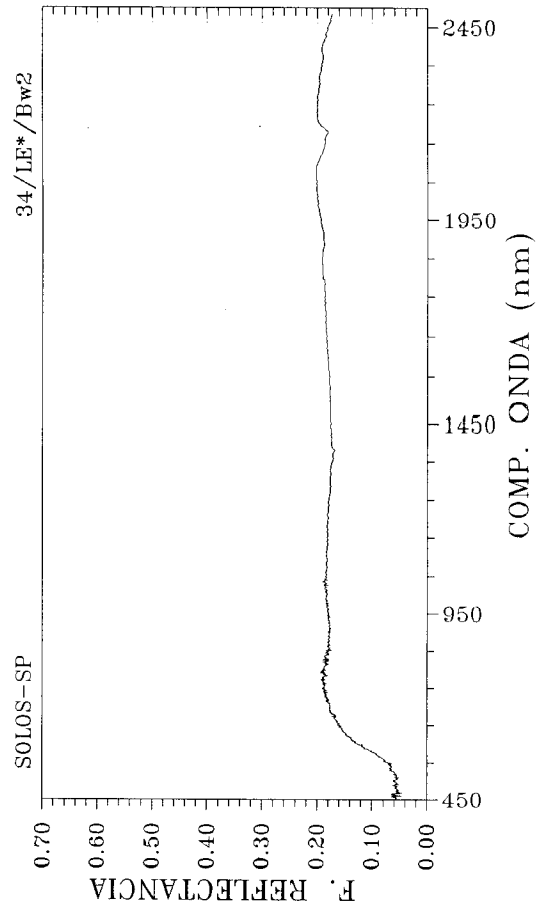
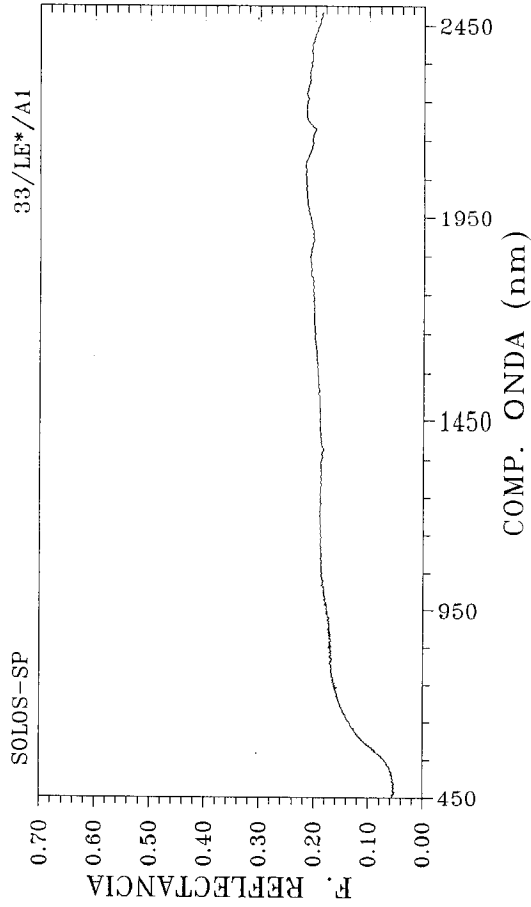
C.I.E./x 0,38 0,40

C.I.E./y 0,34 0,34

Brilho (%) 8,2 8,8

Pureza (%) 25,1 29,0

Comp.onda dom. 594,2 596,1



Perfil n° 1347 (curvas 35 e 36)

Classe de solo: Latossolo Vermelho-Escuro (LE)

Relatório: Ribeirão Preto, pg. 74.

Horizonte Ap B21

Areia grossa (%) 34

Areia fina (%) 18

Silte (%) 6

Argila (%) 44

pH (H₂O) 5,6

S 2,1

T 4,6

C (%) 1,1

N (%) 0,09

Fe₂O₃ 10,4Al₂O₃ 14,0SiO₂ 10,2TiO₂ 1,9

Cor Munsell 2,5YR 4/4 2,5YR 4/6

Nome Br-Vmd Vm

C.I.E./x 0,40 0,40

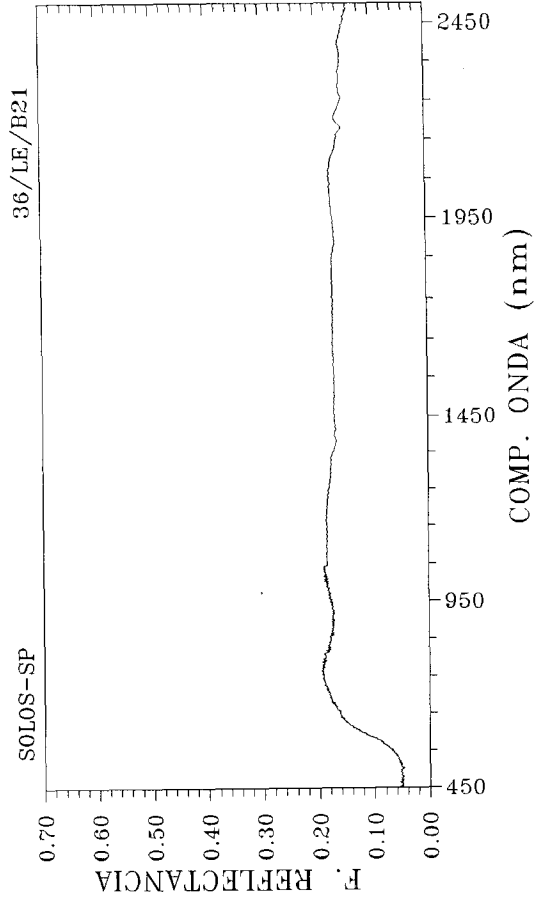
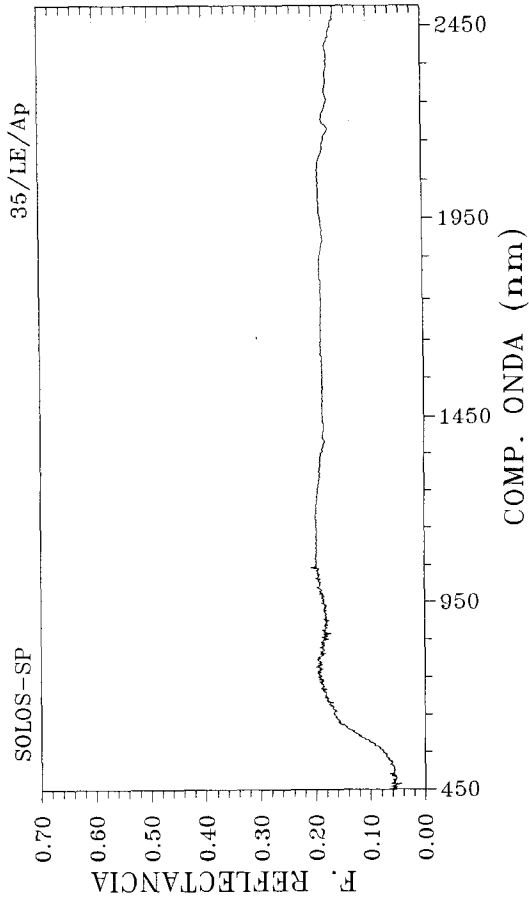
C.I.E./y 0,34 0,34

Brilho (%) 9,1 8,5

Pureza (%) 29,2 30,7

Comp.onda dom. 595,1 597,4

Obs.: Proveniente de diabásio ou basalto com apreciável contribuição de arenitos. Perfil sob pastagem.



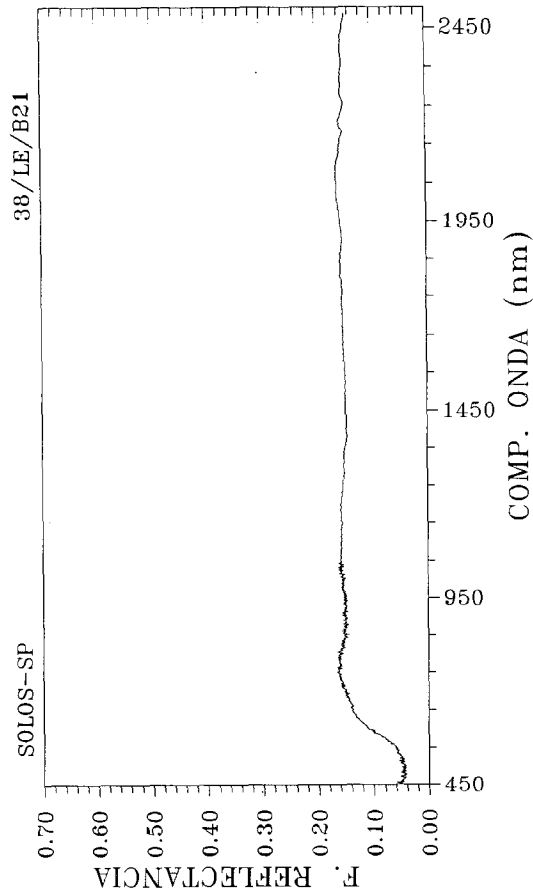
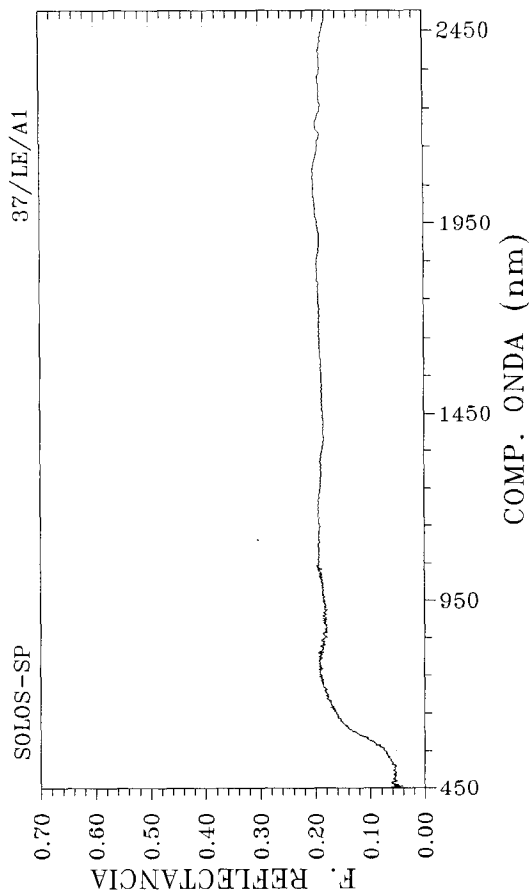
Perfil n° 1287 (curvas 37 e 38)

Classe de solo: Latossolo Vermelho-Escuro (LE)

Relatório: São Carlos, pg. 51.

Horizonte	A1	B21
Areia grossa (%)	24	15
Areia fina (%)	27	23
Silte (%)	3	3
Argila (%)	46	59
pH (H ₂ O)	5,4	5,2
S	2,0	0,1
T	6,2	5,3
C (%)	1,8	1,0
N (%)	0,13	0,08
Fe ₂ O ₃	11,3	13,6
Al ₂ O ₃	13,0	17,9
SiO ₂	7,0	9,5
TiO ₂	4,0	4,8
Cor Munsell	2,5YR 3/6	2,5YR 3/4
Nome	Vm-c	Br-Vmd-c
C.I.E./x	0,40	0,40
C.I.E./y	0,34	0,34
Brilho (%)	8,9	7,5
Pureza (%)	30,4	28,7
Comp.onda dom.	595,0	597,3

Obs.: Proveniente de material argiloso, decorrente do intemperismo de basalto com provável contribuição de material cenozóico. Perfil sob reflorestamento (eucalipto).



Perfil n° 1250 (curvas 39 e 40)

Classe de solo: Latossolo Vermelho-Escuro (LE)

Relatório: São Carlos, pg. 58.

Horizonte A1 B21

Areia grossa (%) 25 18

Areia fina (%) 53 53

Silte (%) 1 2

Argila (%) 21 27

pH (H₂O) 4,7 4,6

S 0,8 0,1

T 4,7 2,3

C (%) 0,8 0,3

N (%) 0,07 0,04

Fe₂O₃ 5,5 7,0Al₂O₃ 5,5 6,9SiO₂ 4,0 5,1TiO₂ 2,0 2,4

Cor Munsell 2,5YR 4/6 5YR 4/4

Nome Vm-c Br-Vmd

C.I.E./x 0,40 0,40

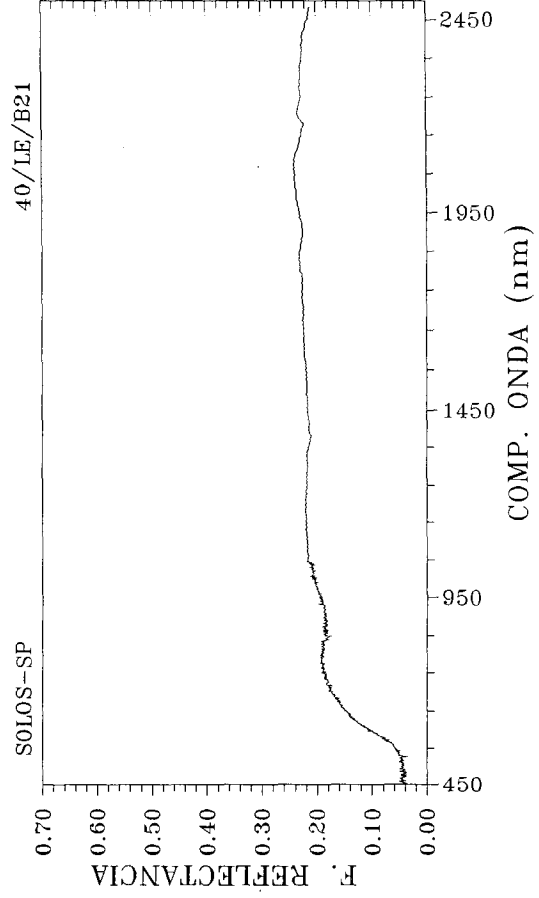
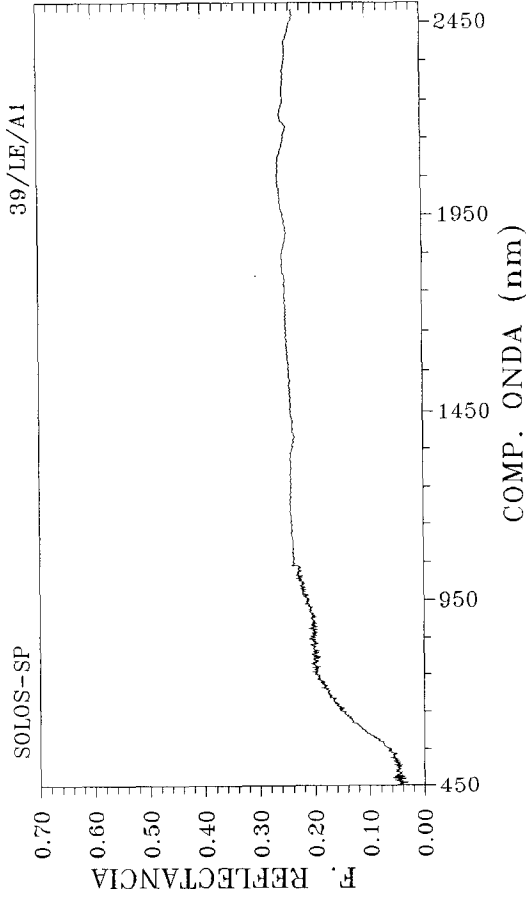
C.I.E./y 0,34 0,33

Brilho (%) 7,8 7,2

Pureza (%) 29,9 30,4

Comp.onda dom. 595,8 598,9

Obs.: Proveniente de sedimentos retrabalhados de arenito Botucatu-Pirambóia com contribuição de material oriundo de basaltos. Perfil sob pastagem.



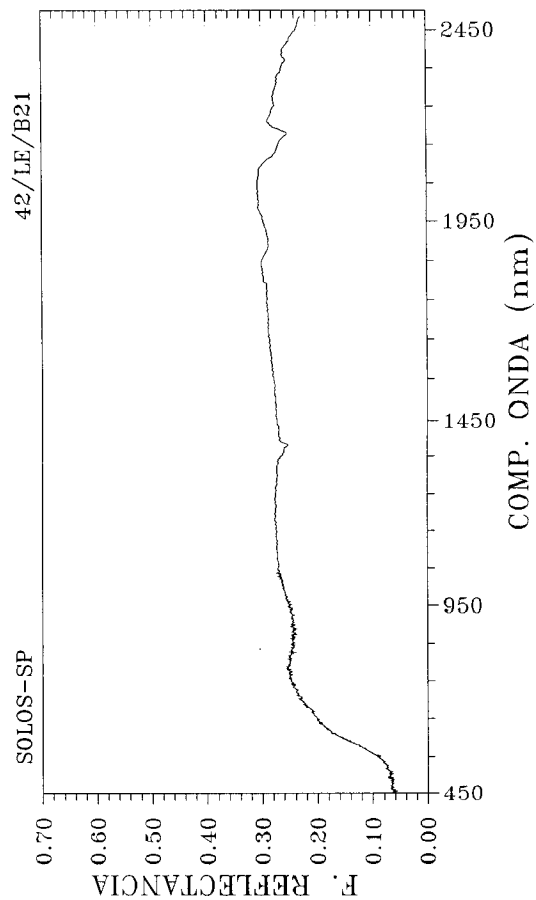
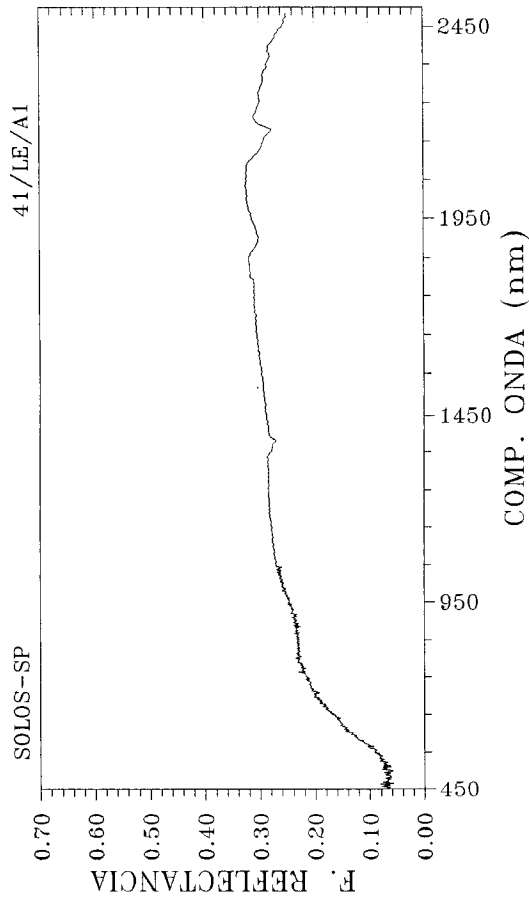
Perfil n° 1188 (curvas 41 e 42)

Classe de solo: Latossolo Vermelho-Escuro (LE)

Relatório: Campinas, pg. 68.

Horizonte	A1	B21
Areia grossa (%)	33	27
Areia fina (%)	46	47
Silte (%)	2	1
Argila (%)	19	25
pH (H ₂ O)	5,0	4,6
S	1,3	0,4
T	5,0	3,4
C (%)	0,7	0,3
N (%)	0,08	...
Fe ₂ O ₃	2,7	3,2
Al ₂ O ₃	7,1	9,6
SiO ₂	4,9	6,7
TiO ₂	0,9	1,1
Cor Munsell	5YR 4/4	2,5YR 4/6
Nome	Br-Vmd	Vm
C.I.E./x	0,38	0,40
C.I.E./y	0,34	0,34
Brilho (%)	10,1	10,9
Pureza (%)	27,0	32,5
Comp.onda dom.	591,6	593,5

Obs.: Proveniente de sedimentos arenosos modernos da formação Tubarão. Perfil sob pomar (cítrus).



Perfil n° 1286 (curvas 43 e 44)

Classe de solo: Latossolo Vermelho-Amarelo (L.A)

Relatório: São Carlos, pg. 104.

Horizonte A11 B21

Areia grossa (%) 8 7

Areia fina (%) 9 8

Silte (%) 5 4

Argila (%) 70 80

pH (H₂O) 5,1 5,1

S 1,5 0,2

T 13,8 4,5

C (%) 5,1 0,6

N (%) 0,35 0,06

Fe₂O₃ 5,9 8,1

Al₂O₃ 22,4 27,3

SiO₂ 21,3 29,1

TiO₂ 1,7 1,9

Cor Munsell 5Y 4/3 10YR 6/8

Nome Oi Am-Brd

C.I.E./x 0,35 0,40

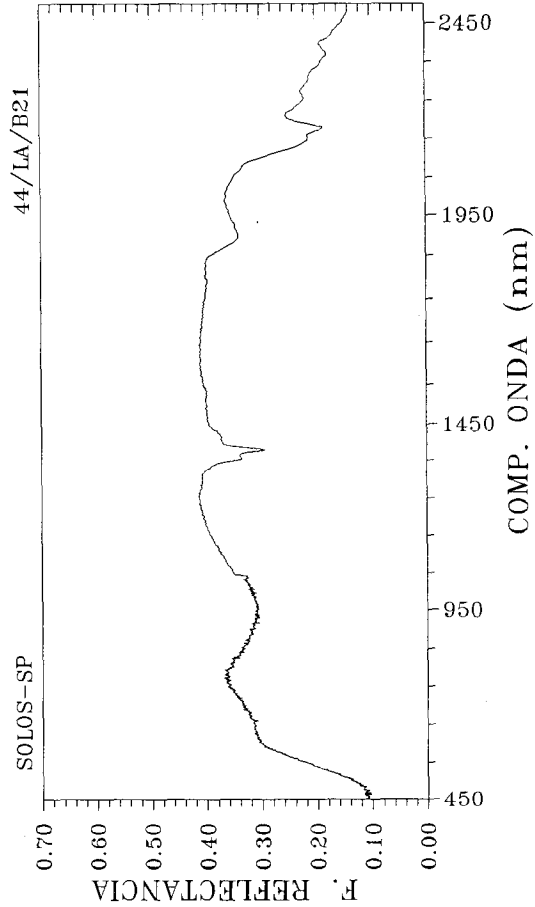
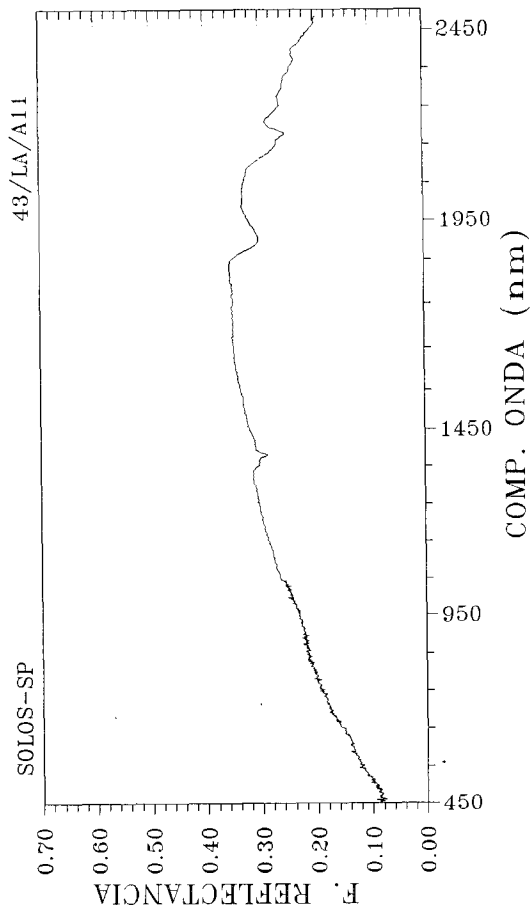
C.I.E./y 0,35 0,38

Brilho (%) 12,1 23,1

Pureza (%) 20,9 41,0

Comp.onda dom. 581,4 582,5

Obs.: Proveniente de sedimentos argilosos oriundos de fácies argilosas da formação Itaqueri? Perfil sob pastagem.



Perfil n° 1252 (curvas 45 e 46)

Classe de solo: Latossolo Vermelho-Amarelo (LA)

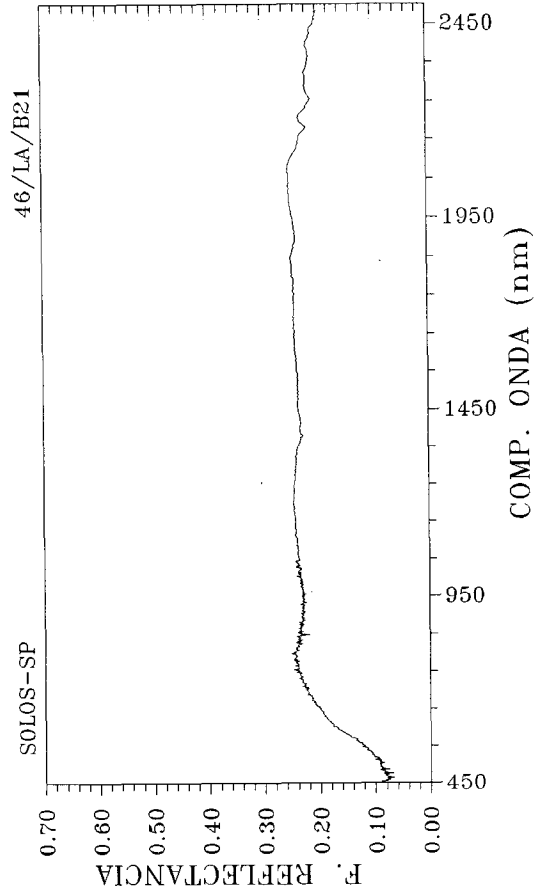
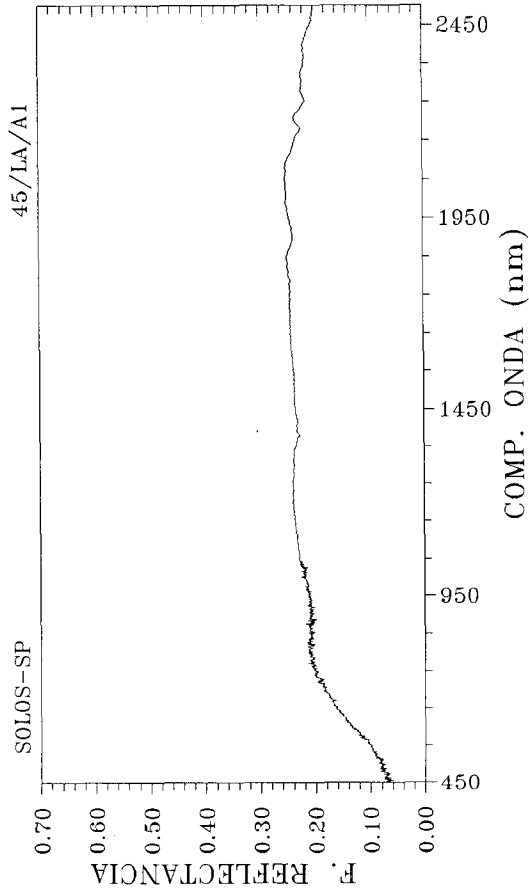
Relatório: São Carlos, pg. 93.

Horizonte	A1	B21
Areia grossa (%)	43	44
Areia fina (%)	25	17
Silte (%)	1	4
Argila (%)	31	35
pH (H ₂ O)	5,3	5,6
S	0,6	0,1
T	4,0	2,2
C (%)	1,0	0,5
N (%)	0,07	0,04

Fe ₂ O ₃	5,3	5,6
Al ₂ O ₃	19,5	8,9
SiO ₂	32,5	5,7
TiO ₂	1,2	1,4

Cor Munsell	7,5YR 4/4	7,5YR 5/6
Nome	Br	Br-f
C.I.E./x	0,37	0,38
C.I.E./y	0,35	0,35
Brilho (%)	10,9	13,3
Pureza (%)	23,7	28,3
Comp.onda dom.	587,6	587,7

Obs.: Proveniente de sedimentos retrabalhados de arenitos e argilitos da formação Itaqueri. Perfil sob pastagem.



Perfil n° 1258 (curvas 47 e 48)

Classe de solo: Latossolo Vermelho-Amarelo (LA)

Relatório: Araras, pg. 75.

Horizonte A11 B1

Areia grossa (%)

57

Areia fina (%)

22

Silte (%)

2

Argila (%)

20

pH (H₂O)

4,4

S

0,2

T

2,6

C (%)

0,1

N (%)

0,05

...

Fe₂O₃

1,0

Al₂O₃

3,9

SiO₂

3,9

TiO₂

0,2

Cor Munsell

5YR 5/3

5YR 6/4

Nome

Br-Vmd

Br-Vmd-c

C.I.E./x

0,36

0,38

C.I.E./y

0,34

0,35

Brilho (%)

14,6

19,3

Pureza (%)

18,4

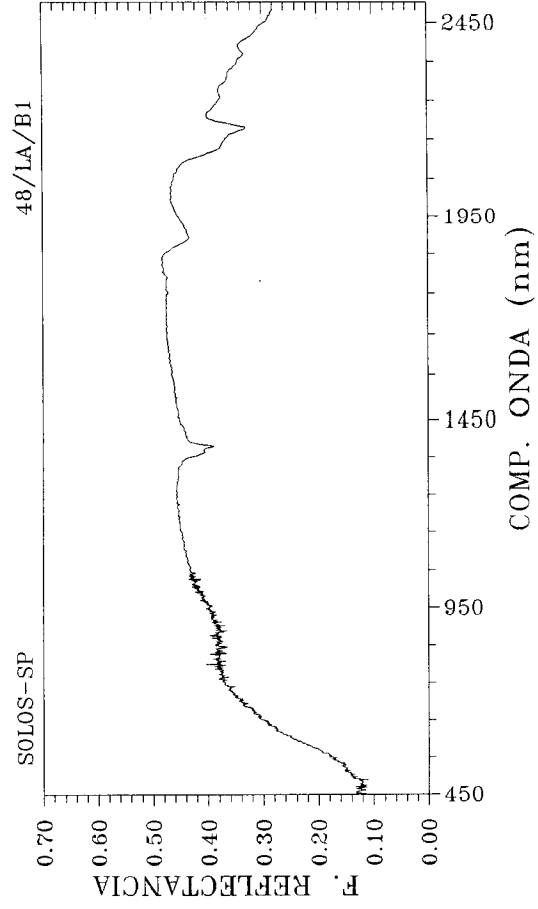
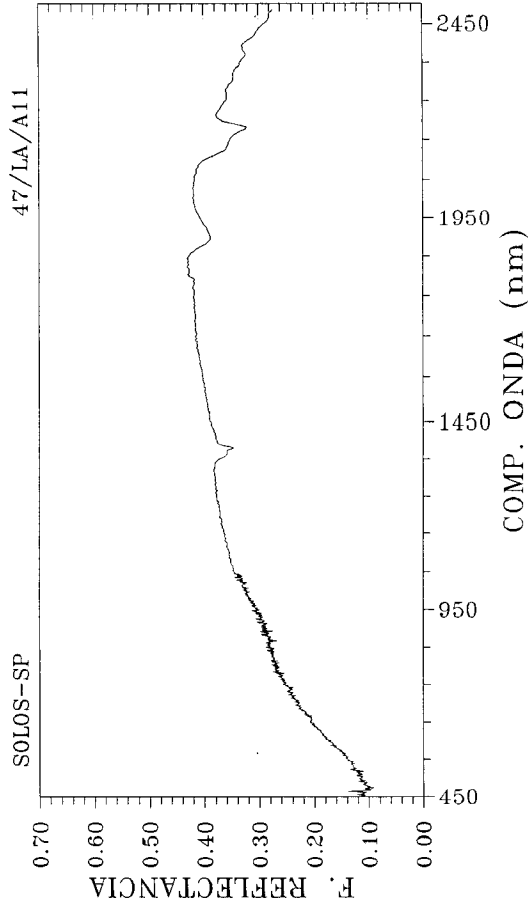
28,0

Comp.onda dom.

588,3

587,5

Obs.: Proveniente de sedimentos arenosos não consolidados, provavelmente cenozóicos. Formação Rio Claro? Perfil sob reflorestamento (pinheiro).



Perfil n° 1270 (curvas 49 e 50)

Classe de solo: Latossolo Vermelho-Amarelo (LA)

Relatório: São Carlos, pg. 86.

Horizonte A11 B21

Areia grossa (%) 27 24

Areia fina (%) 59 60

Silte (%) 0 0

Argila (%) 14 16

pH (H₂O) 4,6 4,6

S 0,1 0,1

T 4,7 2,7

C (%) 1,2 0,4

N (%) 0,12 0,05

Fe₂O₃ 2,1 2,3Al₂O₃ 4,1 5,1SiO₂ 2,6 3,6TiO₂ 0,7 0,6

Cor Munsell 10YR 4/3 10YR 6/8

Nome Br-e Am-Brd

C.I.E./x 0,35 0,40

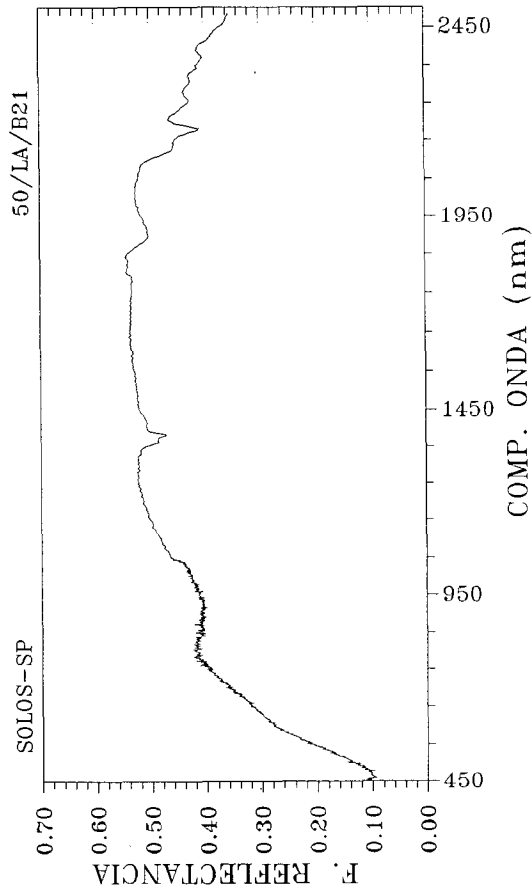
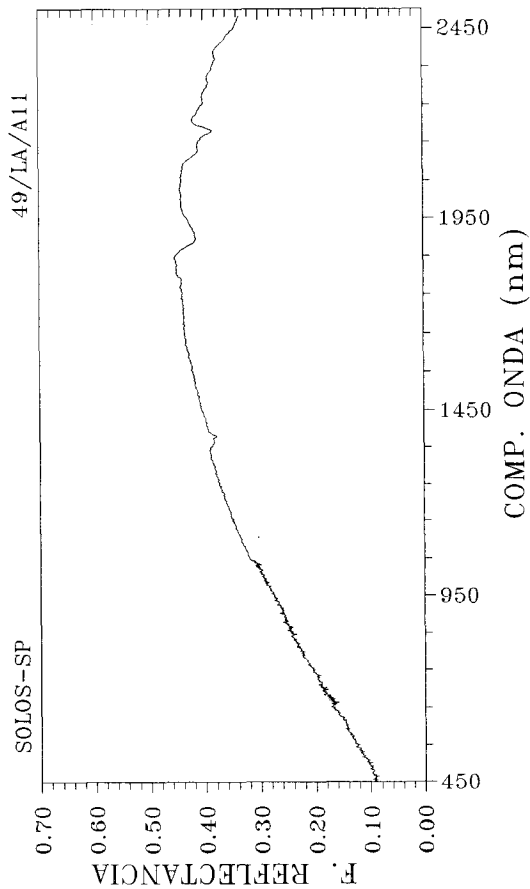
C.I.E./y 0,34 0,37

Brilho (%) 12,8 21,8

Pureza (%) 18,3 40,7

Comp.onda dom. 582,8 582,3

Obs.: Proveniente de sedimentos arenosos oriundos do intemperismo e retrabalhamento de arenito da formação Itaqueri. Perfil sob pastagem.



Perfil n° 1351 (curvas 51 e 52)

Classe de solo: Latossolo Vermelho-Amarelo (LA)

Relatório: Ribeirão Preto, pg. 91.

Horizonte A1 B21

Areia grossa (%) 26 23

Areia fina (%) 38 41

Silte (%) 6 4

Argila (%) 30 32

pH (H₂O) 5,8 5,0

S 2,0 0,5

T 5,7 3,7

C (%) 1,2 0,6

N (%) 0,09 0,08

Fe₂O₃ 7,1 6,6Al₂O₃ 10,7 10,4SiO₂ 6,2 6,2TiO₂ 2,1 1,8

Cor Munsell 5YR 4/4 5YR 4/6

Nome Br-Vmd Vm-Amd

C.I.E./x 0,37 0,38

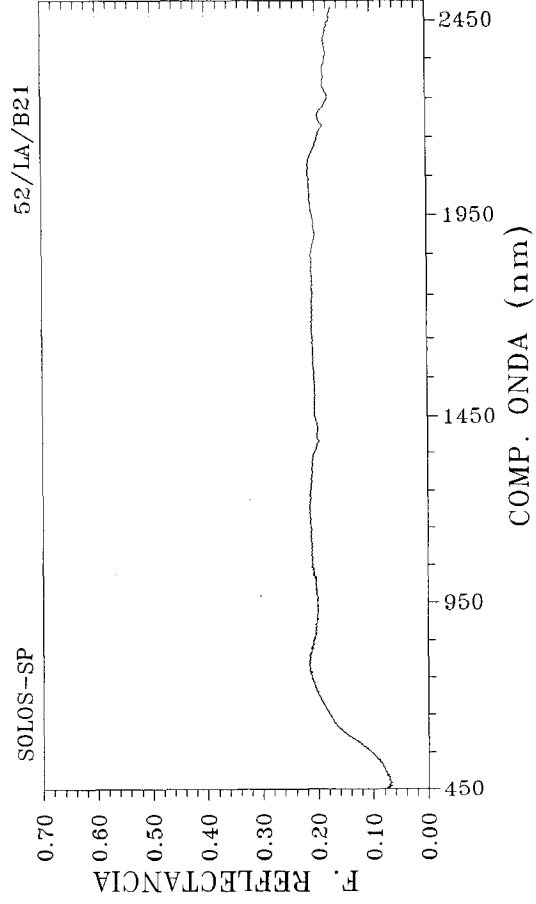
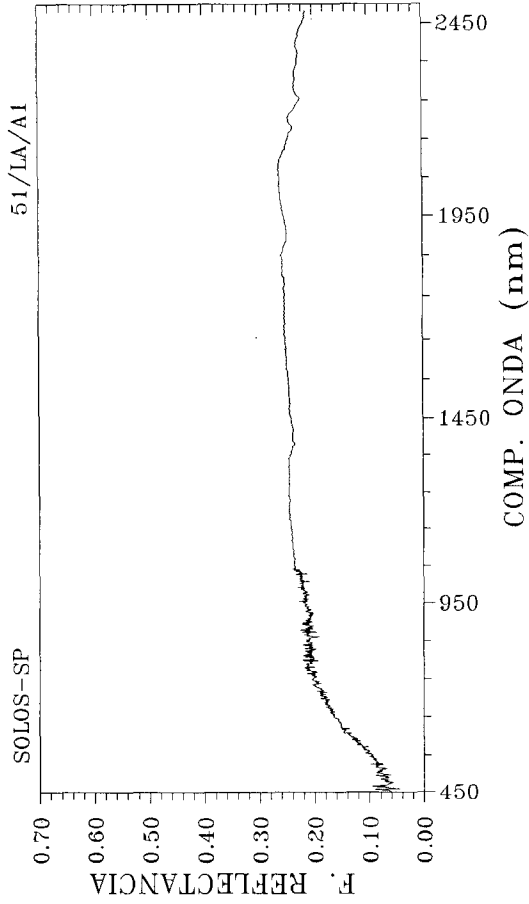
C.I.E./y 0,35 0,35

Brilho (%) 10,6 11,5

Pureza (%) 25,4 28,5

Comp.onda dom. 588,2 588,6

Obs.: Proveniente de cobertura argilosa, de origem desconhecida. Perfil sob pastagem

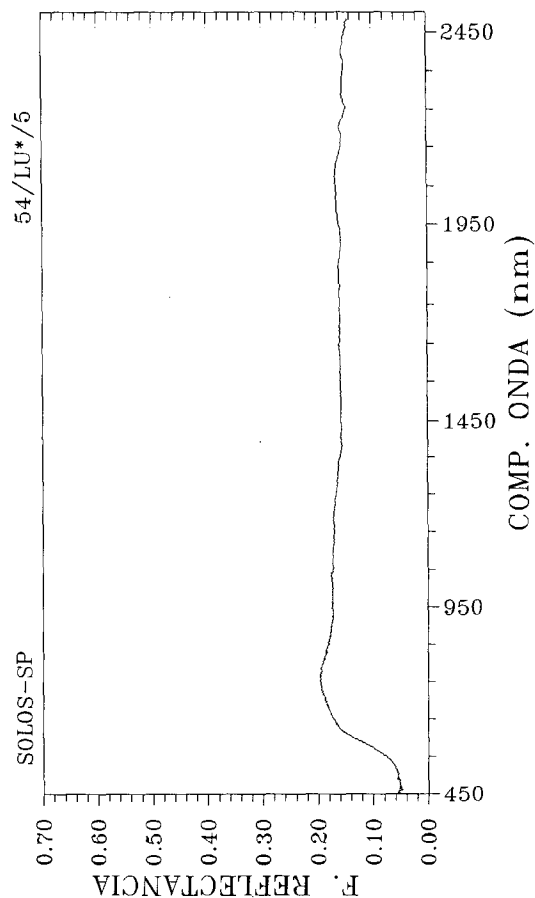
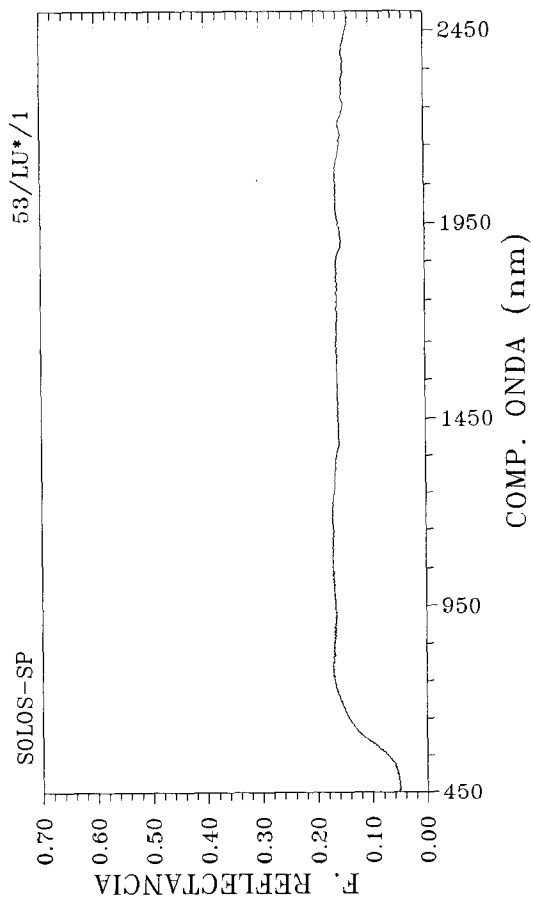


Perfil n° 1459 (curvas 53 e 54)

Classe de solo: Latossolo Una (LU)

Localização: Quadrícula de Guaiará

Camada	1	5
Areia grossa (%)	14	10
Areia fina (%)	15	10
Silte (%)	13	18
Argila (%)	58	62
pH (H ₂ O)	5,5	5,2
S	3,2	0,0
T	10,5	2,9
C (%)	3,0	0,7
N (%)	0,25	0,06
Fe ₂ O ₃	18,9	19,9
Al ₂ O ₃	15,5	21,2
SiO ₂	23,1	12,4
TiO ₂	4,5	11,6
Cor Munsell	5YR 4/6	2,5YR 4/6
Nome	Vm-Amd	Vm
C.I.E./x	0,39	0,41
C.I.E./y	0,35	0,35
Brilho (%)	8,3	9,3
Pureza (%)	30,0	34,8
Comp.onda dom.	591,9	593,3



Perfil n° 1457 (curvas 55 e 56)

Classe de solo: Latossolo Una (LU)

Localização: Quadrícula de Guaíra

Horizonte A1 Bw2

Areia grossa (%) 26

Areia fina (%) 25

Silte (%) 8

Argila (%) 41

pH (H₂O) 5,1

S 0,4

T 5,6

C (%) 1,8

N (%) ...

Fe₂O₃ 7,0Al₂O₃ 9,6SiO₂ 6,9TiO₂ 3,5

Cor Munsell 10YR 5/4 10YR 5/6

Nome Br-Amd Br-Amd

C.I.E./x 0,38 0,39

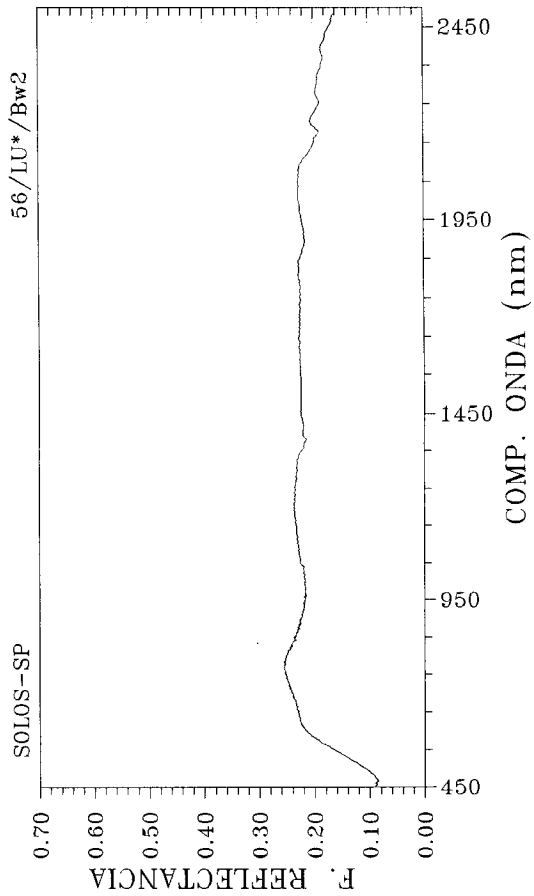
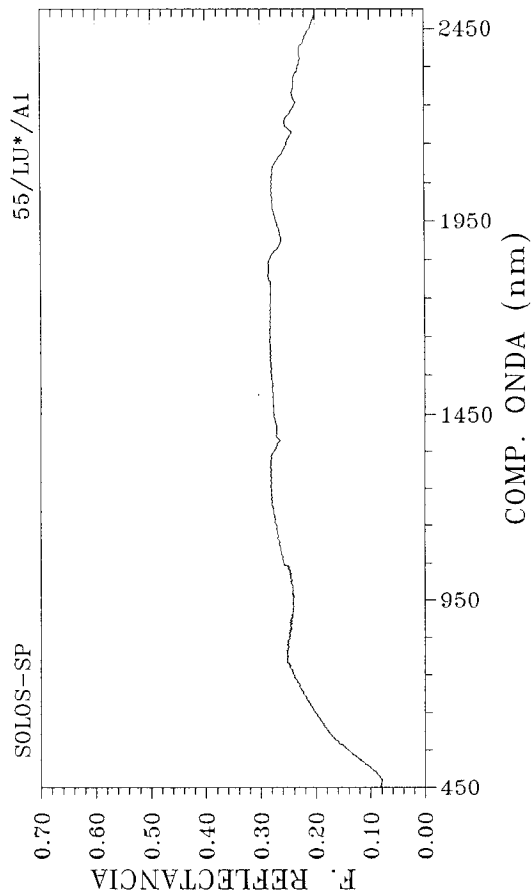
C.I.E./y 0,37 0,37

Brilho (%) 14,5 17,0

Pureza (%) 32,6 36,5

Comp.onda dom. 582,3 582,2

Obs.: Perfil em terreno mal drenado. Presença de plintita.



Perfil n° 1451 (curvas 57 e 58)

Classe de solo: Latossolo Una (LU)

Localização: Quadricula de Guaira

Horizonte Ap1 Bw2

Area grossa (%) 15 7

Area fina (%) 18 13

Silte (%) 15 16

Argila (%) 52 64

pH (H₂O) 6,0 5,7

S 5,6 0,7

T 10,3 2,2

C (%) 55,0 22,0

N (%) 0,21 0,05

Fe₂O₃ 13,9 17,0Al₂O₃ 18,7 21,1SiO₂ 15,8 16,6TiO₂ 8,2 9,1

Cor Munsell 10YR 4/4 7,5YR 5/6

Nome Br-Amd-e Br-f

C.I.E./x 0,39 0,40

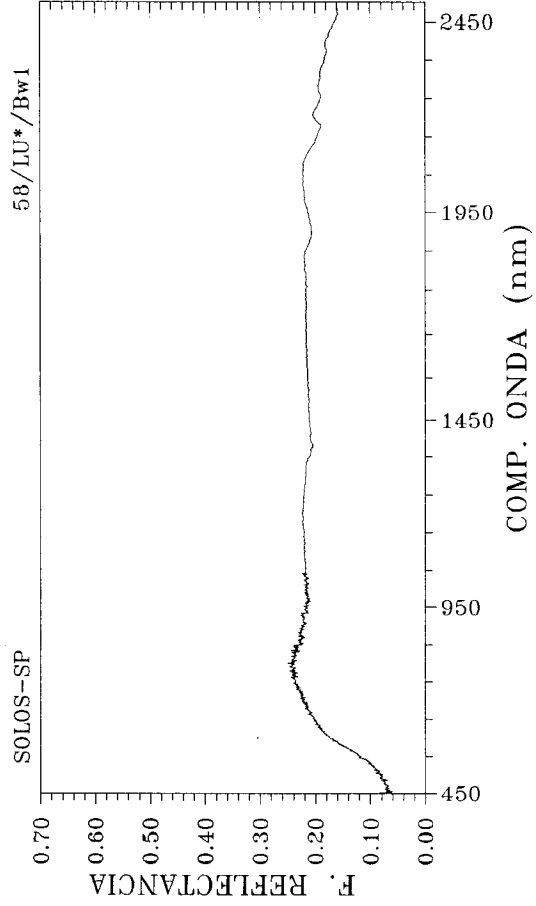
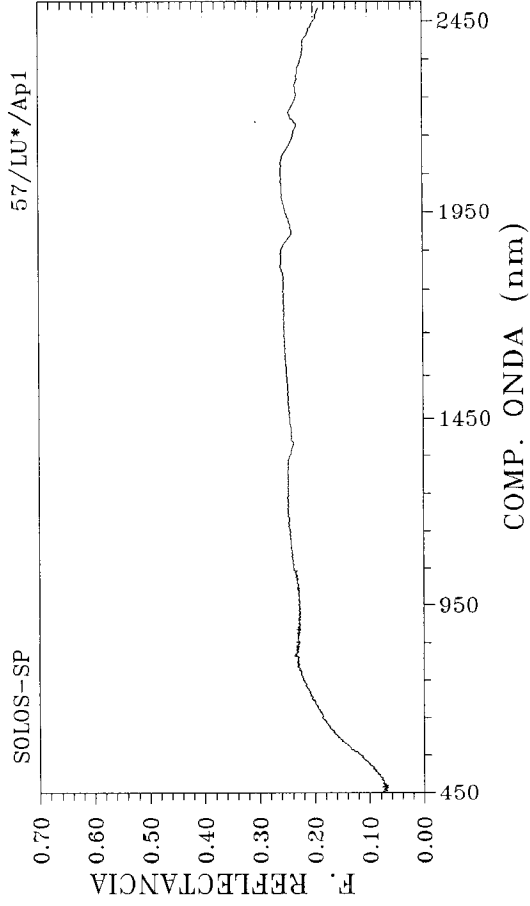
C.I.E./y 0,36 0,36

Brilho (%) 12,4 13,0

Pureza (%) 32,8 36,2

Comp.onda dom. 584,6 586,1

Obs.: Presença de petroplintita.



Perfil n° 1460 (curvas 59 e 60)

Classe de solo: Latossolo Una (LU)

Localização: Quadrícula de Guaiçara

Horizonte A1 Bw1

Areia grossa (%) 33 31

Areia fina (%) 39 37

Silte (%) 5 4

Argila (%) 23 28

pH (H₂O) 5,5 4,9

S 1,4 0,3

T 4,1 1,5

C (%) 1,0 0,3

N (%) 0,07 ...

Fe₂O₃ 4,3 ...Al₂O₃ 6,7 ...SiO₂ 4,9 ...TiO₂ 2,4 ...

Cor Munsell 7,5YR 5/6 5YR 4/8

Nome Br-f Vm-Amd

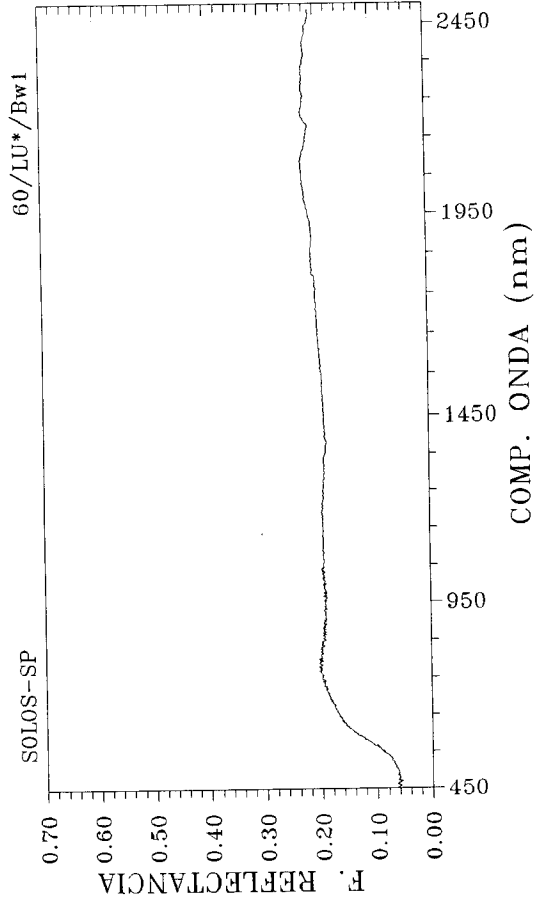
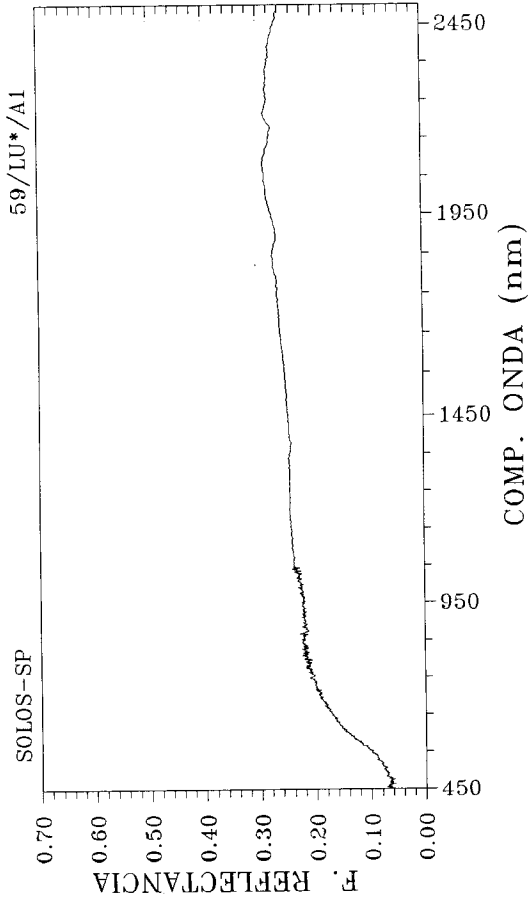
C.I.E./x 0,39 0,40

C.I.E./y 0,35 0,35

Brilho (%) 11,0 10,2

Pureza (%) 29,8 32,2

Comp.onda dom. 587,9 590,1



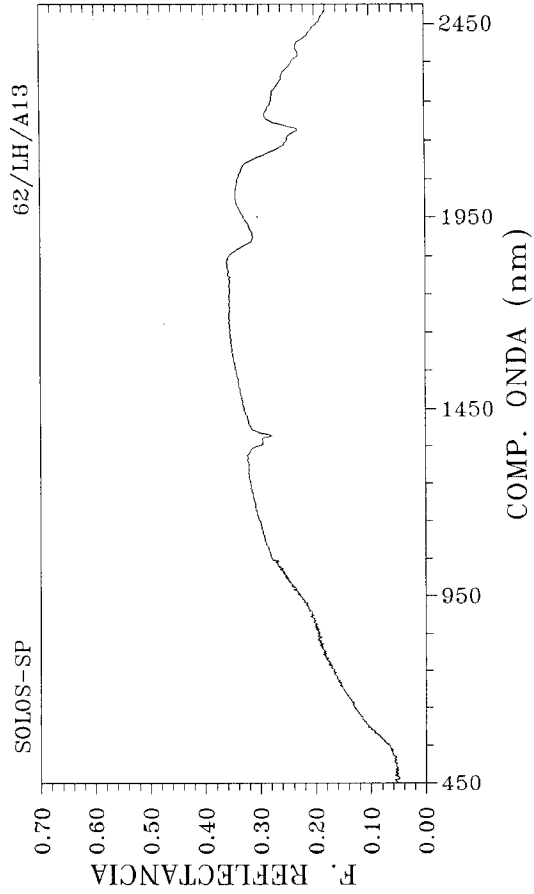
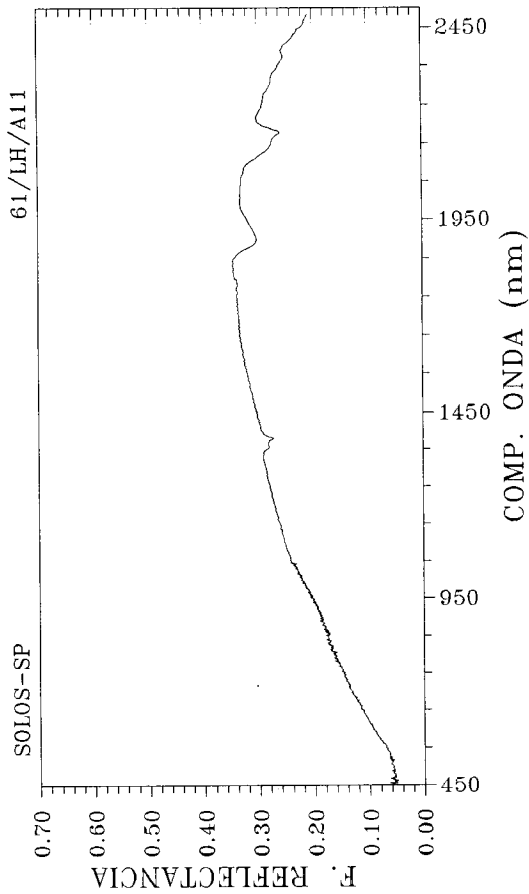
Perfil n° 1176 (curvas 61 e 62)

Classe de solo: Latossolo Húmico (LH)

Relatório: Campiñas, pg. 98.

Horizonte	A11	A13
Areia grossa (%)	12	9
Areia fina (%)	33	33
Silte (%)	8	3
Argila (%)	47	55
pH (H ₂ O)	4,8	4,4
S	1,5	0,2
T	15,7	10,5
C (%)	3,6	1,6
N (%)	0,32	0,12
Fe ₂ O ₃	5,3	5,7
Al ₂ O ₃	16,0	14,4
SiO ₂	16,8	17,8
TiO ₂	0,9	1,2
Cor Munsell	5YR 3/3	5YR 3/4
Nome	Br-Vmd-e	Br-Vmd-e
C.I.E./x	0,36	0,38
C.I.E./y	0,34	0,33
Brilho (%)	7,6	7,8
Pureza (%)	20,0	23,2
Comp.onda dom.	590,7	595,2

Obs.: Proveniente de sedimentos argilosos oriundos do retrabalhamento de material do grupo Tubarão. Perfil sob pastagem.



Perfil n° 1421 (curvas 63 e 64)

Classe de solo: Latossolo Húmico (LH)

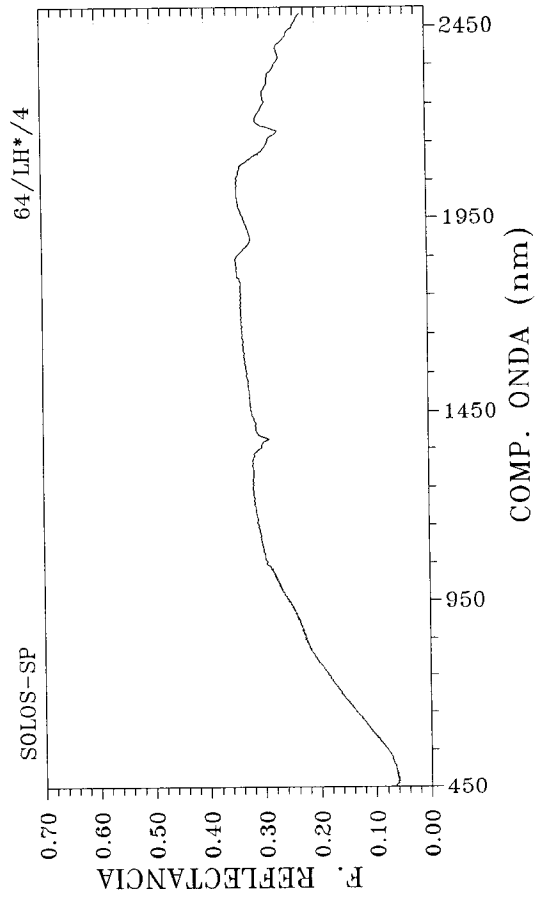
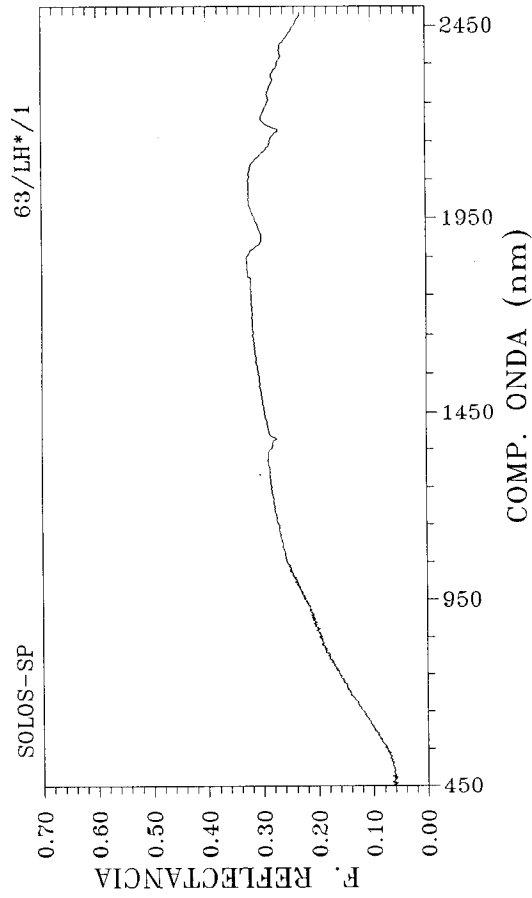
Localização: Quadrícula de Campinas

Camada	1	3
Areia grossa (%)	19	14
Areia fina (%)	37	42
Silte (%)	12	9
Argila (%)	32	35

pH (H ₂ O)	4,7	4,8
S	0,6	0,1
T	8,9	6,8
C (%)	2,2	1,2
N (%)	0,17	0,08

Fe ₂ O ₃	3,6	4,4
Al ₂ O ₃	8,6	10,8
SiO ₂	9,8	11,5
TiO ₂	1,3	1,7

Cor Munsell	5YR 4/3	5YR 3/4
Nome	Br-Vmd	Br-Vmd-e
C.I.E./x	0,36	0,37
C.I.E./y	0,33	0,34
Brilho (%)	8,1	8,7
Pureza (%)	17,2	20,6
Comp.onda dom.	591,6	591,7



Perfil n° 1386 (curvas 65 e 66)

Classe de solo: Podzólico Vermelho-Amarelo (PV)

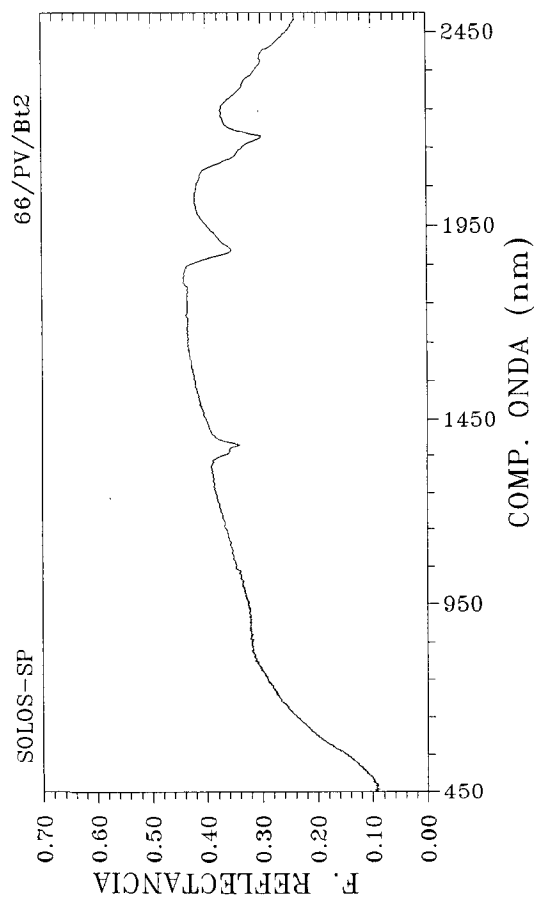
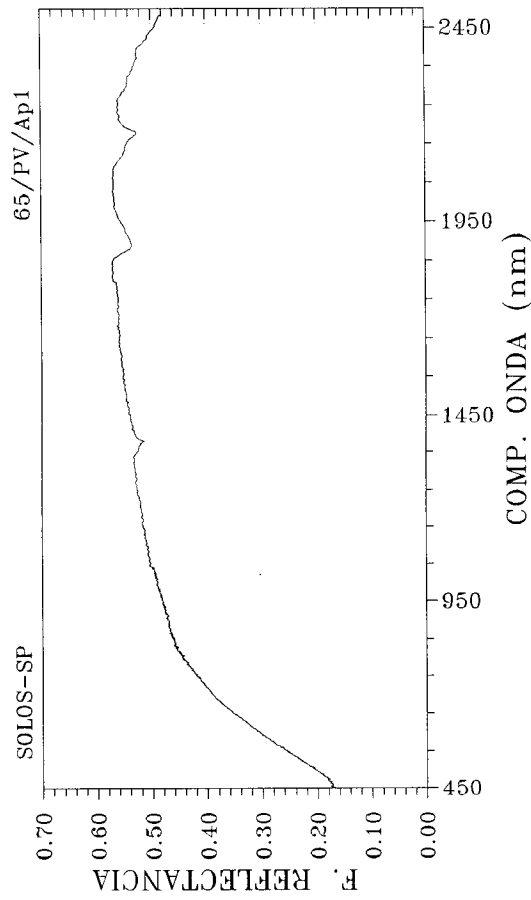
Relatório: Tietê, pg. 25.

Horizonte	Ap1	Bt2
Areia grossa (%)	9	5
Areia fina (%)	70	41
Silte (%)	9	7
Argila (%)	12	47
pH (H ₂ O)	5,6	4,5
S	2,2	3,4
T	4,1	9,3
C (%)	0,5	0,6
N (%)	0,07	0,11

Fe ₂ O ₃	1,3	4,0
Al ₂ O ₃	4,4	12,2
SiO ₂	4,2	18,5
TiO ₂	0,5	0,8

Cor Munsell	10YR 6/3	7,5YR 5/6
Nome	Br-c-Czd	Br-f
C.I.E./x	0,36	0,38
C.I.E./y	0,36	0,36
Brilho (%)	26,3	15,8
Pureza (%)	25,2	31,0
Comp.onda dom.	581,7	585,1

Obs.: Proveniente de produtos derivados de argilitos e siltitos finos da formação Tatuí. Caráter planossólico, argila de atividade baixa. Perfil sob pomar (manga).



Perfil n° 1377 (curvas 67 e 68)

Classe de solo: Podzólico Vermelho-Amarelo (PV)

Localização: Quadrícula de Guaiúra

Camada 1 4

Areia grossa (%) 11

Areia fina (%) 20

Silte (%) 0

Argila (%) 19

pH (H₂O) 5,2

S 0,8

T 2,2

C (%) 0,3

N (%) ...

Fe₂O₃ 0,3Al₂O₃ 2,1SiO₂ 1,1TiO₂ 0,1

Cor Munsell 5YR 6/2

Nome Cz-Rsd

C.I.E./x 0,36

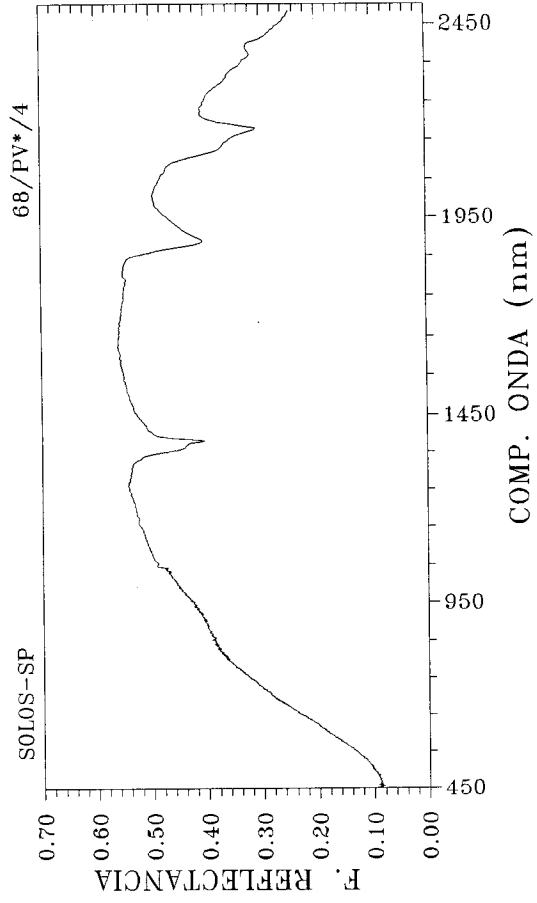
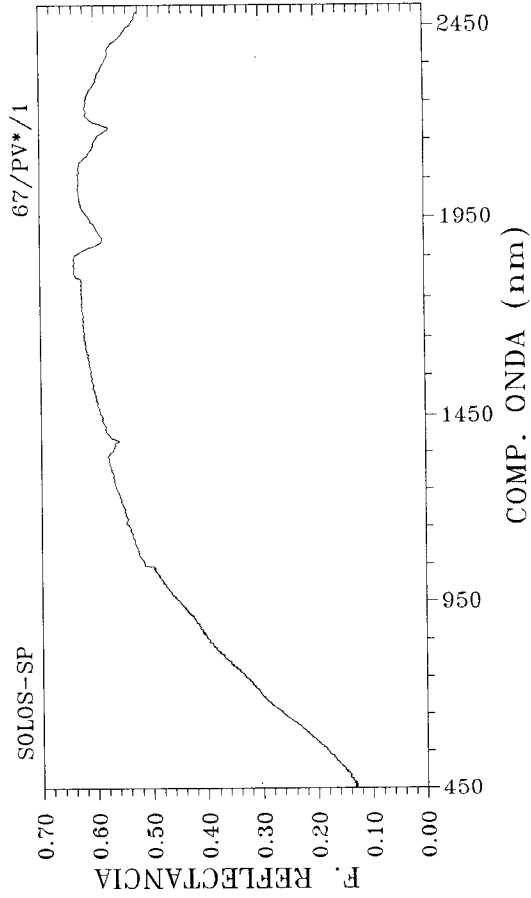
C.I.E./y 0,35

Brilho (%) 18,9

Pureza (%) 22,1

Comp.onda dom. 583,4

Obs.: Presença de argila de atividade alta.



Perfil n° 1415 (curvas 69 e 70)

Classe de solo: Podzólico Vermelho-Amarelo (PV)

Localização: Quadrícula de Guaiira

Horizonte A1 Bt2

Areia grossa (%) 3

Areia fina (%) 33

Silte (%) 27

Argila (%) 37

pH (H₂O) 5,1

S 2,5

T 7,7

C (%) 1,5

N (%) 0,11

Fe₂O₃ 2,2Al₂O₃ 6,2SiO₂ 8,9TiO₂ 0,3

Cor Munsell 7,5YR 6/6 7,5YR 6/8

Nome Am-Vmd Am-Vmd

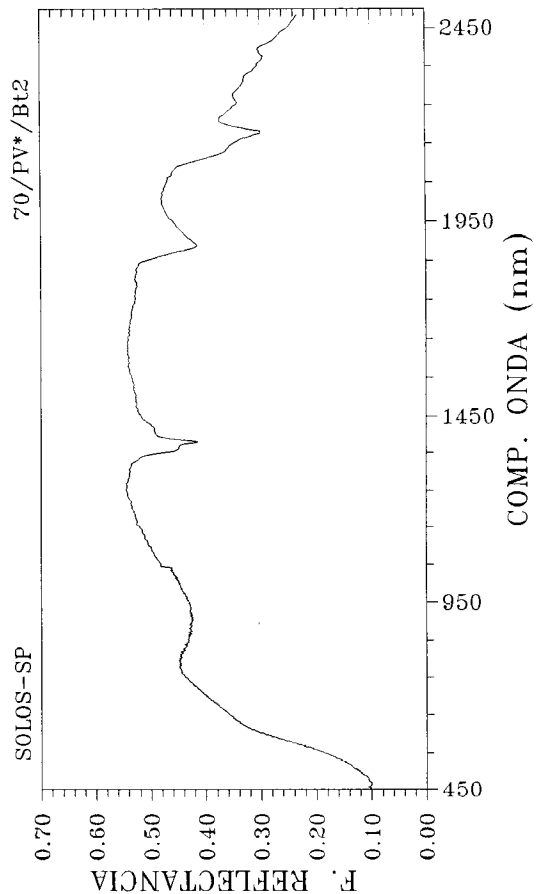
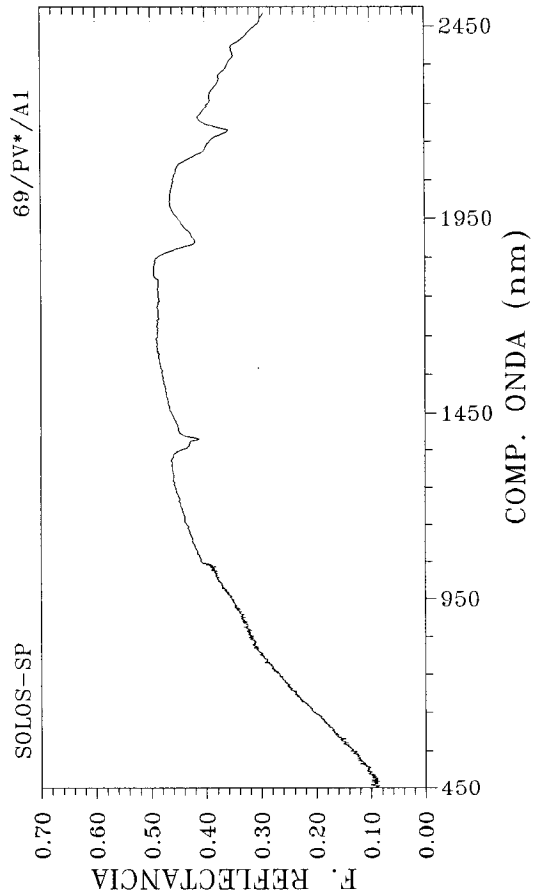
C.I.E./x 0,37 0,41

C.I.E./y 0,35 0,37

Brilho (%) 14,0 21,0

Pureza (%) 25,0 41,4

Comp.onda dom. 584,8 587,2



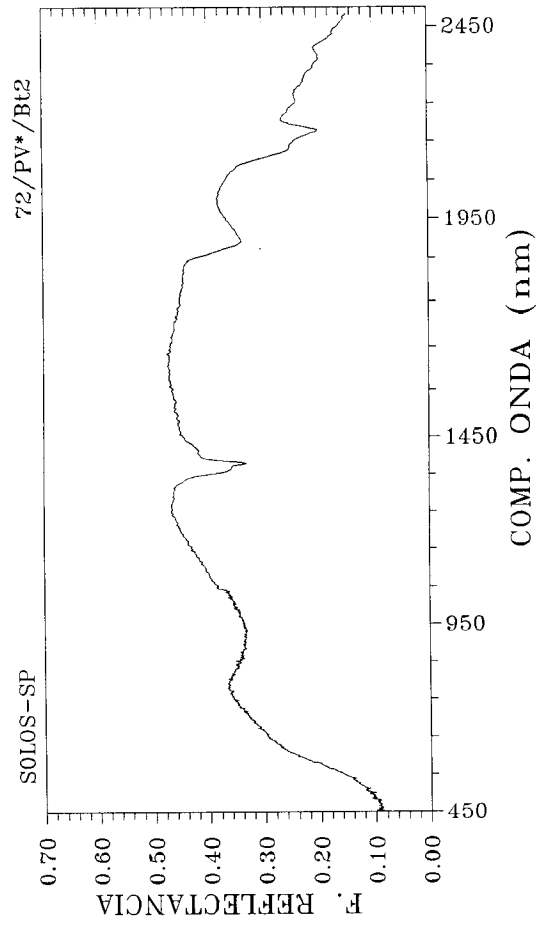
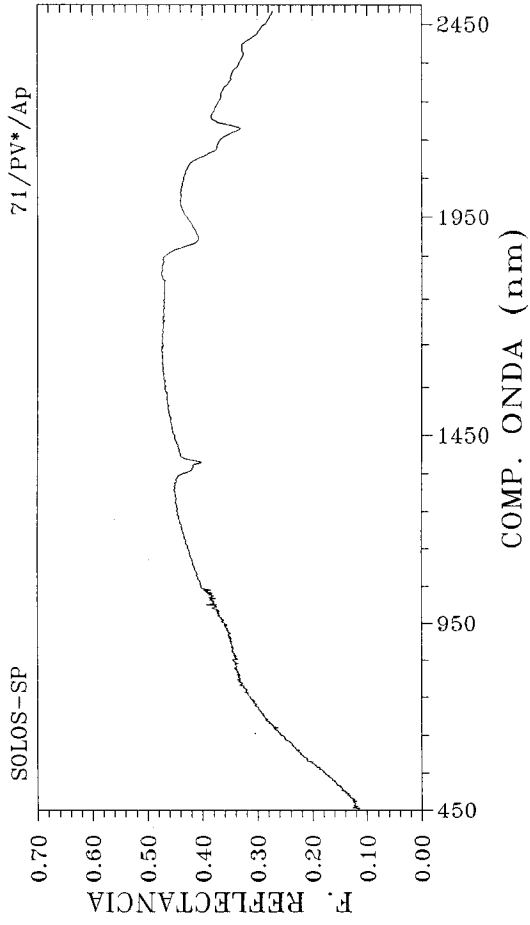
Perfil n° 1417 (curvas 71 e 72)

Classe de solo: Podzólico Vermelho-Amarelo (PV)

Localização: Quadrícula de Guaira

Horizonte	Ap	Bt2
Areia grossa (%)	37	18
Areia fina (%)	26	11
Silte (%)	28	16
Argila (%)	14	54
pH (H ₂ O)	5,0	5,1
S	1,4	1,5
T	4,6	3,8
C (%)	1,1	0,6
N (%)	0,08	0,06
Fe ₂ O ₃	3,4	6,9
Al ₂ O ₃	5,3	15,2
SiO ₂	7,1	21,3
TiO ₂	1,0	1,3
Cor Munsell	7,5YR 6/4	5YR 6/8
Nome	Br-c	Am-Vmd
C.I.E./x	0,37	0,40
C.I.E./y	0,35	0,36
Brilho (%)	18,5	17,7
Pureza (%)	25,1	38,0
Comp.onda dom.	583,4	586,9

Obs.: Proveniente de material do arqueano.
Presença de argila de atividade baixa.



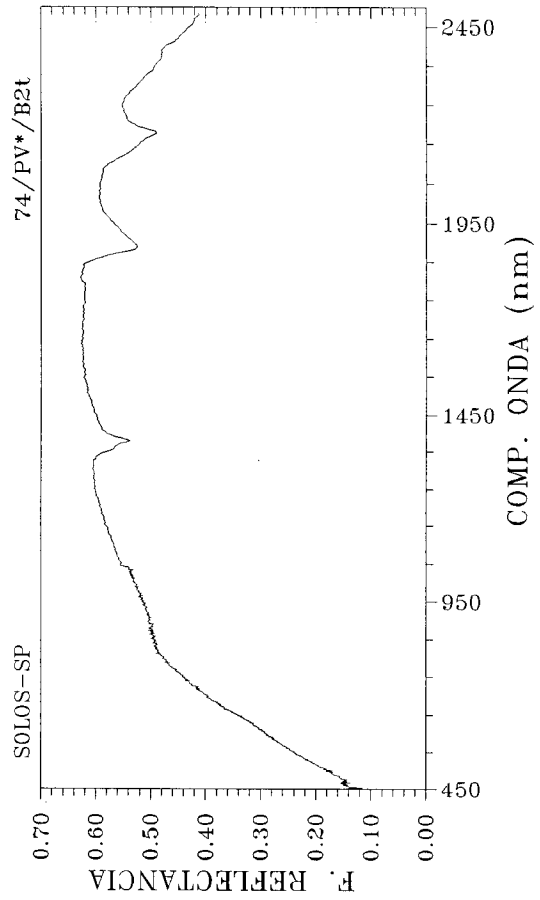
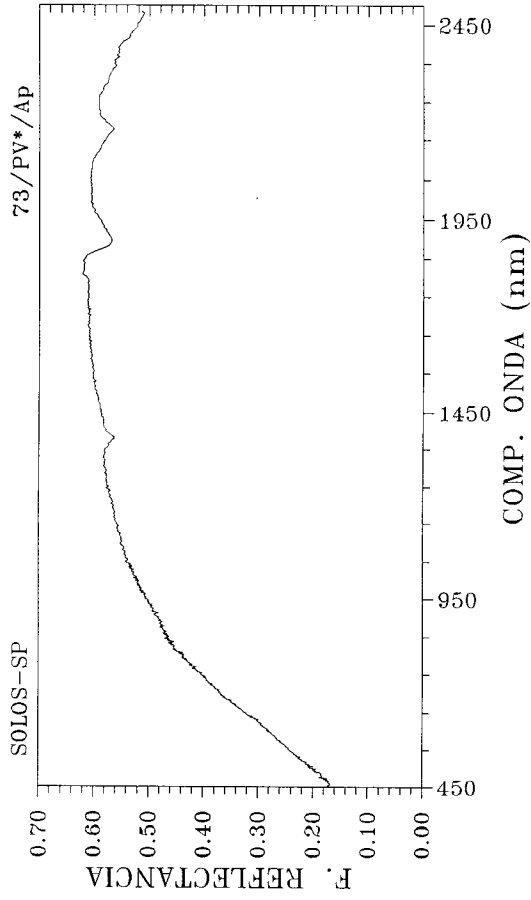
Perfil n° 1387 (curvas 73 e 74)

Classe de solo: Podzólico Vermelho-Amarelo (PV)

Localização: Quadrícula de Piracicaba

Horizonte	Ap	B2t
Areia grossa (%)	12	9
Areia fina (%)	72	66
Silte (%)	8	7
Argila (%)	8	18
pH (H ₂ O)	5,3	5,1
S	1,7	3,1
T	3,9	5,4
C (%)	0,6	0,4
N (%)	...	...
Fe ₂ O ₃	0,8	1,3
Al ₂ O ₃	2,8	5,5
SiO ₂	2,9	...
TiO ₂	0,3	0,3
Cor Munsell	7,5YR 8/2	10YR 7/6
Nome	Bc-Rsd	Am
C.I.E./x	0,36	0,38
C.I.E./y	0,35	0,37
Brilho (%)	24,8	24,5
Pureza (%)	21,2	31,5
Comp.onda dom.	581,7	581,1

Obs.: Presença de argila de atividade alta.



Perfil n° 1269 (curvas 75 e 76)

Classe de solo: Podzólico Vermelho-Amarelo (PV)

Relatório: São Carlos, pg. 131.

Horizonte A11 B21t

Areia grossa (%) 30 22

Areia fina (%) 50 32

Silte (%) 1 1

Argila (%) 19 45

pH (H₂O) 5,2 4,9

S 4,7 1,6

T 8,3 5,5

C (%) 2,1 0,6

N (%) 0,18 0,07

Fe₂O₃ 4,2 8,3Al₂O₃ 4,7 10,5SiO₂ 3,8 9,9TiO₂ 1,7 2,5

Cor Munsell 2,5YR 3/2 2,5YR 4/6

Nome Vm-e-Czd Vm

C.I.E.x 0,36 0,40

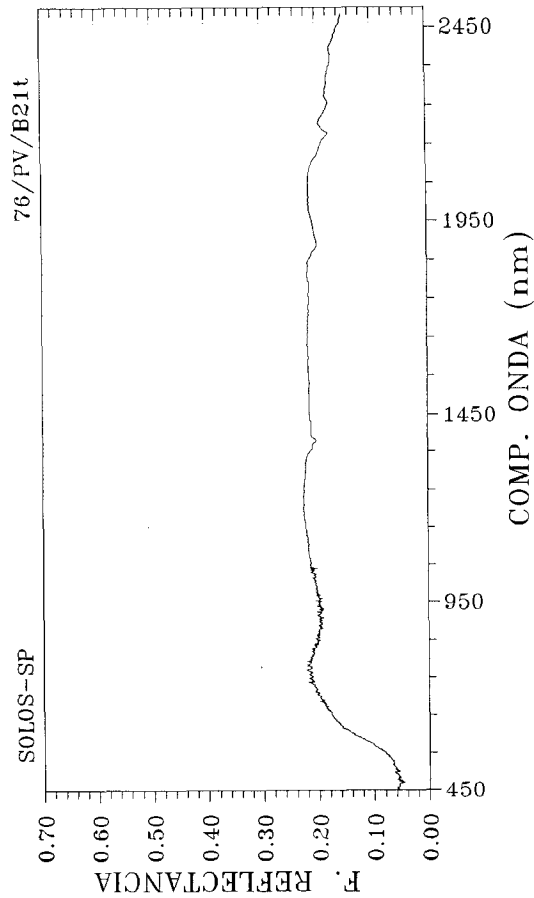
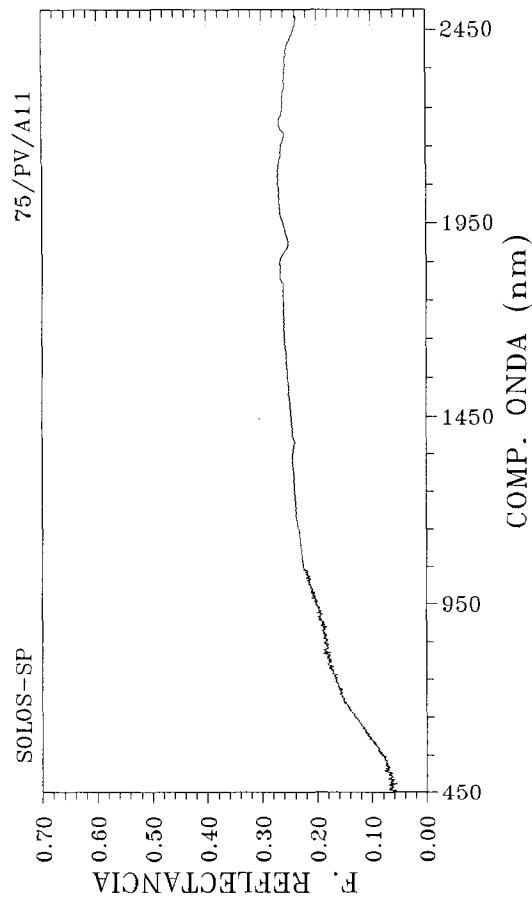
C.I.E.y 0,34 0,35

Brilho (%) 8,8 9,7

Pureza (%) 19,0 33,3

Comp.onda dom. 590,2 592,7

Obs.: Proveniente de sedimentos argilosos
retrabalhados oriundos do grupo Bauru.
Perfil sob pastagem.



Perfil n° 1388 (curvas 77 e 78)

Classe de solo: Podzólico Vermelho-Escuro (PE)

Relatório: Tietê, pg. 34.

Horizonte Ap Bt2

Areia grossa (%) 7 3

Areia fina (%) 56 29

Silte (%) 6 4

Argila (%) 31 64

pH (H₂O) 6,3 5,2

S 5,9 4,6

T 8,2 7,1

C (%) 1,3 0,6

N (%) 0,13 0,08

Fe₂O₃ 3,6 5,9

Al₂O₃ 10,0 20,0

SiO₂ 11,7 26,8

TiO₂ 0,9 1,3

Cor Munsell 2,5YR 5/6 2,5YR 5/8

Nome Vm Vm

C.I.E./x 0,40 0,42

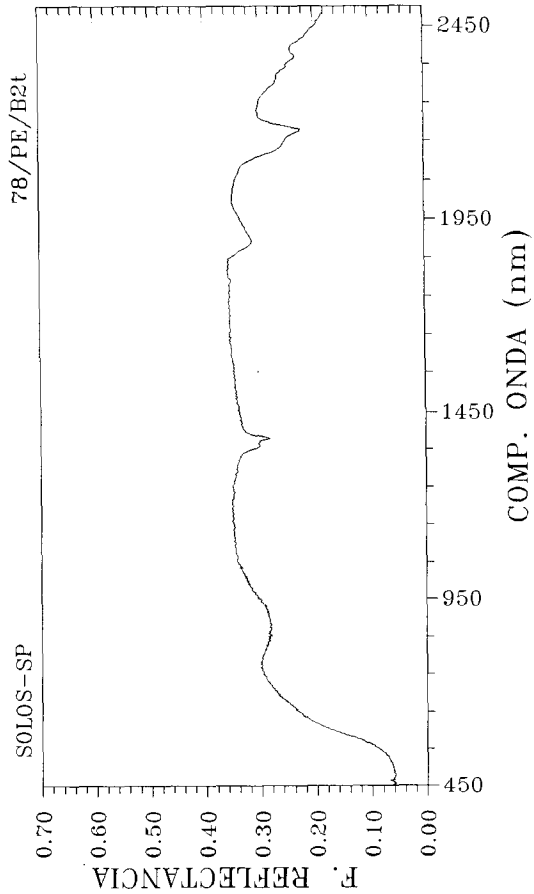
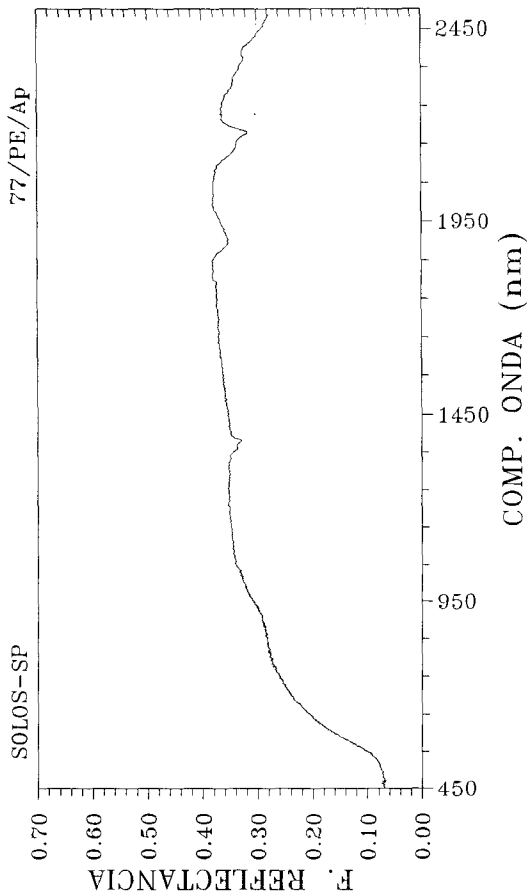
C.I.E./y 0,35 0,35

Brilho (%) 11,7 11,2

Pureza (%) 32,2 37,2

Comp.onda dom. 591,3 595,4

Obs.: Proveniente de produtos derivados de folhelhos e siltitos do grupo Passa Dois, formação Irati (Taquaral).
Perfil sob pomar (mamão).

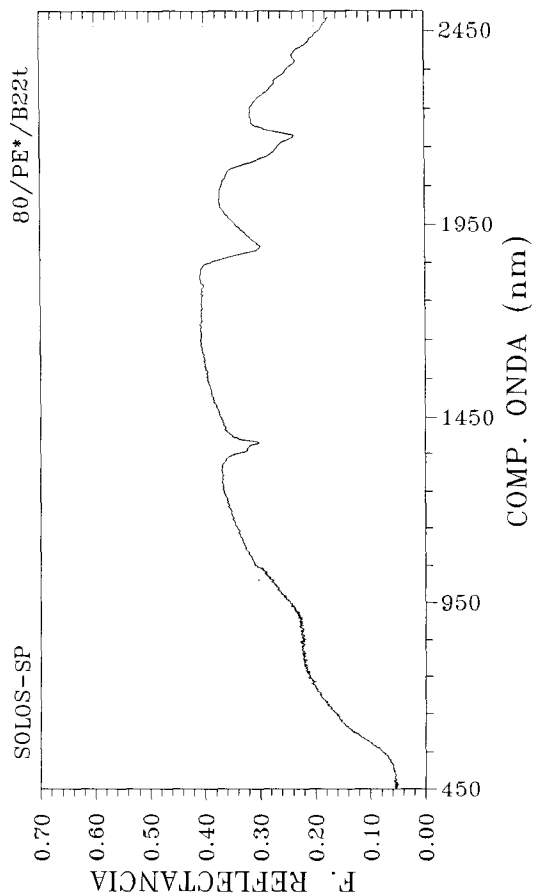
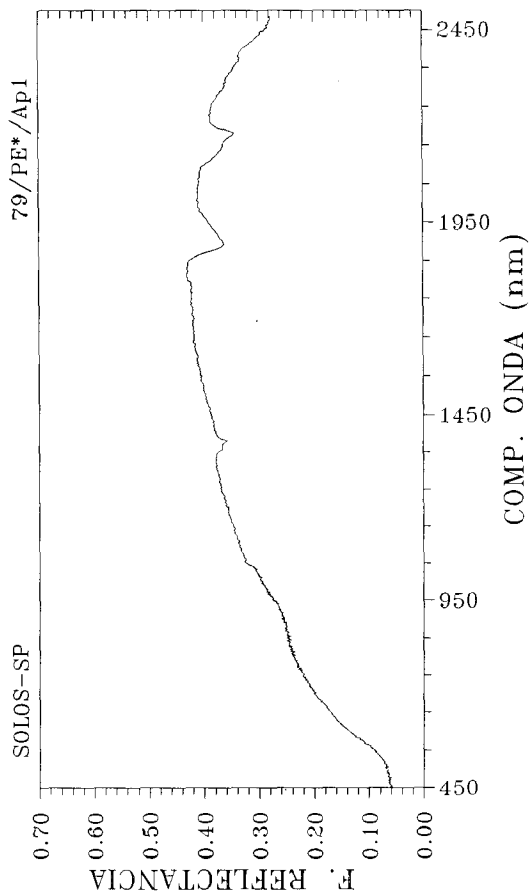


Perfil n° 1380 (curvas 79 e 80)

Classe de solo: Podzólico Vermelho-Escuro (PE)

Localização: Quadrícula de Piracicaba

Horizonte	Ap1	B22t
Areia grossa (%)	8	4
Areia fina (%)	36	18
Silte (%)	21	13
Argila (%)	35	65
pH (H ₂ O)	6,4	7,6
S	14,1	16,0
T	16,0	16,5
C (%)	2,6	0,9
N (%)	0,22	0,12
Fe ₂ O ₃	6,6	9,5
Al ₂ O ₃	8,2	16,4
SiO ₂	13,2	21,0
TiO ₂	1,6	1,6
Cor Munsell	5YR 4/8	2,5YR 4/6
Nome	Vm-Amd	Vm
C.I.E./x	0,39	0,40
C.I.E./y	0,35	0,35
Brilho (%)	10,3	9,2
Pureza (%)	29,7	31,7
Comp.onda dom.	590,3	592,6



Perfil n° 1419 (curvas 81 e 82)

Classe de solo: Podzólico Vermelho-Escuro (PE)

Localização: Quadrícula de Campinas

Horizonte Ap Bt2

Areia grossa (%) 8

Areia fina (%) 13

Silte (%) 17

Argila (%) 62

pH (H₂O) 5,5

S 3,8

T 8,8

C (%) 2,3

N (%) 0,21

Fe₂O₃ 7,9Al₂O₃ 13,9SiO₂ 16,0TiO₂ 1,7

Cor Munsell 2,5YR 4/4 10R 4/8

Nome Br-Vmd Vm

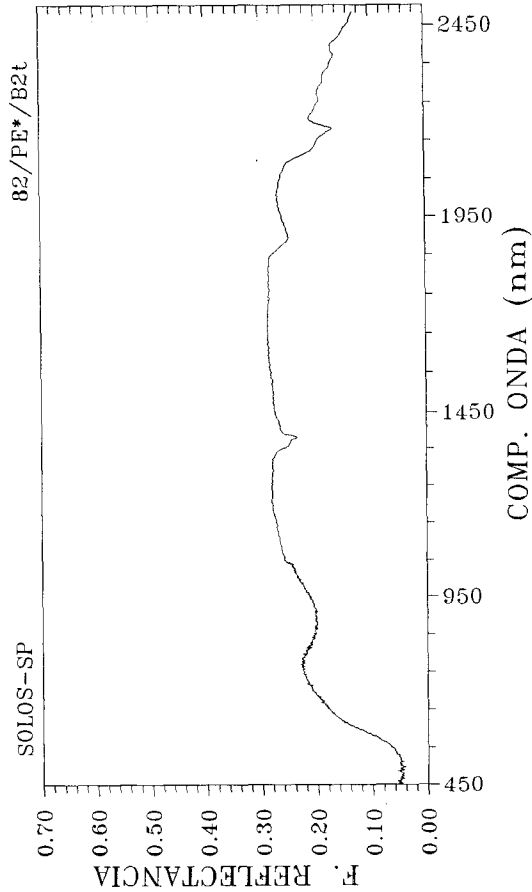
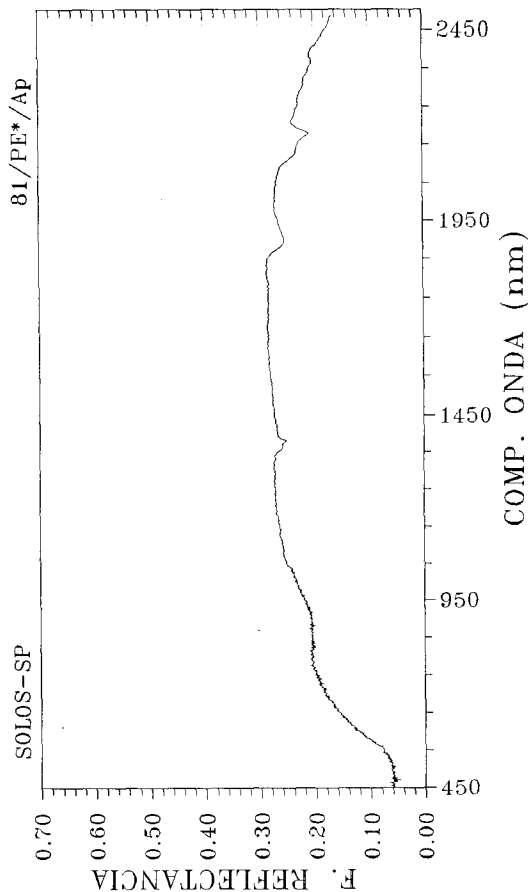
C.I.E./x 0,39 0,42

C.I.E./y 0,34 0,34

Brilho (%) 9,0 8,5

Pureza (%) 27,3 34,5

Comp.onda dom. 593,3 597,6



Perfil n° 1375 (curvas 83 e 84)

Classe de solo: Podzólico Roxo (PR)

Localização: Quadrícula de Piracicaba

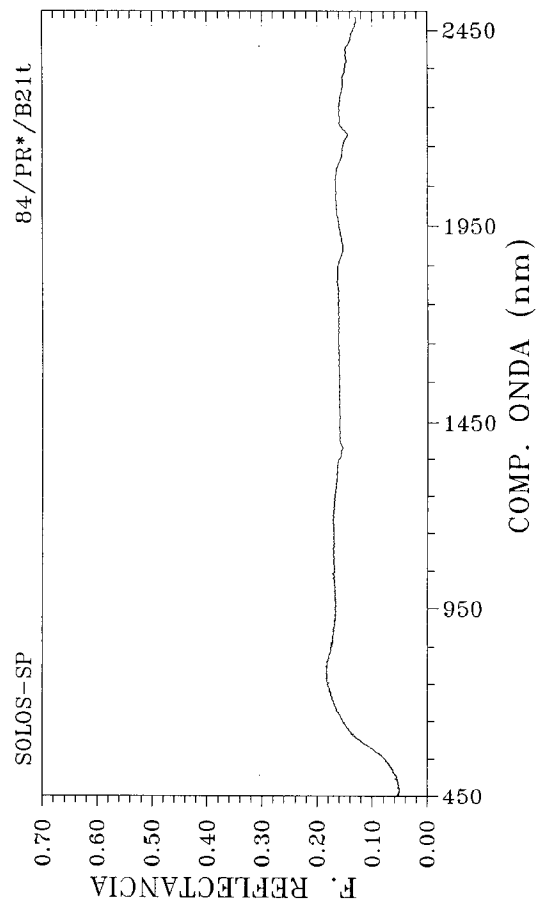
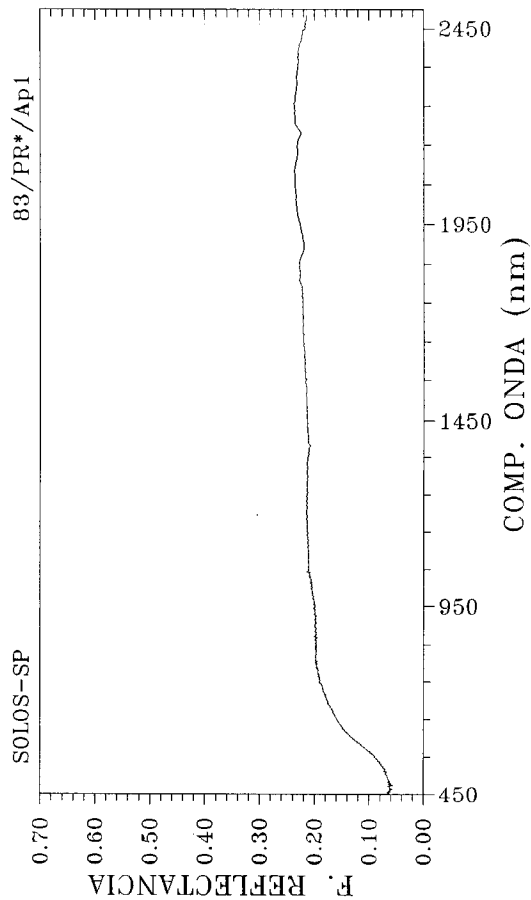
Horizonte Ap1 B21t

Areia grossa (%) 4
 Areia fina (%) 33
 Silte (%) 8
 Argila (%) 55

pH (H₂O) 5,6
 S 6,5
 T 10,8
 C (%) 1,3
 N (%) 0,14

Fe₂O₃ 17,4
 Al₂O₃ 7,5
 SiO₂ 7,9
 TiO₂ 11,3

Cor Munsell 5YR 4/6
 Nome Vm-Amd
 C.I.E./x 0,38
 C.I.E./y 0,35
 Brilho (%) 9,0
 Pureza (%) 28,2
 Comp.onda dom. 589,7
 590,5



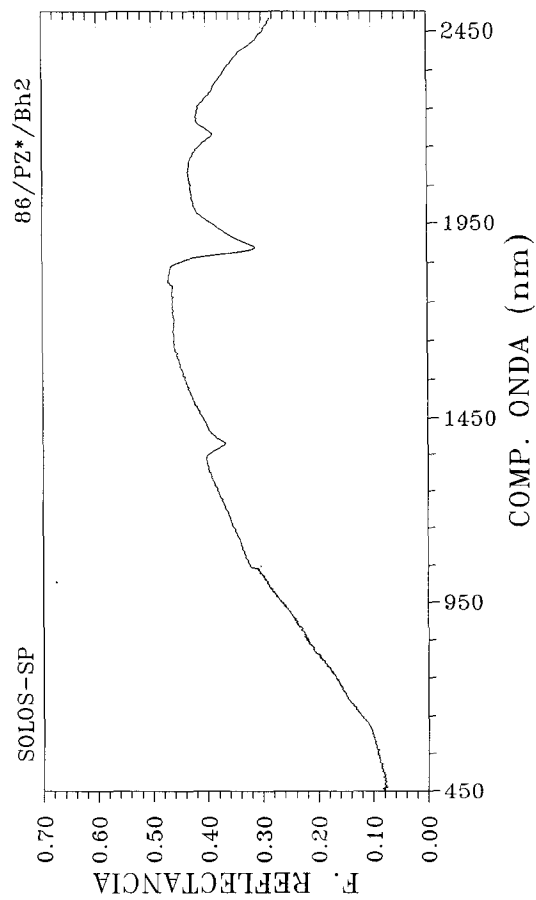
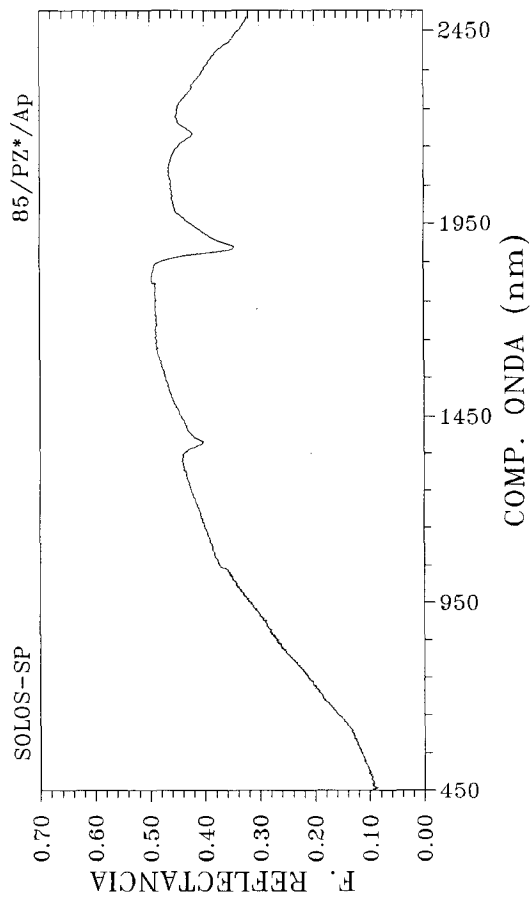
Perfil n° 1381 (curvas 85 e 86)

Classe de solo: Podzol (PZ)

Localização: Quadrícula de Piracicaba

Horizonte	Ap	Bh2
Areia grossa (%)	22	66
Areia fina (%)	66	1
Silte (%)	2	12
Argila (%)	10	7
pH (H ₂ O)	4,9	5,4
S	6,8	9,1
T	10,1	12,1
C (%)	1,2	1,6
N (%)	0,12	0,16
Fe ₂ O ₃	0,5	0,7
Al ₂ O ₃	2,8	2,8
SiO ₂	4,2	4,9
TiO ₂	0,2	0,3
Cor Munsell	10YR 5/2	N 4/0
Nome	Br-Czd	Cz-e
C.I.E./x	0,34	0,34
C.I.E./y	0,34	0,33
Brilho (%)	11,9	9,4
Pureza (%)	14,2	9,9
Comp.onda dom.	585,3	587,9

Obs.: Presença de argila de atividade alta (montemorilonita).



Perfil n° 1370 (curvas 87 e 88)

Classe de solo: Terra Roxa Estruturada (TE)

Localização: Quadrícula de Piracicaba

Horizonte Ap B21

Arcia grossa (%) 6
 Arcia fina (%) 22
 Silte (%) 11
 Argila (%) 61

pH (H₂O) 6,1
 S 7,6
 T 11,0
 C (%) 1,8
 N (%) 0,17

Fe₂O₃ 25,6
 Al₂O₃ 10,7
 SiO₂ 12,4
 TiO₂ 6,2

Cor Munsell 5YR 4/6 2,5YR 4/6

Nome Vm-Amd Vm

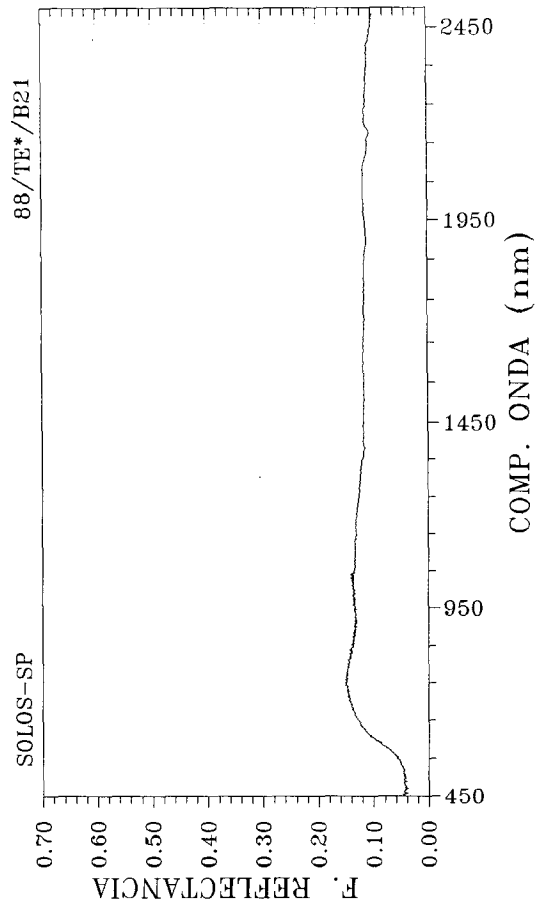
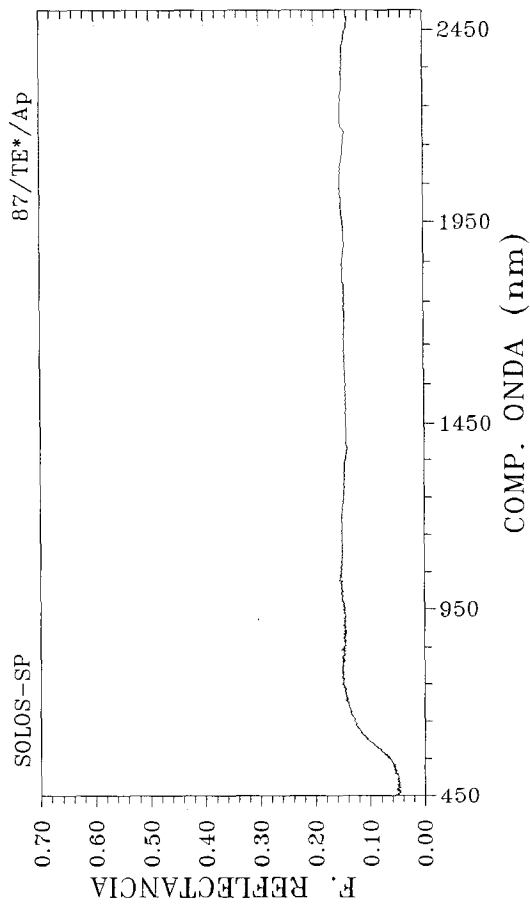
C.I.E./x 0,39 0,40

C.I.E./y 0,34 0,34

Brilho (%) 7,6 6,8

Pureza (%) 27,7 28,8

Comp.onda dom. 593,7 596,9



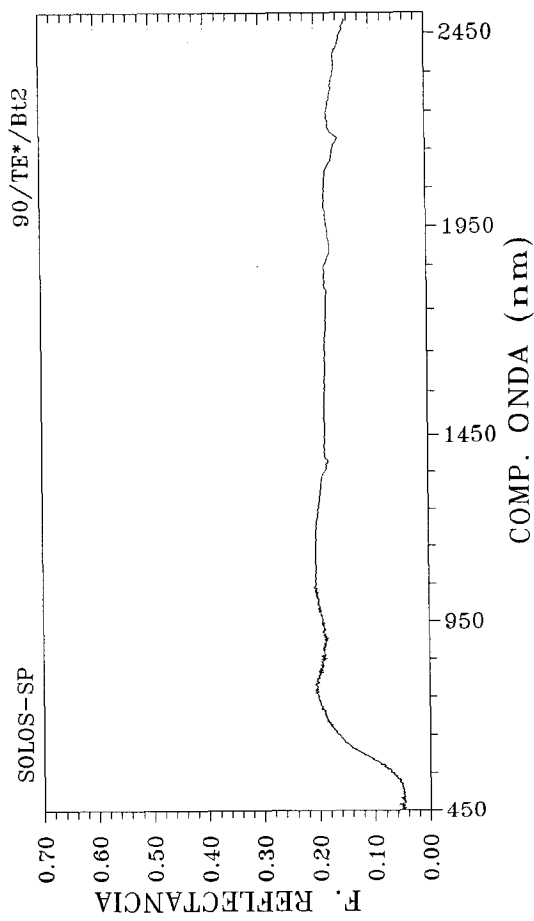
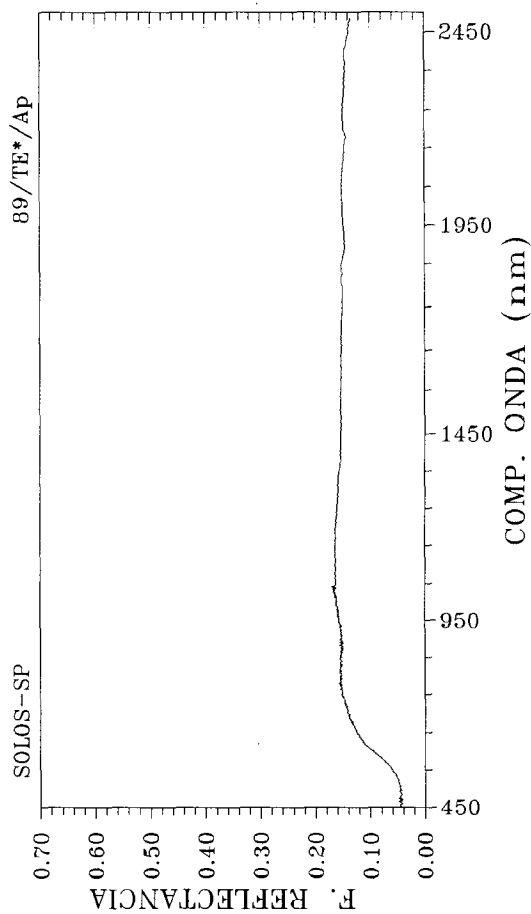
Perfil n° 1458 (curvas 89 e 90)

Classe de solo: Terra Roxa Estruturada (TE)

Localização: Quadrícula de Guaiúra

Horizonte	Ap	Bt2
Areia grossa (%)	13	6
Areia fina (%)	18	10
Silte (%)	29	15
Argila (%)	40	69
pH (H ₂ O)	6,1	6,4
S	8,5	6,5
T	11,5	8,0
C (%)	1,9	0,3
N (%)	...	...
Fe ₂ O ₃	17,8	...
Al ₂ O ₃	12,2	...
SiO ₂	15,6	...
TiO ₂	8,0	...
Cor Munsell	5YR 4/4	2,5YR 4/6
Nome	Br-Vmd	Vm
C.I.E./x	0,39	0,40
C.I.E./y	0,34	0,34
Brilho (%)	7,0	8,3
Pureza (%)	26,1	32,8
Comp.onda dom.	595,9	596,0

Obs.: Horizonte A chernozêmico.



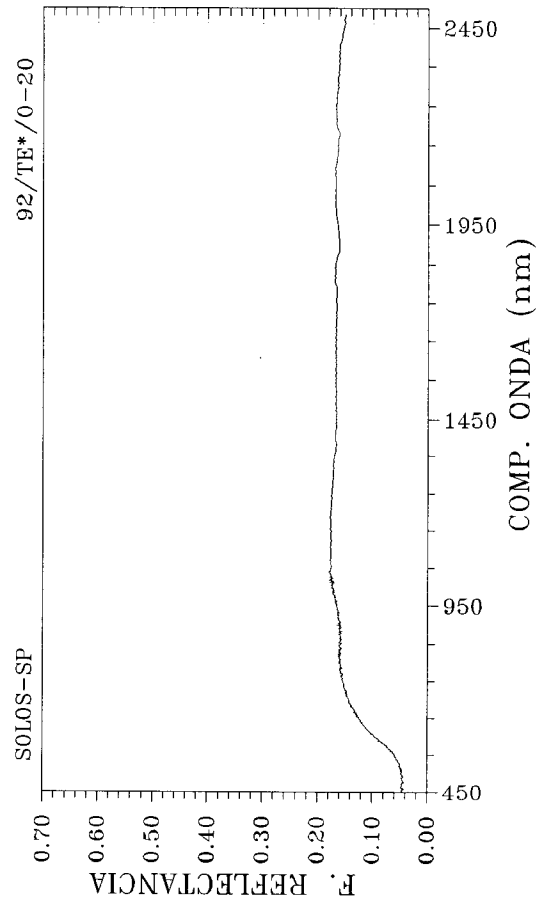
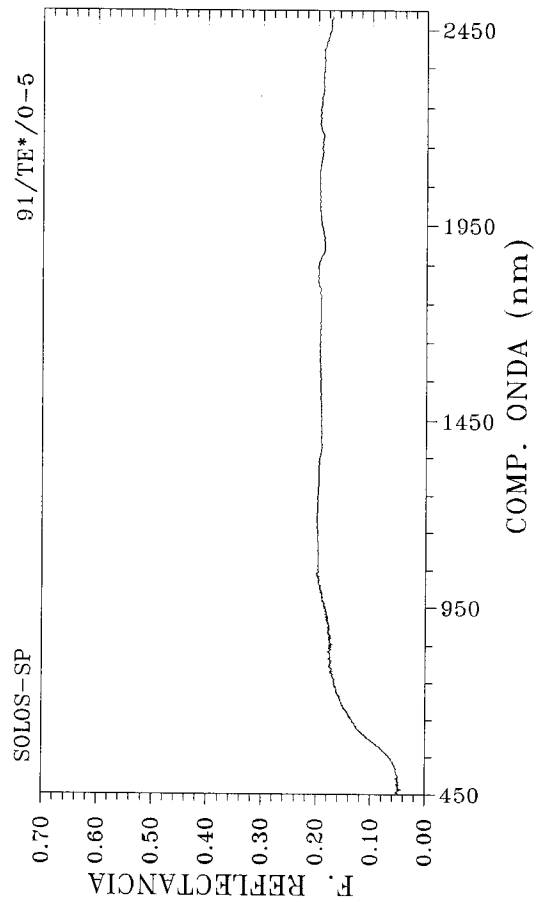
Perfil n° 1122 (curvas 91, 92 e 93)

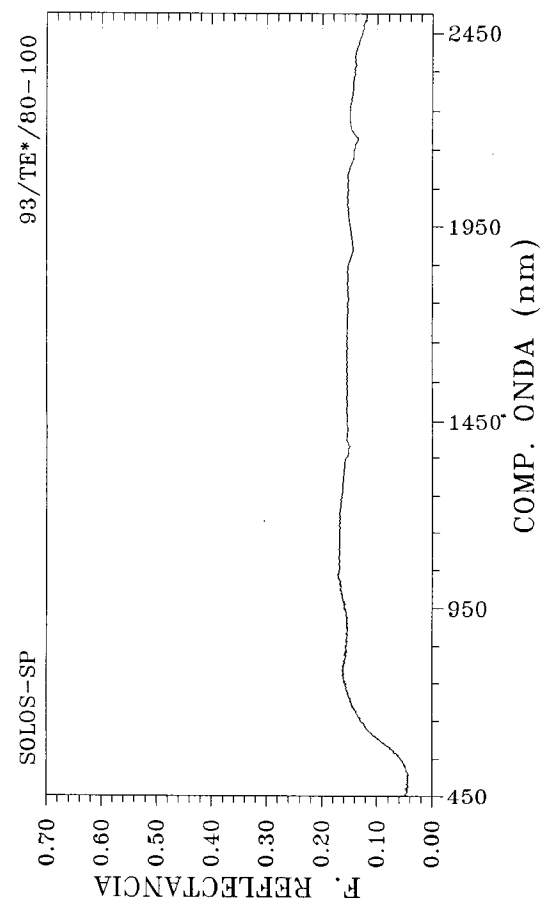
Classe de solo: Terra Roxa Estruturada (TE)

Localização: Quadrícula de Guaiçara

Camada	0-5	0-20	80-100
Areia grossa (%)	3	2	10
Areia fina (%)	9	9	6
Silte (%)	44	39	24
Argila (%)	44	50	69
pH (H ₂ O)	6,8	6,2	6,4
S	23,5	17,0	8,0
T	25,5	21,2	10,3
C (%)	4,6	2,7	0,4
N (%)	...	...	...
Fe ₂ O ₃	...	...	...
Al ₂ O ₃	...	...	...
SiO ₂	...	...	...
TiO ₂	...	...	...
Cor Munsell	5YR 4/6	2,5YR 3/4	10R 4/6
Nome	Vm-Amd	Br-Vmd-e	Vm
C.I.E./x	0,39	0,39	0,39
C.I.E./y	0,34	0,34	0,33
Brilho (%)	7,7	7,0	6,8
Pureza (%)	27,3	26,7	25,2
Comp.onda dom.	594,3	595,3	600,3

Obs.: Perfil sob mata.





Perfil nº 1123 (curvas 94 e 95)

Classe de solo: Terra Roxa Estruturada (TE)

Localização: Quadrícula de Guaíra

Camada 0-20 80-100

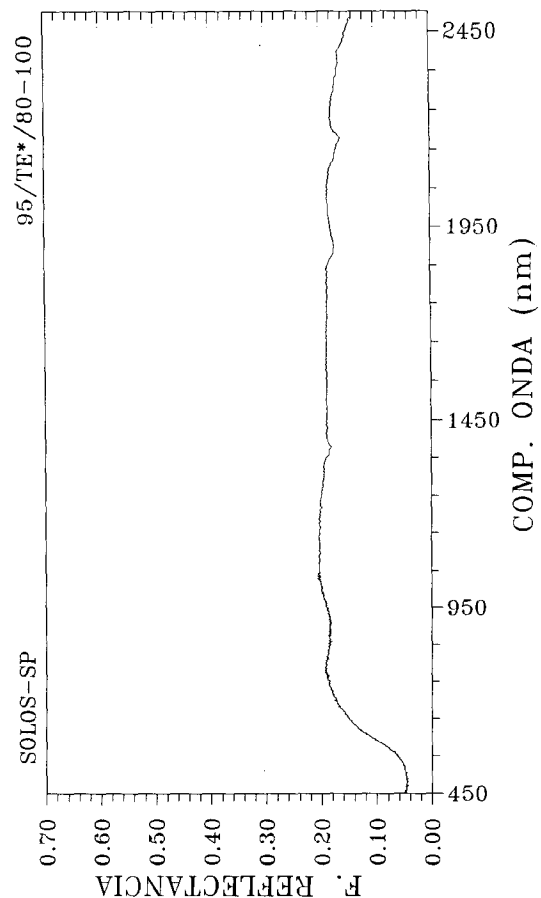
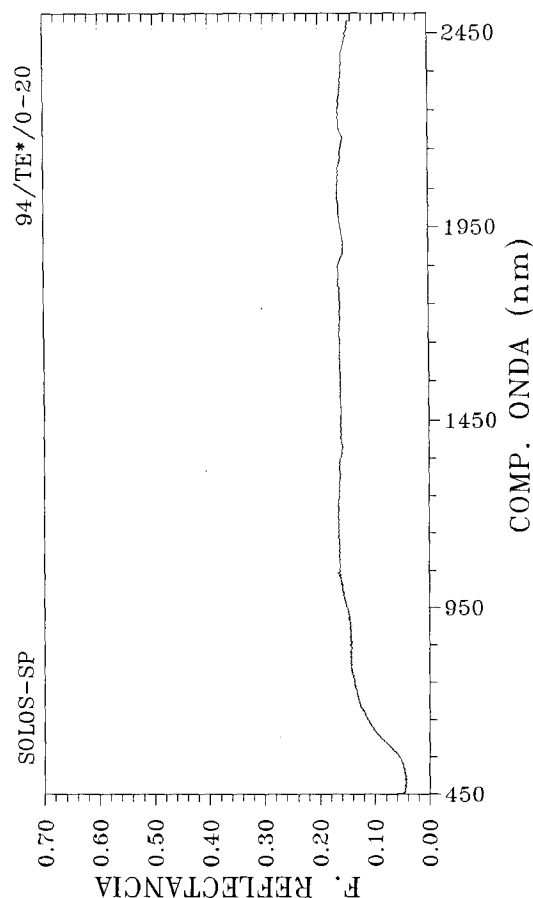
Areia grossa (%) 5 6
 Areia fina (%) 12 20
 Silte (%) 38 2
 Argila (%) 45 72

pH (H₂O) 6,7 6,5
 S 17,9 9,9
 T 22,5 11,9
 C (%) 1,8 0,3
 N (%)

Fe₂O₃
 Al₂O₃
 SiO₂
 TiO₂

Cor Munsell 2,5YR 3/6 2,5YR 4/6
 Nome Vm-e Vm
 C.I.E./x 0,38 0,40
 C.I.E./y 0,33 0,34
 Brilho (%) 6,5 7,7
 Pureza (%) 23,0 29,9
 Comp.onda dom. 597,6 597,3

Obs.: Perfil sob cultura (cana-de-açúcar).



Perfil n° 1345 (curvas 96 e 97)

Classe de solo: Brunizem Avermelhado (Bv)

Relatório: Ribeirão Preto, pg. 114.

Horizonte A11 B21t

Areia grossa (%) 6 3

Areia fina (%) 17 7

Silte (%) 45 34

Argila (%) 35 56

pH (H₂O) 5,9 6,3

S 18,2 24,1

T 19,9 26,2

C (%) 2,8 0,8

N (%) 0,23 0,07

Fe₂O₃ 23,6 22,3Al₂O₃ 7,7 12,9SiO₂ 18,5 22,1TiO₂ 6,6 6,9

Cor Munsell 5YR 3/4 5YR 3/4

Nome Br-Vmd-e Br-Vmd-e

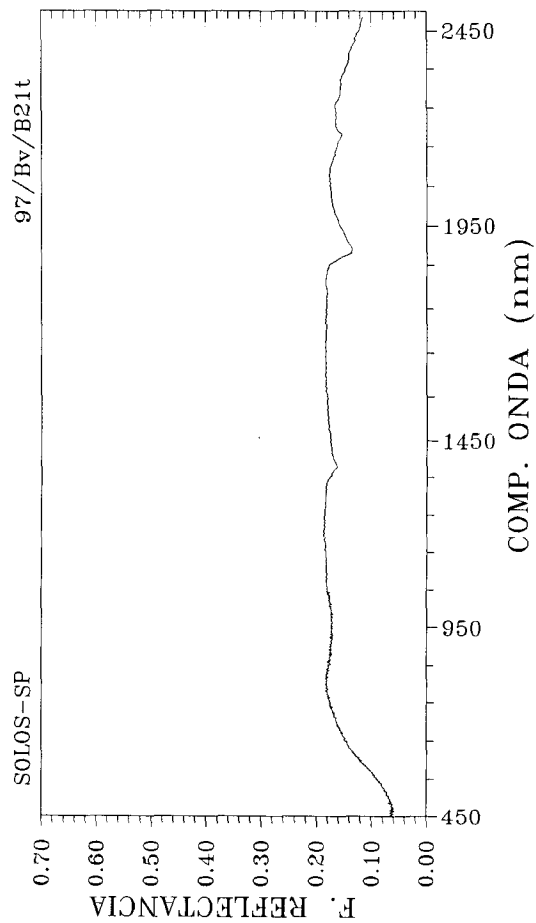
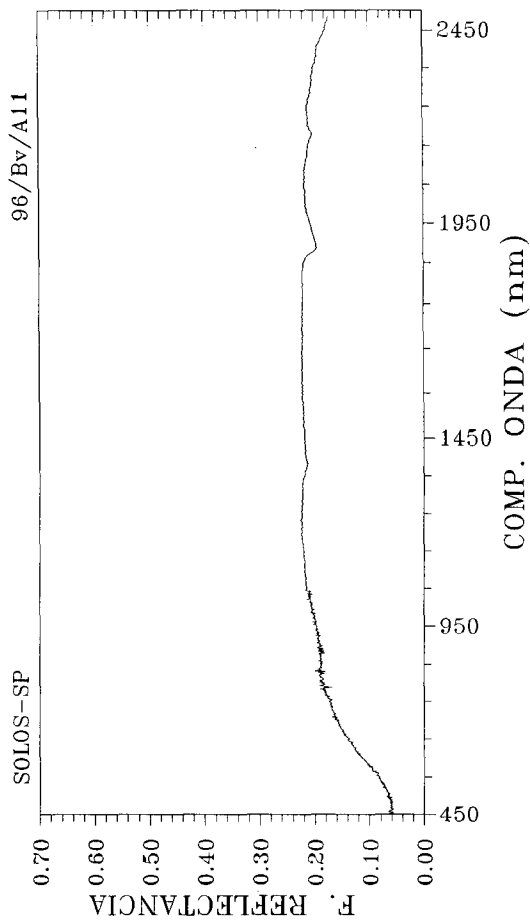
C.I.E./x 0,37 0,38

C.I.E./y 0,35 0,35

Brilho (%) 9,1 9,8

Pureza (%) 24,8 26,4

Comp.onda dom. 588,3 587,6

Obs.: Proveniente de colúvio de basalto.
Perfil sob pastagem.

Perfil n° 1352 (curvas 98 e 99)

Classe de solo: Arcia Quartzosa (AQ)

Relatório: Ribeirão Preto, pg. 120.

Horizonte Ap C1

Areia grossa (%) 38 47

Areia fina (%) 56 47

Silte (%) 0 1

Argila (%) 6 5

pH (H₂O) 5,2 4,8

S 0,6 0,2

T 3,3 2,4

C (%) 0,5 0,2

N (%) 0,05 ...

Fe₂O₃ 1,1 1,4Al₂O₃ 2,1 2,4SiO₂ 1,2 1,6TiO₂ 0,2 0,3

Cor Munsell 5YR 4/6 5YR 4/8

Nome Vm-Amd Vm-Amd

C.I.E./x 0,38 0,39

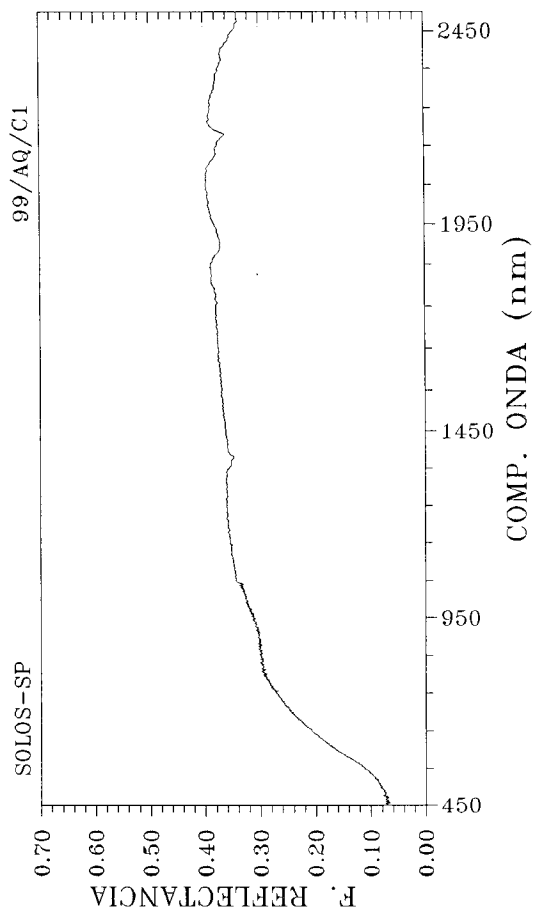
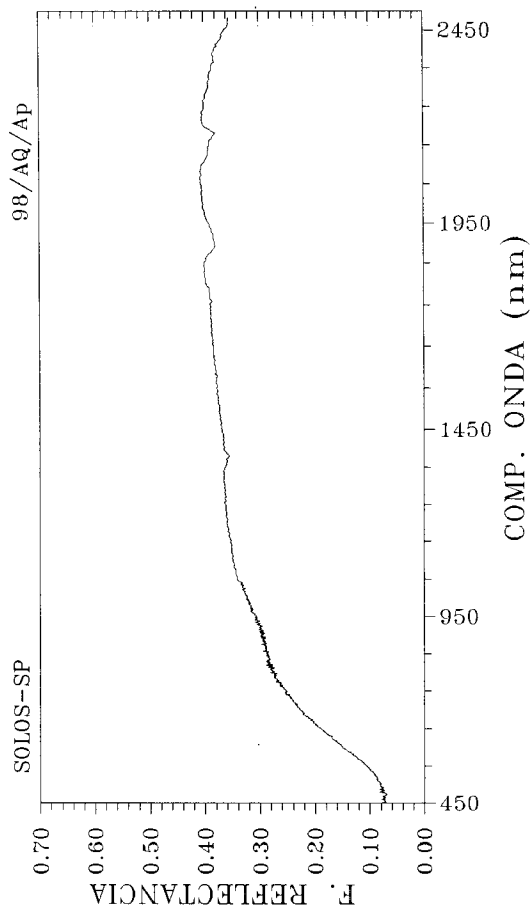
C.I.E./y 0,35 0,35

Brilho (%) 11,7 12,4

Pureza (%) 28,7 32,3

Comp.onda dom. 588,1 588,3

Obs.: Proveniente de sedimentos arenosos oriundos de retrabalhamento de arenito da formação Pirambóia. Perfil sob pastagem.



Perfil n° 1262 (curvas 100 e 101)

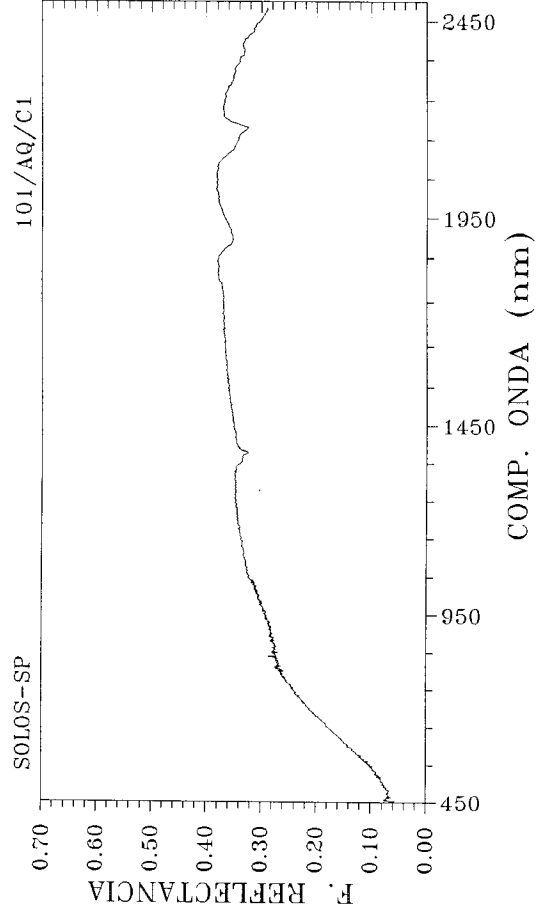
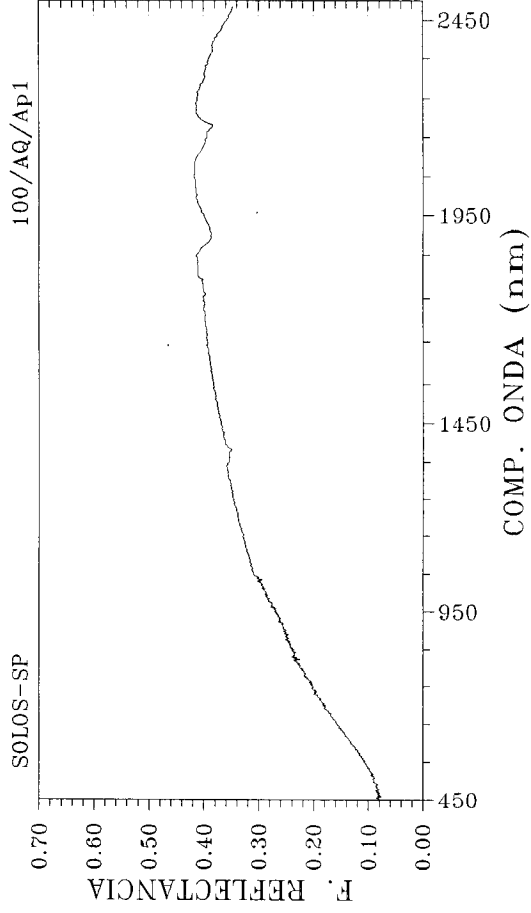
Classe de solo: Areia Quartzosa (AQ)

Relatório: São Carlos, pg. 164.

Horizonte	Ap1	C1
Areia grossa (%)	57	50
Areia fina (%)	33	38
Silte (%)	1	1
Argila (%)	9	11
pH (H ₂ O)	6,8	6,0
S	3,6	1,5
T	4,2	2,6
C (%)	0,4	0,4
N (%)	0,06	0,05
Fe ₂ O ₃	1,1	0,7
Al ₂ O ₃	1,1	2,3
SiO ₂	2,0	2,4
TiO ₂	0,3	0,4

Cor Munsell	7,5YR 4/2	7,5YR 4/4
Nome	Br	Br
C.I.E./x	0,36	0,38
C.I.E./y	0,34	0,35
Brilho (%)	11,2	11,2
Pureza (%)	19,1	29,3
Comp.onda dom.	586,8	586,8

Obs.: Proveniente de sedimentos derivados de arenitos da formação pirambóia. Perfil sob pastagem.



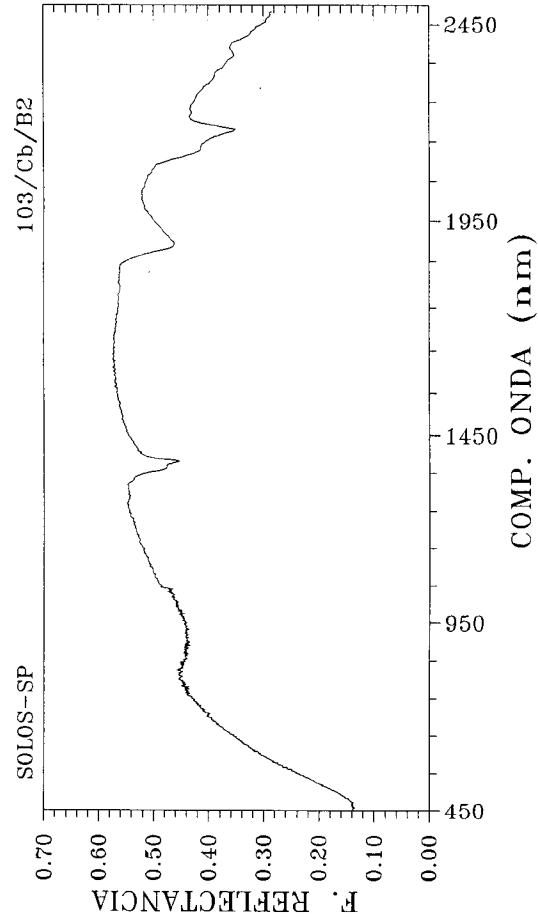
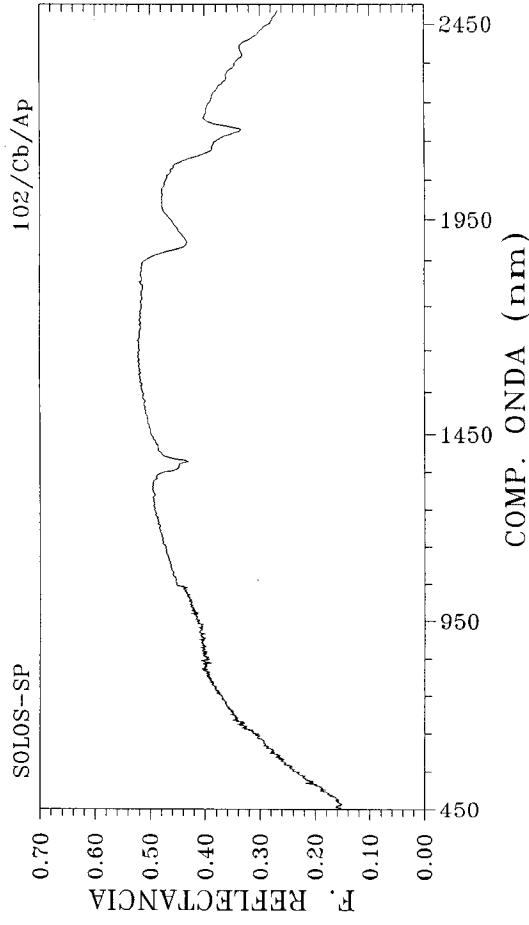
Perfil n° 1234 (curvas 102 e 103)

Classe de solo: Cambissolo (Cb)

Relatório: Araras, pg. 163.

Horizonte	Ap	B2
Areia grossa (%)	1	0
Areia fina (%)	28	56
Silte (%)	22	13
Argila (%)	49	31
pH (H ₂ O)	4,4	4,4
S	2,5	0,8
T	8,7	4,0
C (%)	1,5	0,4
N (%)	0,15	...
Fe ₂ O ₃	4,6	3,8
Al ₂ O ₃	20,9	14,1
SiO ₂	26,1	15,4
TiO ₂	1,0	1,0
Cor Munsell	10YR 6/4	10YR 6/6
Nome	Br-Amnd-c	Am-Brd
C.I.E./x	0,36	0,38
C.I.E./y	0,36	0,37
Brilho (%)	24,0	24,9
Pureza (%)	25,9	34,1
Comp.onda dom.	580,6	582,5

Obs.: Proveniente de sedimentos fluviais. Perfil sob mata.



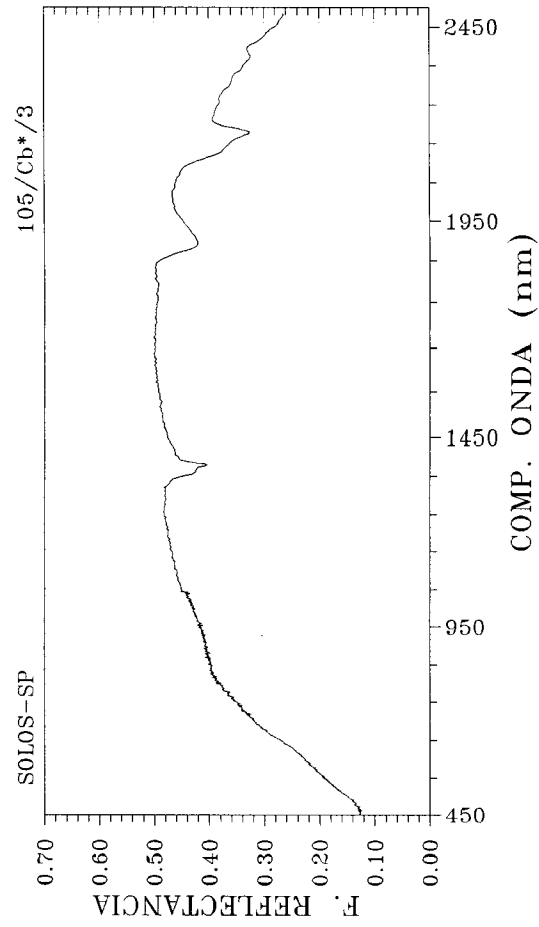
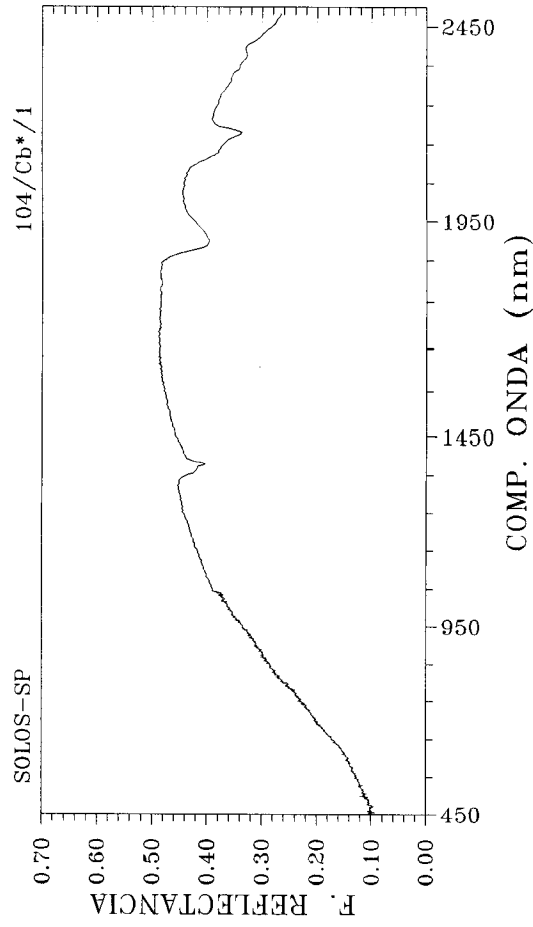
Perfil n° 1255 (curvas 104 e 105)

Classe de solo: Cambissolo (Cb)

Localização: Quadrícula de Araras

Camada	1	3
Areia grossa (%)	27	40
Areia fina (%)	32	30
Silte (%)	9	5
Argila (%)	27	25
pH (H ₂ O)	5,0	4,7
S	0,3	0,2
T	3,6	3,6
C (%)	1,62	0,35
N (%)	...	...
Fe ₂ O ₃	...	...
Al ₂ O ₃	...	...
SiO ₂	...	...
TiO ₂	...	...
Cor Munsell	10YR 5/3	10YR 6/4
Nome	Br	Br-Amd-c
C.I.E./x	0,35	0,36
C.I.E./y	0,34	0,36
Brilho (%)	13,1	19,6
Pureza (%)	15,4	25,0
Comp.onda dom.	583,8	582,3

Obs.: Horizonte A proeminente.



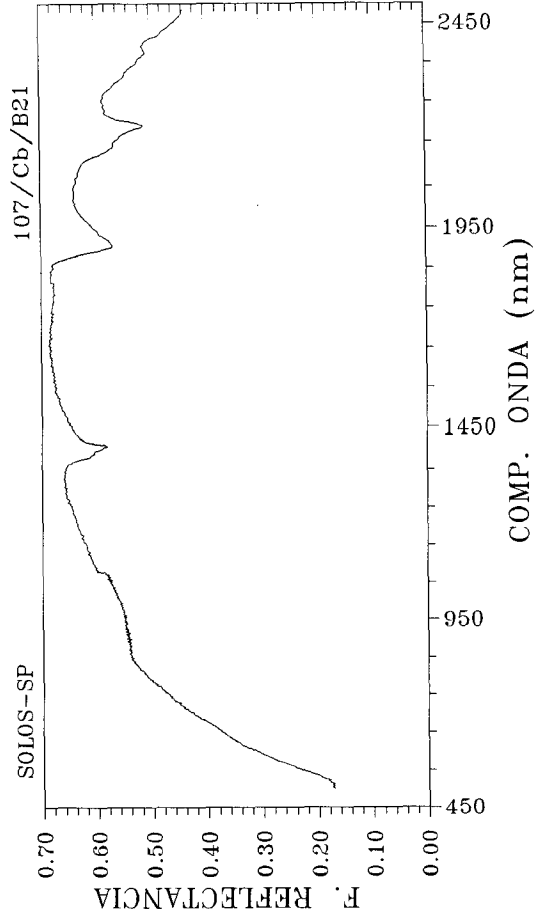
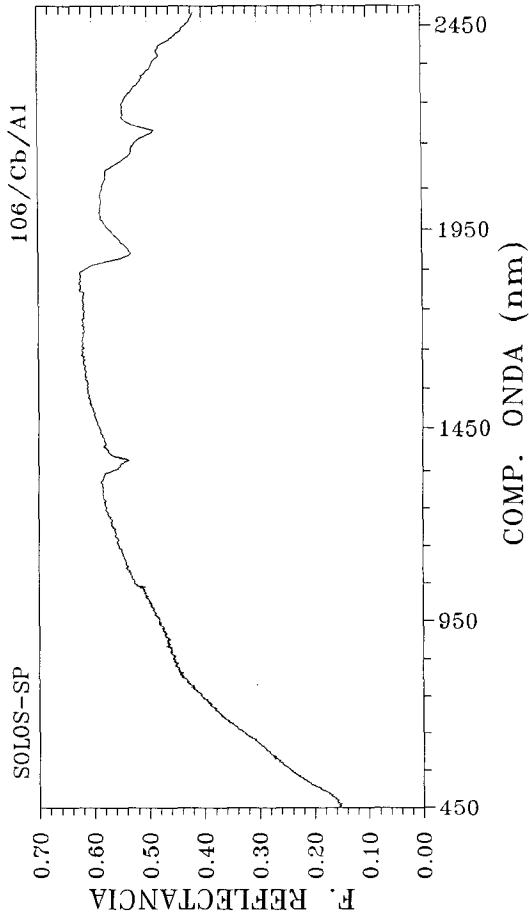
Perfil n° 1206 (curvas 106 e 107)

Classe de solo: Cambissolo (Cb)

Relatório: Campinas, pg. 145.

Horizonte	A1	B21
Areia grossa (%)	1	1
Areia fina (%)	60	54
Silte (%)	21	22
Argila (%)	18	23
pH (H ₂ O)	5,7	5,6
S	4,5	3,6
T	5,9	5,0
C (%)	1,4	0,6
N (%)	0,11	0,06
Fe ₂ O ₃	2,1	2,1
Al ₂ O ₃	7,7	9,1
SiO ₂	7,9	9,5
TiO ₂	0,2	0,3
Cor Munsell	10YR 7/6	2,5Y 7/6
Nome	Am	Am
C.I.E./x	0,37	0,38
C.I.E./y	0,36	0,37
Brilho (%)	24,6	31,4
Pureza (%)	27,1	33,2
Comp.onda dom.	580,5	579,9

Obs.: Proveniente do retrabalhamento de sedimentos do grupo Tubarão. Perfil sob pastagem.



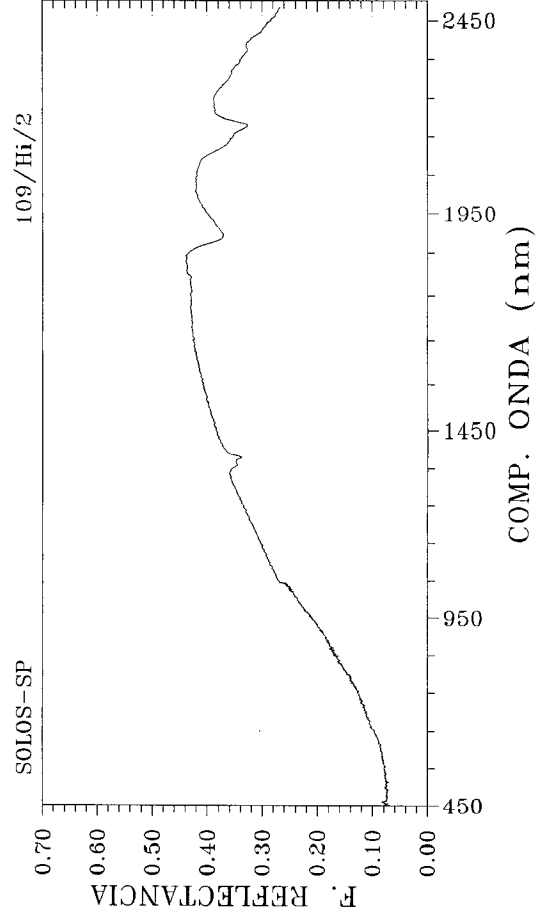
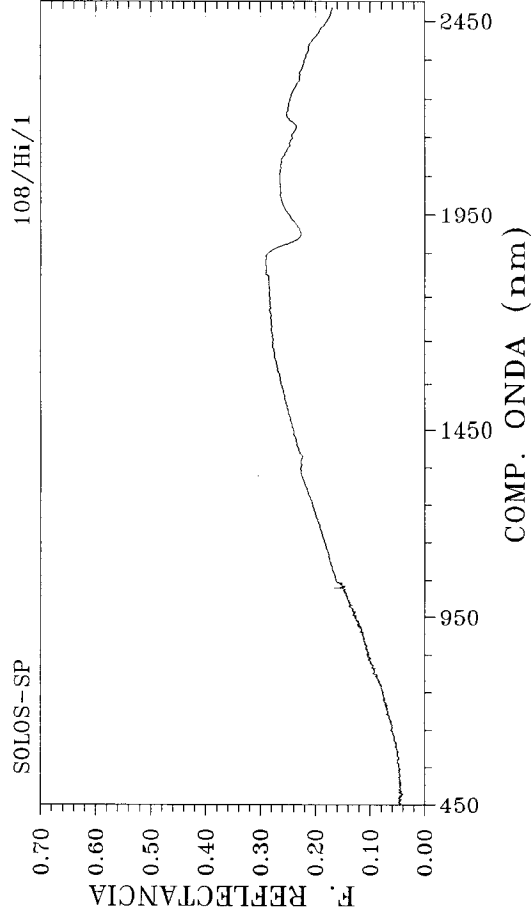
Perfil n° 1236 (curvas 108 e 109)

Classe de solo: Hidromórfico (Hi)

Relatório: Araras, pg. 171.

Camada	1	2
Areia grossa (%)	27	40
Areia fina (%)	28	29
Silte (%)	13	5
Argila (%)	32	26
pH (H ₂ O)	4,4	4,2
S	0,5	0,4
T	28,1	9,8
C (%)	9,0	1,2
N (%)	0,45	0,10
Fe ₂ O ₃	0,5	0,5
Al ₂ O ₃	16,6	8,3
SiO ₂	16,4	9,1
TiO ₂	1,0	0,7
Cor Munsell	7,5YR 2/0	7,5YR 3/0
Nome	Pr	Cz-me
C.I.E./x	0,32	0,32
C.I.E./y	0,31	0,31
Brilho (%)	4,9	8,0
Pureza (%)	3,6	3,1
Comp.onda dom.	494,1	493,0

Obs.: Proveniente de sedimentos fluviais.
 Presença de glei húmico.
 Perfil em terreno drenado e arado.



Perfil n° 1393 (curvas 110 e 111)

Classe de solo: Hidromórfico (Hi)

Localização: Quadrícula de Campinas

Horizonte A11 C2g

Areia grossa (%) 20

Areia fina (%) 16

Silte (%) 16

Argila (%) 48

pH (H₂O) 4,2

S 0,4

T 7,6

C (%) 2,3

N (%) 0,21

Fe₂O₃ 1,3Al₂O₃ 15,4SiO₂ 18,9TiO₂ 1,5

Cor Munsell 5YR 5/2 10R 5/2

Nome Cz-Vmd Vm-Czd

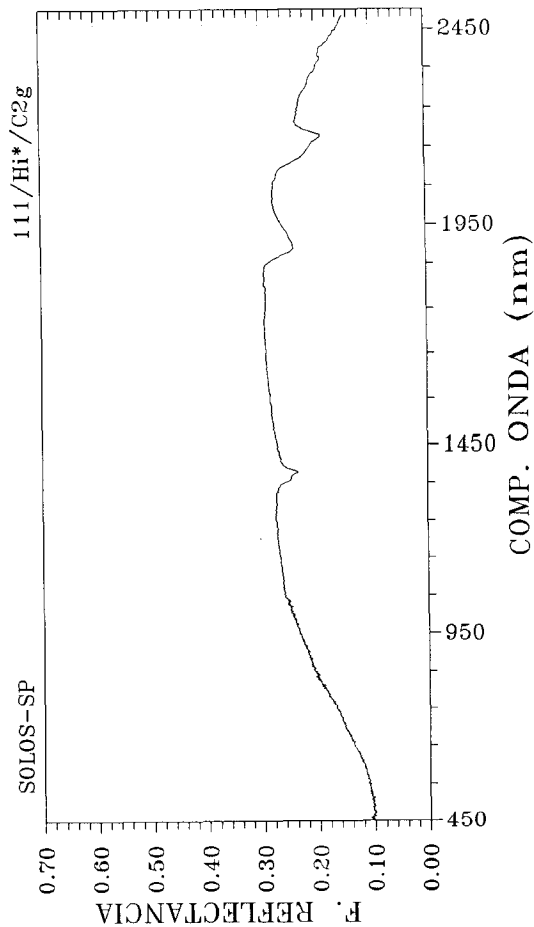
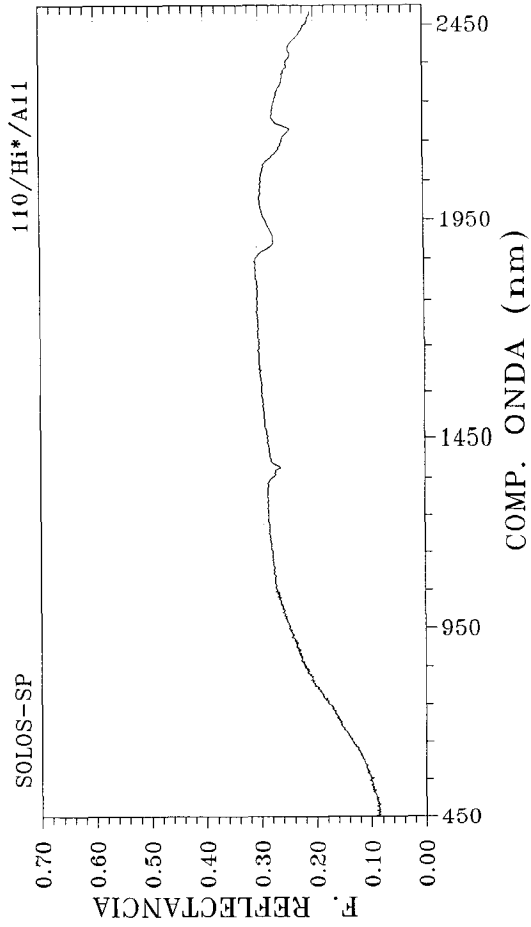
C.I.E./x 0,34 0,33

C.I.E./y 0,33 0,32

Brilho (%) 10,5 11,3

Pureza (%) 5,1 5,1

Comp.onda dom. 588,3 598,5



profundidade da amostra. Quando o perfil faz parte de relatório já publicado ou já se tinha a denominação final do horizonte, segue-se a notação de relatório (A1, B22, B22t, etc.). Quando a amostra é referente a perfil ainda não publicado em relatório ou não se tinha ainda a denominação final do horizonte, indica-se a camada (1, 3, etc.) ou a profundidade da amostra (0 - 5; 80 - 100, etc., em centímetros).

Ainda no gráfico de curvas espectrais está representado o Fator de Reflectância na ordenada, cuja variação vai de 0,0 a 0,7 ou seja, de 0 a 70%, que abrange toda a gama de valores encontrados. Os comprimentos de onda estão na abscissa e variam de 450 a 2500 nm, com intervalos marcados de 100 em 100 nm. Durante a discussão dos resultados, os comprimentos de onda serão referidos tanto em nanômetro (nm) como em micrômetro (μm). Procurou-se fazer todos os gráficos na mesma escala e com os mesmos intervalos para que as comparações desejadas pudessem ser feitas de um modo mais direto.

6.2 - Forma geral das curvas

Ao observar as curvas espectrais de solos nota-se que há uma diversidade tanto na configuração de forma como na magnitude dos fatores de reflectância.

Como apresentado na revisão de literatura, Condit (1970), Stoner e Baumgardner (1980), Formaggio (1984) e outros observaram tais variações e tentaram classificar as curvas segundo alguns padrões gerais. Quando se analisam as curvas 2/LR/A1 (a partir de agora referida apenas com o número de ordem (2)), 32 e 68 tem-se a clara noção da diferenciação dos três alvos. As curvas semelhantes à 2 não haviam sido descritas por Condit (1970, 1972), sendo colocadas no tipo 5 por Stoner e Baumgardner (1980), que analisaram um perfil de Latossolo Roxo de Londrina - PR.

A curva tipo 1 de Condit (1970) e Stoner e Baumgardner (1980) é caracterizada por uma leve concavidade na região que vai até 1000 nm, e por uma inclinação constante daí até 1300 nm. Um exemplo desse tipo de curva é a de número 86 (Podzolizado) e a 104 (Cambissolo).

O tipo 2 de curva seria caracterizado por uma feição nitidamente convexa desde o visível até 1300 nm, sendo assinalada por uma sutil inclinação entre 600 e 700 nm. Exemplos seriam as curvas 47 (Latossolo Amarelo) e 100 (Areia Quartzosa).

O terceiro tipo de curva apresenta uma inclinação ascendente forte e levemente decrescente até 600 nm, seguida por um sutil inclinação quase nula de

620 a 740 nm, ou mesmo negativa de 760 a 880 nm. Além de 880 nm a inclinação aumenta com o aumento do comprimento de onda. As curvas 56 (Latossolo Una) e 50 (Latossolo Vermelho Amarelo) enquadram-se neste tipo.

Esses três tipos básicos de curvas foram inicialmente descritos por Condit (1970). Entretanto, Stoner e Baumgardner (1980) relataram mais dois tipos, principalmente em função da limitação do instrumento de Condit (1970), que lhe restringiu a abrangência espectral à região do visível e infravermelho próximo. Assim, um quarto tipo de curva seria semelhante à do tipo 3, com uma inclinação decrescente de 880 a 1000 nm, tornando-se igual a zero e mesmo negativa de 1000 a 1300 nm. Enquadrando-se neste tipo pode-se ver a curva 52 (Latossolo Vermelho Amarelo) e 36 (Latossolo Vermelho Escuro).

Ainda uma outra modificação da curva tipo 3 seria a curva do tipo 5, na qual a inclinação cai a zero e torna-se negativa de 750 a 1300 nm. Neste tipo de curva, a reflectância em 1300 nm é realmente menor que a reflectância observada na região espectral do vermelho. Este padrão pode ser visto nas curvas espectrais 4, 22, 54 (Latossolo Roxo, Latossolo Roxo, e Latossolo Roxo Una, respectivamente).

A classificação das curvas espectrais em padrões gerais pode fornecer algumas indicações gerais quanto às propriedades dos solos. Por exemplo, dois latossolos Vermelho Escuros (38 e 42), com teores diferentes de F_2O_3 . A amostra 38 tem 13,6% e a 42 tem 3,2%, respectivamente. Podem ser enquadradas nas curvas de tipo 5 e 3, respectivamente.

6.3 - Particularidades das curvas

Outra forma de analisar o comportamento espectral das amostras de solos é fazer uma divisão espectral em segmentos. Então definem-se características da curva em tais segmentos, visando uma posterior classificação das amostras em função de tais características das curvas. Segundo esse procedimento, vários (Tabela 6.1) segmentos e características das curvas foram estabelecidos.

Matéria orgânica

A matéria orgânica é uma característica do solo que exhibe grandes variações em teores. A distribuição da matéria orgânica varia de duas maneiras. A primeira é quanto à localização do perfil, por exemplo, se sob cultura ou sob mata. Outra é em profundidade, ou seja, no perfil de solo há geralmente uma diminuição de matéria orgânica do horizonte superficial para os subsuperficiais.

TABELA 6.1 - Definição de características e segmentos das curvas espectrais .

REGIÃO	PARÂMETRO	TIPO	CURVAS
0,45-0,60 (μm)	<i>inclinação</i>	nula média forte	1 43, 100 102, 103, 107
0,5-0,6 (μm)	<i>concauidade</i>	nula ligeira moderada forte	43, 67, 74, 103 66, 68 8, 31, 52, 62 2, 4, 54
0,6-0,75 (μm)	<i>forma</i>	linear ligeiramente convexo convexo ligeiramente côncavo côncavo misto	101, 107 71, 78, 96 10, 14, 54, 90 105 44, 56 32
0,7-0,85 (μm)	<i>forma</i>	linear lig. convexo convexo lig. côncavo misto	61, 65, 67, 104 3, 34, 60, 103, 106 2, 32, 44, 54, 56 111 36
0,8-1,05 (μm)	<i>forma</i>	linear ligeiramente convexo ligeiramente côncavo côncavo misto	3, 33, 43, 59, 61, 67, 100, 104, 111 65, 110 29, 34, 54, 60, 62, 102 32, 36, 44, 103 64
1,05-1,35 (μm)	<i>sentido</i>	ascendente plano descendente	31, 32, 41, 47, 66, 72, 107 1, 2, 3, 17, 33, 42, 84 4, 18, 30, 54, 88
1,55-1,90 (μm)	<i>sentido</i>	ascendente plano descendente	31, 41, 67, 79, 100, 101 19, 20, 32, 42, 68, 69, 102, 103 70
1,90-2,5 (μm)	<i>feições de absorção</i>	nulas fracas moderadas intensas	4, 7, 9, 10, 87 35, 36, 41, 46, 52, 59, 76, 83, 96, 99 47, 64, 74, 111 48, 50, 72, 78, 80
0,45-0,75 (μm)	<i>reflectância (albedo)</i>	baixa (< 20%) moderada (25 - 30%) alta (> 30%)	1, 2, 4, 49, 52, 63, 75, 84, 88, 109 31, 32, 56, 82, 99, 101 50, 67, 72, 74, 103, 107
1,0-1,4 (μm)	<i>reflectância (albedo)</i>	baixa (< 25%) moderada (25 - 40%) alta (> 40%)	2, 3, 4, 46, 60, 88 41, 44, 47, 49, 64, 80, 86, 111 48, 50, 68, 69, 70, 72, 103, 107
1,5-1,9 (μm)	<i>reflectância (albedo)</i>	baixa (< 25%) moderada (25 - 40%) alta (> 40%)	2, 3, 4, 76, 87 32, 41, 43, 64, 81, 98, 99, 111 44, 48, 68, 71, 80, 86, 103

A matéria orgânica tem marcada influência no comportamento espectral dos solos. Tem o notável efeito de mascarar feições espectrais devidas a outras características. Em outras palavras, conduz a uma linearização da curva espectral.

Assim, podem ser tomadas as curvas 49 e 50 como exemplo de tal influência. A curva 50, que se refere ao horizonte subsuperficial, com 0,4% de carbono orgânico, apresenta feições ao redor de 700 e de 950 nm. Na curva 49, referente ao horizonte superficial, onde o teor de carbono é 1,2%, há um mascaramento destas feições, fazendo com que a curva fique linear até 1400 nm.

Numa tentativa de observar possíveis efeitos diferenciados nos comportamentos espectrais devidos à presença da matéria orgânica, para alguns solos forma coletadas amostras sob mata. As curvas 3 a 7 (sob cerradão e sob cana-de-açúcar), 8 a 12 (sob cerrado e em solo arado), e 26 a 30 (sob cerrado e sob sorgo) são exemplos. Observa-se que os horizontes profundos dos solos sob cerradão pouco se diferenciam dos sob cultura. Os mais superficiais, quando amostrados de 0-20 cm também se assemelham entre si. Note-se porém, um mascaramento das feições típicas que aparecem nos horizontes mais profundos. Entretanto, caso se compare a amostra mais superficial (0-5 cm, curva 8, cerradão) com a amostra 0-20 cm (curva 11, solo arado), tais diferenças ampliam-se ainda mais. Isto se deve não só à diferença de teor de matéria orgânica, mas provavelmente também a uma diferença na constituição da matéria orgânica.

Outra observação a fazer é quanto aos teores matéria orgânica e a magnitude de sua influência no comportamento espectral. Tomem-se, por exemplo, as curvas 10 e 12 por referência (1,4 e 1,1% de carbono orgânico). Agora comparem-se os teores de carbono orgânico encontrados nas curvas 9 e 11 (24,9 e 2,2%, respectivamente). Conclui-se que teores acima de um valor relativamente baixo (em torno de 1,5%) de carbono orgânico há cessação de efeitos sobre a curva espectral.

Distribuição de tamanho de partículas

A discussão da influência da granulometria sobre o comportamento espectral dos solos é de difícil consecução sem se levar em consideração a mineralogia e o material de origem do solo. Entretanto, na medida do possível tais discussões serão conduzidas separadamente.

A literatura tem descrito um relacionamento variável entre tamanho da partícula e reflectância. Sucintamente, quando se analisam materiais puros, há uma relação direta entre reflectância e tamanho da partícula. Quando se trata de material natural, como o solo, por exemplo, há uma relação inversa, principalmente pela adsorção de água e pela formação de microssombreamentos no interior da amostra.

As curvas 38 e 40, de Latossolos Vermelho Escuros, com 59 e 27% de argila, e 38 e 71% de areia fina mais grossa, respectivamente, mostram relacionamento inverso entre diâmetro de partícula (granulometria) e reflectância. Ou seja, a curva 38 apresenta níveis de reflectância maiores que a 40.

Neste trabalho, outros casos podem ser estudados. A curva 46 é de um Latossolo Vermelho Amarelo com 35% de argila e a curva 50, também de um Latossolo Vermelho Amarelo, porém com 16% de argila. Observa-se que a reflectância na curva 46 é menor que a da curva 50 em toda sua extensão. É uma indicação de que há um relacionamento inverso entre reflectância e teor de argila. Porém, tal relação nem sempre se mostra conforme este modelo. A curva 44, por exemplo, representa o mesmo tipo de solo, mas com 80% de argila. Entretanto, a magnitude da reflectância é intermediária às curvas 46 e 50. O teor de argila, neste caso, não condicionou a redução da reflectância. Isso denota o fato de que a reflectância do solo não representa a expressão de nenhum fator característico do solo isoladamente.

Mineralogia e material de origem

A mineralogia é um aspecto da maior importância ao se tratar do comportamento espectral de solos. Particularmente em regiões de clima quente e solos intemperizados, os minerais constituintes da fração argila podem imprimir feições marcantes nas curvas espectrais.

Quando aumenta o teor de óxidos de ferro, há uma depressão, ou concavidade, na região próxima a 450 nm. É que em 435 nm e em 480 nm a goetita exerce forte absorção; e em 445 nm e em 530 nm a hematita também exerce forte absorção. A reflectância da goetita e da hematita puras nessa região é de aproximadamente 3 e 5%, respectivamente. Em 650 nm, também há absorção por ambos os minerais, porém a magnitude da absorção é inferior e diferenciada para cada mineral (reflectância de 13 e de 18% para a goetita e para a hematita, respectivamente). Em 917 nm e em 885 nm situam-se outro pontos de absorção pela goetita e pela hematita, respectivamente. De modo geral, a reflectância da goetita é inferior à da hematita.

Quando há os dois minerais, a feição ao redor de 500 nm é larga, como nas curvas 2 e 36. Quando há ferro associado a uma baixa indicação da presença de hematita, tal feição é estreita, como na curva 44. Outra feição identificadora da presença do ferro é a concavidade que se observa ao redor de 900 nm, devida tanto à hematita quanto à goetita. Quando o teor de ferro é elevado, normalmente tal feição aparece associada à feição larga que ocorre próximo a 500 nm. Porém pode aparecer dissociada desta última, como na curva 44 e 107.

As feições devidas ao ferro são marcantes, como nos Latossolos Roxos, que são ricos em ferro por definição, e nas Terras Roxas Estruturadas. Isso pode ser notado nas curvas referentes ao Latossolo Roxo e em outras em que é expressivo o teor de óxido de ferro, como a 40, 80, 84, 88.

Entretanto, outros óxidos, principalmente de ferro e de manganês também imprimem características próprias às curvas espectrais de solos. A magnetita tem como característica imprimir um rebaixamento geral da reflectância desde $0,4 \mu\text{m}$ até $2,5 \mu\text{m}$, sem apresentar bandas especiais de absorção. Assim, solos provenientes de rochas ricas em minerais opacos podem apresentar reflectâncias espectrais baixas. O basalto dá origem a solos ricos em ferro. Caso haja mais hematita que goetita, o solo apresenta-se vermelho. Caso haja teores elevados de goetita, o solo pode apresentar-se amarelo. Caso haja muita magnetita, o albedo do espectro é baixo.

Nem sempre, a associação direta entre teor em ferro e espectros de baixa reflectância pode ser feita. Solos com altos teores de ferro podem apresentar tanto albedos baixos como altos. Um exemplo são as curvas 42 e 103. Embora a curva 42 refira-se a uma amostra com menor teor de ferro (3,2%), sua reflectância é menor que a da amostra 103 (3,8%).

Outros minerais e óxidos também imprimem características próprias às curvas espectrais. A caulinita apresenta picos de absorção próximos a 1400 e 2200 nm, e a gibisita tem os picos de absorção próximos a 1550 e 2300 nm. Tais feições de absorção surgem com nitidez nas curvas espectrais de solos que possuem tais minerais, como por exemplo nas amostras 103, 107 e 44.

Observou-se que, de maneira geral, os solos com baixos valores de reflectância ao longo do espectro apresentam feições de absorção menos pronunciadas, como é o caso das curvas 10, 34 e 52, por exemplo. Isso se deve, entre outros fatores, a fato de que quando o espectro tem baixo albedo, os níveis de base das feições de absorção podem estar próximos do nível de base do espectro. Conseqüentemente, as feições de absorção ficam mascaradas, ou seja, mais sutis.

As curvas espectrais mostradas apresentem fortes indícios de potencial para inferências sobre constituição físico-química do solo. Não obstante, análises mais detalhadas e de maior diversidade de solos são necessárias a fim de que as afirmações possam ser feitas com maior segurança.

Cor do solo

A cor é uma das características do solo que primeiro se nota, e cor pode ser indicativa de propriedades do solo. Porém, como é resultante da reflectância de uma pequena parte do espectro eletromagnético (aquela que sensibiliza o olho

humano), a inferência de propriedades do solo fica restrita. Neste aspecto, a análise de uma porção maior do espectro deve ser considerada.

Em verdade, a cor do solo é o resultado do balanço entre os diversos níveis e localizações das absorções que ocorrem entre 400 e 750 nm, aproximadamente. Se não houvesse absorções, o solo seria branco. Entretanto, como no fenômeno da absorção há "retirada" de determinados comprimentos de onda, a combinação dos comprimentos de onda restantes é que irá imprimir a cor ao solo.

Assim, um solo que tenha elevado conteúdo de hematita será vermelho, pois a hematita tem forte absorção nas regiões do verde (530 nm) e do azul (445 nm), e relativamente menor absorção no vermelho (650 nm). Assim, a cor que sobra é o vermelho, e é assim que vemos um solo rico em hematita. Da mesma forma, um solo que tenha elevado teor de goetita será amarelado, já que a goetita apresenta forte absorção na região do azul (435 e 480 nm). Conseqüentemente, restarão o verde e o vermelho que, juntos na reflexão, darão a sensação de amarelo.

A avaliação de cores no campo ou em laboratório é feita com o auxílio da carta de cores de Munsell. Quando se dispõe da curva espectral do solo pode-se realizar tal avaliação de uma forma mais objetiva. Para todas as amostras foi identificada a cor segundo o método tradicional, através da carta de cores de Munsell, e por meio das equações colorimétricas. Por este processo, estabelecem-se o comprimento de onda dominante, o brilho, a pureza, e as coordenadas de cromaticidade da cor (Cap.3).

Analisando a pureza da cor, observa-se que, de maneira geral, o horizonte superficial apresenta pureza menor que o subsuperficial. Os dados de pureza das curvas 49 e 50 (18,3 e 40,7%, respectivamente) e das curvas 3, 4 e 5 (6,1; 28,7 e 30,3%, respectivamente) são exemplos desse comportamento. Esse efeito tem como causa principal a matéria orgânica que, com seu caráter acromático faz diminuir o valor da pureza. Nos solos hidromórficos também se constata uma baixa pureza da cor, devida principalmente à mistura de processos que levam a uma gradação elevada de elementos cromáticos. Têm-se casos em que há desvio do comprimento de onda dominante para a região do verde, como nas curvas 108 e 109.

Outro aspecto do uso da determinação mais objetiva da cor do solo é que se pode fazer observações mais detalhadas do solo. Assim, por exemplo, da curva 24 para a 25 há um incremento no brilho, na pureza e no comprimento de onda dominante. Entretanto, segundo a classificação de cores de Munsell, ambas as amostras são idênticas. As amostras 69 e 70, segundo a carta de Munsell têm o mesmo "hue" e o mesmo "value". Porém, a determinação da cor através da análise espectral mostra que há diferenças entre as amostras no que concerne ao

comprimento de onda dominante (584,8 e 587,2 nm, respectivamente) e ao brilho (14 e 21%, respectivamente).

A análise dos comprimentos de onda dominantes das amostras indica uma tendência generalizada de que os horizontes subsuperficiais tenham maiores valores de comprimento de onda dominante e pureza. Para os valores de brilho tal tendência não se apresenta tão clara.

Umidade

A quantidade de água no solo é um fator que apresenta grande variação ao longo do tempo, e também no interior do perfil. Mesma quantidade de água precipitada pode, após mesmo espaço de tempo, estar em quantidade variável no perfil de diferentes solos. O que comanda tal diferenciação são as propriedades hidráulicas do solo.

A água tem a propriedade de causar uma diminuição geral no albedo da curva espectral dos solos. Porém, tal diminuição não se processa igualmente para todos os solos. Ou seja, o poder que a umidade tem de alterar o albedo da amostra, varia de solo para solo.

Como se observa nas Figuras 6.56 a 6.61, quanto menor o albedo do solo seco, menor é a variação entre o estágio de solo seco e o de solo úmido. Nas Figuras 6.56 e 6.57 a umidade variou de 6,02% a 32,77% e de 6,86 a 27,76%, respectivamente. Como a reflectância do Latossolo Roxo é naturalmente baixa, a variação absoluta da reflectância, em função do aumento da umidade, é baixa.

Nas Figuras 6.58 e 6.59, em que se umideceu um Latossolo Vermelho Escuro, a magnitude de variação da reflectância, em função da umidade, é intermediária entre a que ocorre com o Latossolo Roxo e a que ocorre com um Podzólico Vermelho Amarelo. Neste último solo (Figuras 6.60 e 6.61), no pico de absorção de água, o fator de reflectância passou de 59% para 9%, quando se alterou a umidade de 0,16% para 14,82%.

Na região intermediária entre picos de absorção da água, como por exemplo, ao redor de 1700 nm, as diferenças entre os fatores de reflectância referentes às curvas com maior e menor teor de umidade, vão de 6% para o Latossolo Roxo a 38% para o Podzólico Vermelho Amarelo.

De maneira geral, o aumento no teor de umidade não causa alterações significativas na forma das curvas, principalmente na região do visível e do infravermelho próximo. Entretanto, os picos de absorção devidos a outros constituintes (por exemplo, caulinita ao redor de 2200 nm) ficam mais claros quando o solo está em níveis mais baixos de umidade. Isso pode ser mais bem

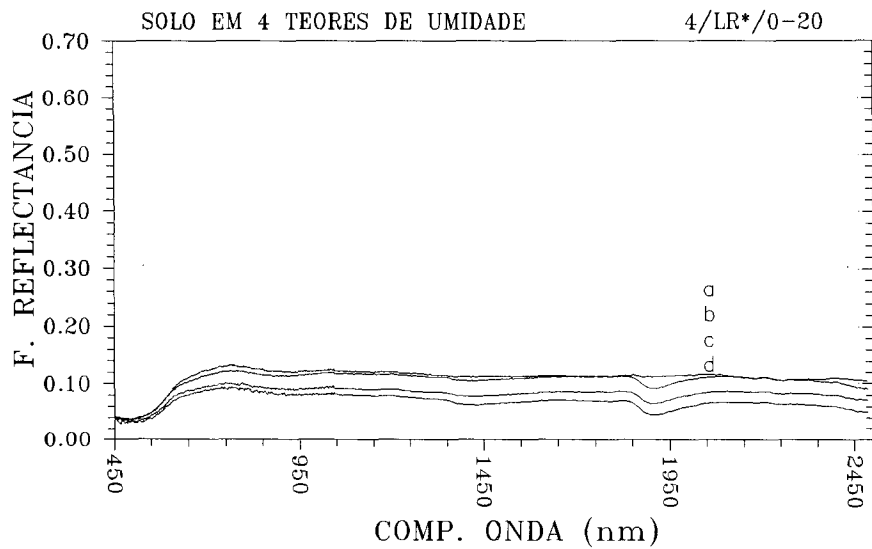


Figura 6.56 - Reflectância bidirecional da amostra 4/LR*/0-20, para os teores de umidade de a) 6,02%, b) 16,71%, c) 20,01%, d) 32,77%.

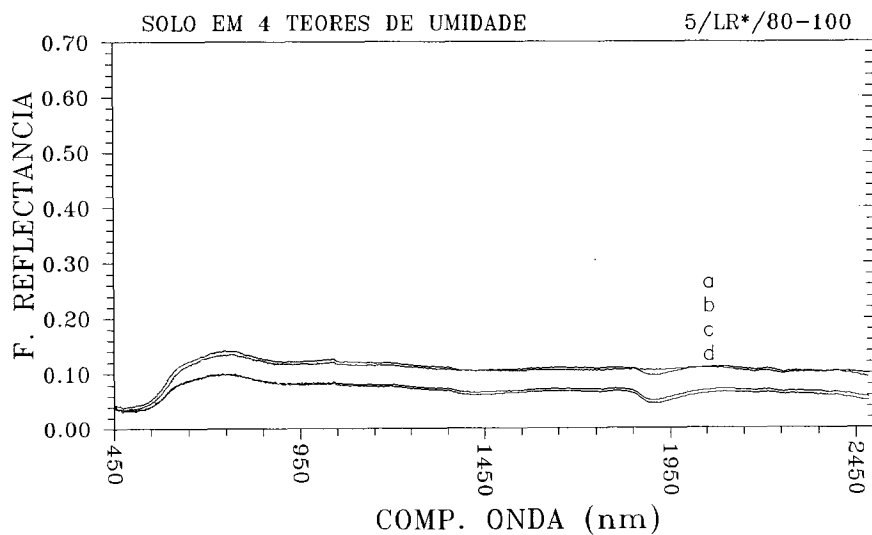


Figura 6.57 - Reflectância bidirecional da amostra 5/LR*/80-100, para os teores de umidade de a) 6,86%, b) 13,39%, c) 19,00%, d) 227,76%.

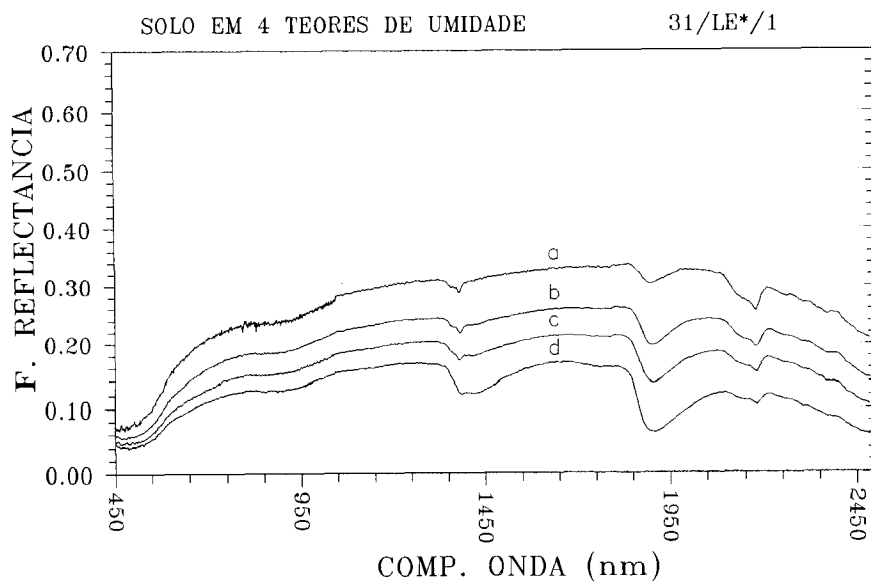


Figura 6.58 - Reflectância bidirecional da amostra 31/LE*/1, para os teores de umidade de a) 4,35%, b) 8,82%, c) 16,99%, d) 29,95%.

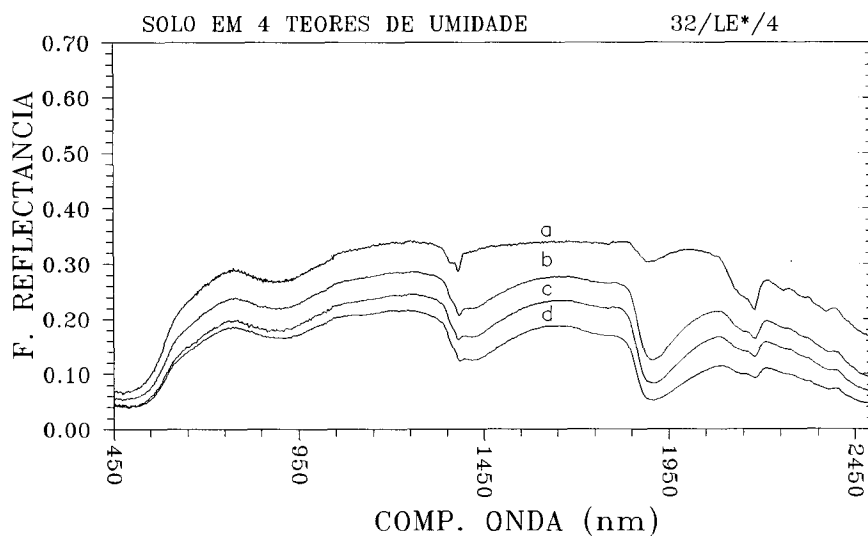


Figura 6.59 - Reflectância bidirecional da amostra 32/LE*/4, para os teores de umidade de a) 3,02%, b) 18,02%, c) 20,63%, d) 33,70%.

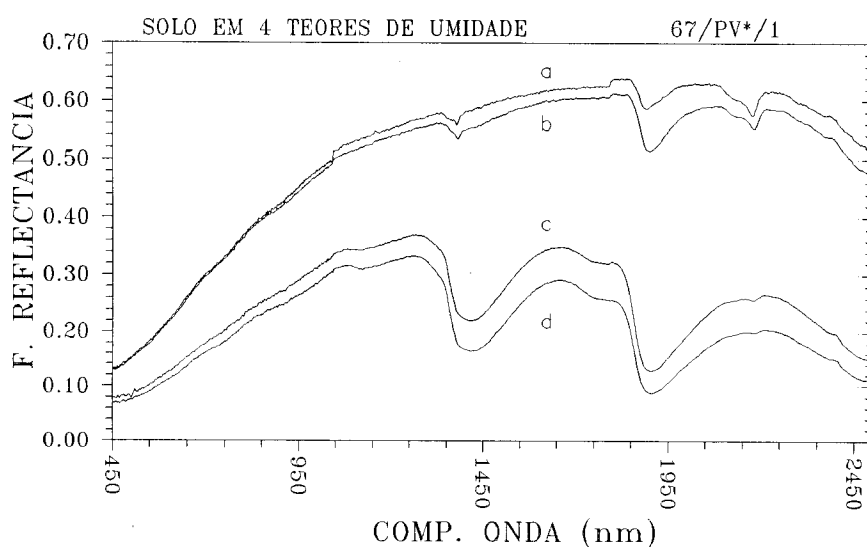


Figura 6.60 - Reflectância bidirecional da amostra 67/PV*/1, para os teores de umidade de a) 0,16%, b) 0,14%, c) 7,94%, d) 14,82%.

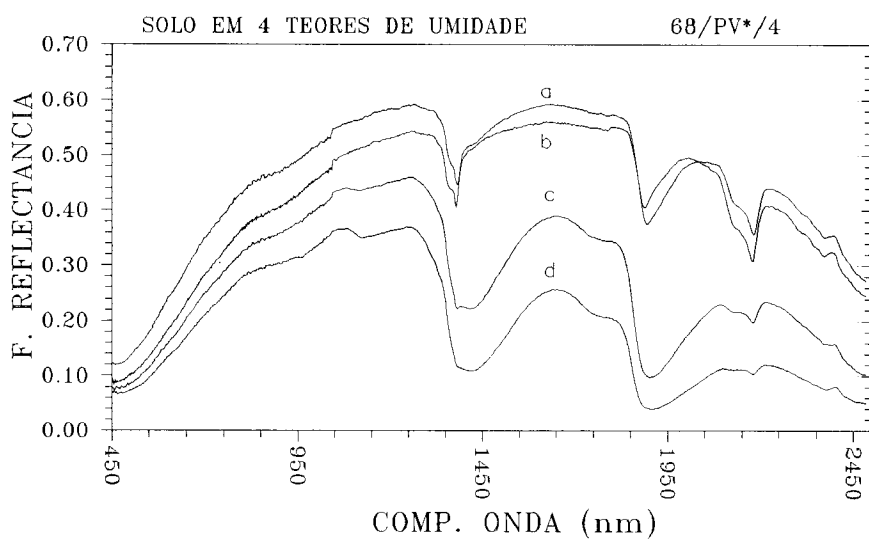


Figura 6.61 - Reflectância bidirecional da amostra 68/PV*/4, para os teores de umidade de a) 0,36%, b) 1,31%, c) 6,37%, d) 16,85%.

observado nas curvas referentes ao Latossolo Vermelho Escuro e ao Podzólico Vermelho Amarelo (Figuras 6.58, 6.59, 6.60, e 6.61).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A execução deste trabalho de pesquisa, contando com as amostras e com a instrumentação disponíveis, permitiu que se fizessem as seguintes considerações. Até então eram quase inexistentes quaisquer curvas espectrais indicativas da reflectância espectral de solos de regiões tropicais. Assim, passou-se a dispor destas curvas, as quais representam considerável parte de nossos solos.

Embora tenha havido pouco tempo para uma análise mais aprofundada dos dados, já que verdadeiramente se dispôs do espectrorradiômetro no início deste ano, muitos resultados interessantes foram obtidos. Inicialmente, deve-se destacar o desempenho bem satisfatório do espectrorradiômetro IRIS. A obtenção das leituras do alvo e da placa demora, juntas, ao redor de 3 minutos. São raros os casos de perda de uma leitura.

As amostras selecionadas para o trabalho apresentaram-se suficientemente variadas para que se pudessem verificar as mais variadas características de reflectância. Os valores dos fatores de reflectância bidirecional variaram desde valores muito baixos, como no caso do Latossolo Roxo, até valores muito elevados, como nos Cambissolos. Esse tipo de análise deve conduzir a possíveis inferências sobre o material de origem dos solos.

O Latossolo Roxo, bem como outros que têm dominância de ferro e opacos, apresentaram reflectâncias baixas, com quase ausência de feições de absorção. Alguns solos, como o Podzólico Vermelho Amarelo, apresentaram comportamento variável, em função da amostra analisada. As bandas de absorção relatadas na literatura puderam ser bem identificadas. As diferentes mineralogias expressaram-se através de feições marcantes no espectro. Isso leva à suposição de que estudos posteriores possam permitir inferências mais quantitativas. A matéria orgânica mostrou ser um constituinte do solo que tende a mascarar feições espectrais, principalmente no visível e no infravermelho próximo. A umidade mostrou-se um importante fator influenciador da reflectância dos solos, particularmente sobre os de maior albedo. A análise das várias feições existentes ao longo das curvas espectrais pode conduzir a uma possível classificação objetiva do padrão de curva e sua associação com o tipo de solo.

A forma de apresentação dos dados, onde se dispõe da fundamentação teórica sobre comportamento espectral de solos, das curvas de reflectância espectrais ao lado das características físico-químicas dos solos, e ainda de uma fotografia das amostras dos solos, como neste relatório, mostrou-se muito eficiente e didática.

Ao final deste trabalho, observa-se que esta área de estudo do solo pode evoluir muito mais, não só no sentido de fornecer subsídios importantes para o uso de dados de outros produtos de sensoriamento remoto, mas também do ponto de vista puramente pedológico. Haja vista as nítidas feições de absorção devidas à caulinita, por exemplo; as indicações de material de origem dos solos; as diferenças de reflectância dentro de um mesmo tipo de solo; as possibilidades de classificação colorimétrica mais objetiva; as diferenças de reflectância inter-horizontes; as variações introduzidas nas reflectâncias em função da umidade. Assim, considera-se que este foi um trabalho inicial, a partir do qual possam surgir novas e promissoras frentes de estudo e suas possibilidades de aplicações práticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-ABBAS, A.H.; SWAIN, P.H.; BAUMGARDNER, M.F. Relating organic matter and clay content to multispectral radiance of soils. *Soil Science*, 114(6):477-485, 1972.
- ALEXANDER, J.D. A color chart for organic matter. *Crops Soils*, 21:15-17, 1969.
- AMGSTROM, A. The albedo of various surfaces of ground. *Geografiska Annalen*, 7:323, 1925.
- BAUMGARDNER, M.F.; KRISTOF, S.J.; JOHANNSEN, C.J.; ZACHARY, A.L. Effects of organic matter on the multispectral properties of soils. *Proceedings of the Indiana Academy of Science*, 79:413-422, 1970.
- BECK, R.H.; ROBINSON, B.F.; McFEE, W.W.; PETERSON, J.B. *Spectral characteristics of soils related to the interaction of soil moisture, organic carbon, and clay content*. West Lafayette, IN, Purdue University, 1976. (LARS Information Note 081176).
- BIGHAM, J.M.; GOLDEN, D.C.; BUOL, S.W.; WEED, S.D.; BOWEN, L.H. Iron oxide mineralogy of well-drained ultisols and oxisols: II. Influence color, surface area, and phosphate retention. *Soil Science Society of America Journal*, 42:825-830, 1978.
- BOWERS, S.A.; HANKS, R.J. Reflection of radiant energy from soils. *Soil Science*, 100:130-138, 1965.
- BOWERS, S.A.; SMITH, S.J. Spectrophotometric determination of soil water content. *Soil Science Society of America Proceedings*, 36:978-980, 1972.
- BRADY, N.C. *The nature and properties of soils*. New York, Macmillan, 1984. 650p.
- BUOL, S.; HOLE, F.D.; McCracken, R.J. *Soil genesis and classification*. Ames, Iowa, The Iowa University Press, 1980. 404p.
- CERVELLE, B. *Refléxion de la lumière solaire par les matériaux minéraux: quelques éléments*. In: Journées Télédétection: Images satellite et milieux terrestres en régions arides et tropicales. Bondy, 14-17/11/1988.

- CIPRA, J.E.; BAUMGARDNER, E.R.; STONER, E.; MaCDONALD, R.B.
Measuring radiance characteristics of soil with a field spectroradiometer. *Soil Science Society of America Proceedings*, 35:1014-1017, 1971.
- COMISSÃO DE SOLOS (Serviço Nacional de Pesquisas Agrônomicas).
Levantamento de reconhecimento dos Solos do Estado de São Paulo. Ministério da Agricultura/Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agrônomicas. Rio de Janeiro. 1960. 634 p. (Boletim n^o. 12).
- CONDIT, H.R. The spectral reflectance of American soils. *Photogrammetric Engineering*, 36:955-966. 1970.
- CONDIT, H.R. Application of characteristic vector analysis to the spectral energy distribution of daylight and the spectral reflectance of American soils. *Applied Optics*, 11:74-86, 1972.
- COULSON, K.L.; REYNOLDS, D.W. The spectral reflectance of natural surfaces. *Journal of Applied Meteorology*, 10:1285-1295, 1971.
- CROWLEY, J.K.; VERGO, N. Near-infrared reflectance spectra of mixtures of kaolin-group minerals: use in clay mineral studies. *Clays and Clay Minerals*, 36:310-316. 1988.
- CROWN, P.H.; PAWLUK, S. *Spectral signatures from reflected soils in the Edmonton-Vegreville area*. Proceedings of the Second Canadian Symposium on Remote Sensing. Ottawa, Ontario. p. 450-462, 1974.
- DAUBNER, L.; DAVIES, J.; GOETZ, A. *A hand-held ratioing radiometer for remote radiance measurements*. Proceedings of the 7th Canadian Symposium on Remote Sensing. Winnipeg, 1981. p. 423-428.
- DAVIES, J.; DICK, R.; CUMMING, C. *A field reflectance spectrometer*. Proceedings of the 7th Canadian Symposium on Remote Sensing. Winnipeg, 1981. p.416-422.
- DEMATTE, J.L.I. *Curso de Gênese e Classificação de Solos*. ESALQ/USP. Piracicaba, SP. 1978. 335 p.
- DeWITT, D.P.; ROBINSON, B.F. *Description and evaluation of a bidirectional reflectance factor reflectometer*. Laboratory for Applications of Remote Sensing, Purdue University. West Lafayette, Indiana. 1976. (LARS Information Note 091576)
- EPIPHANIO, J.C.N.; LAMPARELLI, R.A.C.; BERTOLDO, M.A.; FORMAGGIO, A.R. *Bandas termal e refletidas do TM/Landsat-5 no estudo do comportamento espectral de três latossolos*. XXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Campinas, 1987. 33p. (INPE-4341/PRE-1181).

- FORMAGGIO, A.R. *Comportamento espectral de quatro solos do Estado de São Paulo nos níveis orbital, de campo e de laboratório*. São José dos Campos, INPE, 1983. 110p. (Dissertação de Mestrado).
- FORMAGGIO, A.R.; EIPHANIO, J.C.N. *Reflectance pattern from brazilian oxisols and their physical and chemical characteristics*. Proceedings of the 16th International Congress of International Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Kyoto, Japan, ISPRS, 1-10 July 1988. p.497-505. vol.27 (B10).
- GATES, D.M. *Characteristics of soil and vegetated surfaces to reflected and emitted radiation*. Proceedings of the 3rd Symposium on Remote Sensing of Environment. Ann Arbor, Michigan. 1965. p. 573-600.
- GATES, D.M. The energy environment in which we live. *American Scientist*, 51:327-348, 1963.
- GAUSMAN, H.W.; GERBERMANN, A.H.; WIEGAND, C.L.; LEAMER, R.W.; RODRIGUEZ, R.R.; NORIEGA, J.R. Reflectance differences between crop residues and bare soils. *Soil Science Society of America Proceedings*, 39:752-755, 1975.
- GAUSMAN, H.W.; LEAMER, R.W.; NORIEGA, J.R.; RODRIGUEZ, R.R.; WIEGAND, C.L. Field-measured spectroradiometric reflectances of disked and nondisked soil with and without wheat straw. *Soil Science Society of America Proceedings*, 41:793-796, 1977.
- GER (Geophysical Environmental Research Corp.). *Mark V Dual Field of View IRIS Manual*. New York. 147 p. s.d.
- GIRARD-GANEAU, C.M. *Utilisations de la télédétection en agronomie*. Thesis for the title of Docteur Ingénieur. Université Paris-Sud. Centre d'Orsay.
- GLADWELL, D.R.; LETT, R.E.; LAWRENCE, P. Application of reflectance spectrometry to mineral exploration using portable radiometers. *Economic Geology*, 78:699-710, 1983.
- HLAVAY, H.; JONAS, K.; INCZEDY, J. Characterization of the particle size and the crystallinity of certain minerals by infrared spectrophotometry and other instrumental methods - I. Investigations on clay minerals. *Clays and Clay Minerals*, 25:451-456. 1977.
- HOFFER, R.M.; JOHANNSEN, C.J. Ecological potentials in spectral signature analysis. p.1-19. In: Johnson, P.L. (ed.). *Remote sensing in ecology*. Univ. of Georgia Press, Athens.

- HUNT, G.R.; SALISBURY, J.W. Visible and infrared spectra of minerals and rocks: I. Silicate minerals. *Modern Geology*, 1:283-300, 1970.
- HUNT, G.R.; SALISBURY, J.W.; LENHOFF, C.J. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: III. Oxides and hydroxides. *Modern Geology*, 2:195-205, 1971.
- HUNT, G.R.; ROSS, H.P. A bidirectional reflectance accessory for spectroscopic measurement. *Applied Optics*, 6:1687-1690, 1967.
- HUNT, G.R.; SALISBURY, J.W.; Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: XI. Sedimentary rocks. *Modern Geology*, 5:211-217, 1976a.
- HUNT, G.R.; SALISBURY, J.W.; Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: XII. Metamorphic rocks. *Modern Geology*, 5:219-228, 1976b.
- HUNT, G.R.; SALISBURY, J.W.; LENHOFF, C.J. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: III. Oxides and hydroxides. *Modern Geology*, 2:195-295, 1971a.
- HUNT, G.R.; SALISBURY, J.W.; LENHOFF, C.J. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: IV. Sulphides and sulphates. *Modern Geology*, 3:1-14, 1971b.
- HUNT, G.R.; SALISBURY, J.W.; LENHOFF, C.J. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: VI. Additional silicates. *Modern Geology*, 4:85-106, 1973a.
- HUNT, G.R.; SALISBURY, J.W.; LENHOFF, C.J. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: VII. Acidic igneous rocks. *Modern Geology*, 4:217-224, 1973b.
- HUNT, G.R.; SALISBURY, J.W.; LENHOFF, C.J. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: VIII. Intermediate igneous rocks. *Modern Geology*, 4:237-244, 1973c.
- HUNT, G.R.; SALISBURY, J.W.; LENHOFF, C.J. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: IX. Basic and ultrabasic rocks. *Modern Geology*, 5:15-22, 1974.
- HUNT, G.R.; SALISBURY, J.W. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: I. Silicate minerals. *Modern Geology*, 1:283-300, 1970.
- HUNT, G.R.; SALISBURY, J.W. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: II. Carbonates. *Modern Geology*, 2:23-30, 1971a.

- IRONS, J.R.; WEISMILLER, R.A.; PETERSEN, G.W. *Soil reflectance*. In: ASRAR, G.(ed.) *Theory and applications of optical remote sensing*. New York, John Wiley, 1989. p.66-106.
- JOHANNSEN, C.J. *The detection of available soil moisture by remote sensing techniques*. Purdue University, West Lafayette, Arizona. 1969. (PhD Thesis).
- KARMANOV, I.I.; ROZHOV, V.A. Experimental determination of quantitative relationships between the color characteristics of soils and soil constituents. *Soviet Soil Science*, 4:666-677, 1972.
- KARMANOV, I.I. Study of soils from the spectral composition of reflected radiation. *Soviet Soil Science*, 4:226-238, 1970.
- KIEHL, E.J. *Manual de edafologia: relações solo-planta*. Ed. Agronômica Ceres. São Paulo. 1979. 262 p.
- KOSMAS, C.S.; CURY, N.; BRYANT, R.B.; FRANZMEIER, D.P. Characterization of iron oxide minerals by second-derivative visible spectroscopy. *Soil Science Society of America Journal*, 48:401-405. 1984.
- KRISHNA MURTI, G.S.R.; SATYANARYANA, K.V.S. Influence of chemical characteristics in the development of soil colour. *Geoderma*, 5:243-248, 1971.
- KRISTOF, S.J.; BAUMGARDNER, M.F. Changes of multispectral soil patterns with increasing crop canopy. *Agronomy Journal*, 67:317-321, 1975.
- LEAMER, R.W.; MEYERS, V.I.; SILVA, L.F. A spectroradiometer for field use. *Review of Scientific Instrumentation*, 44:611-614, 1973.
- LINDBERG, J.D.; SNYDER, D.G. Diffuse reflectance spectra of several clay minerals. *American Mineralogist*, 57:485-493, 1972.
- MADEIRA NETTO, J.S.M. *Etude quantitative des relations constituants mineralogiques - réflectance diffuse des latosols brésiliens/application à l'utilisation pédologique des données satellitaires TM (region de Brasília)*. Thèse de Doctorat, Université Pierre et Marie Curie. Paris. 1991, 224 p.
- MATHEWS, H.L.; CUNNINGHAM, R.L.; PETERSEN, G.W. Spectral reflectance of selected Pennsylvania soils. *Soil Science Society of America Proceedings*, 37:421-424, 1973.
- McKEAGUE, J.A.; DAY, J.H.; SHIELDS, J.A. Evaluating relationships among soil properties by computer analysis. *Canadian Journal of Soil Science*, 51:105-111, 1970.

- MONTGOMERY, O.L.; BAUMGARDNER, M.F. *The effects of the physical and chemical properties of soil on the spectral reflectance of soils*. West Lafayette, IN, Purdue University. 1974. (LARS Information Note 112674).
- MONTGOMERY, O.L. *An investigation of the relationship between spectral reflectance and the chemical, physical, and genetic characteristics of soils*. Purdue University, West Lafayette, IN. 1976. (Ph.D. Thesis).
- MYERS, V.I.; ALLEN, W.A. Electrooptical remote sensing method as nondestructive testing and measuring techniques in agriculture. *Applied Optics*, 7:1819-1838, 1968.
- NICODEMUS, F.E.; RICHMOND, J.C.; HSIA, J.J.; GINSBERG, I.W.; LIMPERIS, T. *Geometrical considerations and nomenclature for reflectance*. U.S. Department of Commerce, 1977. 52p. (NBS Monograph 160).
- OBUKHOV, A.I.; ORLOV, D.S. Spectral reflectivity of the major soil groups and possibility of using diffuse reflection in soil investigations. *Soviet Soil Science*, 2:174-184, 1964.
- OLIVEIRA, J.B.; MENK, J.R.F. *Latosolos Roxos do Estado de São Paulo*. Campinas, Instituto Agronômico (SAAESP). 1984. 132 p.
- OLIVEIRA, J.B.; MENK, J.R.F.; BARBIERI, J.L.; ROTTA, C.L.; TREMOCOLDI, W. *Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: Quadrícula de Araras*. Campinas, Instituto Agronômico (SAAESP). 1982. 180 p. (Boletim Técnico, 71).
- OLIVEIRA, J.B.; MENK, J.R.F.; ROTTA, C.L. *Levantamento pedológico semidetalhado dos solos do Estado de São Paulo: Quadrícula de Campinas*. Rio de Janeiro. FIBGE. 1979. 172 p.
- OLIVEIRA, J.B.; MONIZ, A.C.; ZANARDO, A. *Levantamento pedológico detalhado da Estação Experimental de Tietê, SP*. Campinas, Instituto Agronômico (SAAESP). 1988. 56 p. (Boletim Técnico, 16).
- OLIVEIRA, J.B.; PRADO, H. *Carta pedológica semidetalhada do Estado de São Paulo: Quadrícula de Piracicaba. Escala de 1:100.000*. Campinas, Instituto Agronômico. 1989.
- OLIVEIRA, J.B.; PRADO, H. *Carta Pedológica Semidetalhada do Estado de São Paulo: Quadrícula de Guaíra. Escala de 1:100.000*. Campinas, Instituto Agronômico. 1991.
- OLIVEIRA, J.B.; PRADO, H. *Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: Quadrícula de São Carlos. II. Memorial Descritivo*. Campinas, Instituto Agronômico (SAAESP). 1984. 188 p. (Boletim Técnico, 98).

- OLIVEIRA, J.B.; PRADO, H. *Levantamento Pedológico Semidetalhado do Estado de São Paulo: Quadrícula de Ribeirão Preto. II. Memorial Descritivo*. Campinas, Instituto Agrônômico (SAAESP). 1987. 133 p. (Boletim Técnico, 7).
- ORLOV, D.S. Quantitative patterns of light reflection by soils. I. Influence of particle (aggregate) size on reflectivity. *Soviet Soil Science*, 13:495-498, 1966.
- PAGE, N.R. Estimation of organic matter in Atlantic Coastal Plain soils with a color-difference meter. *Agronomy Journal*, 66:652-653, 1974.
- PENDLETON, R.L.; NICKERSON, D. Soil colors and special Munsell soil color charts. *Soil Science*, 71:35-43, 1951.
- PETERSON, J.B.; BECK, R.H.; ROBINSON, B.F. *Predictability of change in soil reflectance on wetting*. Proceedings of the 5th Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data. West Lafayette, IN. 1979. p.253-263.
- PLANET, W.G. Some comments on reflectance measurements of wet soils. *Remote Sensing of Environment*, 1:127-129, 1970.
- RANZANI, G. *Manual de levantamento de solos*. Edgard Blucher, São Paulo. 1969.
- RESENDE, M. *Mineralogy, chemistry, morphology, and geomorphology of some soils of the Central Plateau of Brazil*. Purdue University, West Lafayette, IN. 1976. (Ph.D. Thesis).
- SANCHEZ, P.A. *Suelos del Trópico: características y manejo*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 1981. 660 p.
- SCHREIER, H. *Quantitative predictions of chemical soil conditions from multispectral airborne, ground and laboratory measurements*. Proceedings of the 4th Canadian Symposium on Remote Sensing. Ottawa, Canada. 1977. p. 107-112.
- SHERMAN, D.M.; WAITE T.D. Electronic spectra of Fe³⁺ oxides and oxide hydroxides in the near IR to near UV. *American Mineralogist*, 70:1262-1269. 1985.
- SHIELDS, J.A.; PAUL, E.A.; ARNAUD, R.J.; HEAD, W.K. Spectrophotometric measurement of soil color and its relationship to moisture and organic matter. *Canadian Journal of Soil Science*, 48:271-280, 1968.
- SILVA FILHO, P.N. *Processos e erros na determinação do fator de reflectância bidirecional e de outras grandezas radiométricas*. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1992. 166p. (INPE - 5386/TDI - 475).

- SOIL SURVEY SATFF *Soil taxonomy- a basic system of soil classification for making and interpreting soil survey*. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C. 1975. (Agriculture Handbook no.436).
- SOILEAU, J.M.; McCracken, R.J. Free iron and coloration in certain well-drained coastal plain soils in relation to their other properties and classification. *Soil Science Society of America Proceedings*, 31:248-255, 1967.
- STONER, E.R.; BAUMGARDNER, M.F. *Physicochemical, site, and bidirectional reflectance factor characteristics of uniformly moist soils*. West Lafayette, IN, Purdue University, 1980. (LARS Technical Report 111679).
- STONER, E.R.; HORVATH, E.H. *The effect of cultural practices on multispectral response from surface soil*. Proceedings of the 7th International Symposium on Remote Sensing of Environment. West Lafayette, IN, 1971. p. 2109-2113.
- STONER, E.R.; BAUMGARDNER, R.A.; SWAIN, P.H. Determining density of maize canopy from digitized photographic data. *Agronomy Journal*, 68:55-59, 1976.
- STONER, E.R.; BAUMGARDNER, R.A.; WEISMILLER, R.A.; BIEHL, L.L.; ROBINSON, B.F. *Extension of laboratory- measured soil spectra to field conditions*. Proceedings of the 5th Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data. West Lafayette, IN, Purdue University, 1979. p. 253-263.
- STRENS, R.G.J.; WOOD, B.J. Diffuse reflectance spectra and optical properties of some iron and titanium oxides and oxyhydroxides. *Mineralogical Magazine*, 43:347-354. 1979.

APÊNDICE I

Certificados de calibração das placas de referência.

LABSPHERE, INC.
P.O. BOX 70
NORTH SUTTON, NH USA 03260

CALIBRATION CERTIFICATE

8°/HEMISPHERICAL SPECTRAL REFLECTANCE FACTOR

Customer: I.E.P. BRASIL F.O.#: 5736

Certificate No.: ~~SRT-99-100-100-100-100~~

Target Enclosed: 1 - SRT-99-100

The target identified above was measured for 8°/Hemispherical Spectral Reflectance Factor using a double beam ratio recording integrating sphere reflectometer. The certified reflectance factor values at an incident angle of 8° from normal were determined in the following way. The radiance of the internal surface of the integrating sphere produced by incident flux reflected from the target was directly proportioned to that reflected from a laboratory working standard. The laboratory working standards are periodically compared to laboratory master standards. These laboratory master standards, SRM-2019a and SRM-2021 ceramic tiles, SRM-2003D First Surface Aluminum Mirror, IRS-94-020-M1 diffuse gold standard, and SRS-99-020-M1 diffuse white standard, were calibrated by the National Institute of Standards and Technology using the highly accurate NIST reference reflectometer.

Reflectance factor values are provided at 50nm intervals for a spectral range of 250nm to 2500nm.

NOTE: The standard deviation applicable to reflectance factor values provided by Labsphere, Inc. is less than 0.005.

Date: 02-05-91

Certified by:

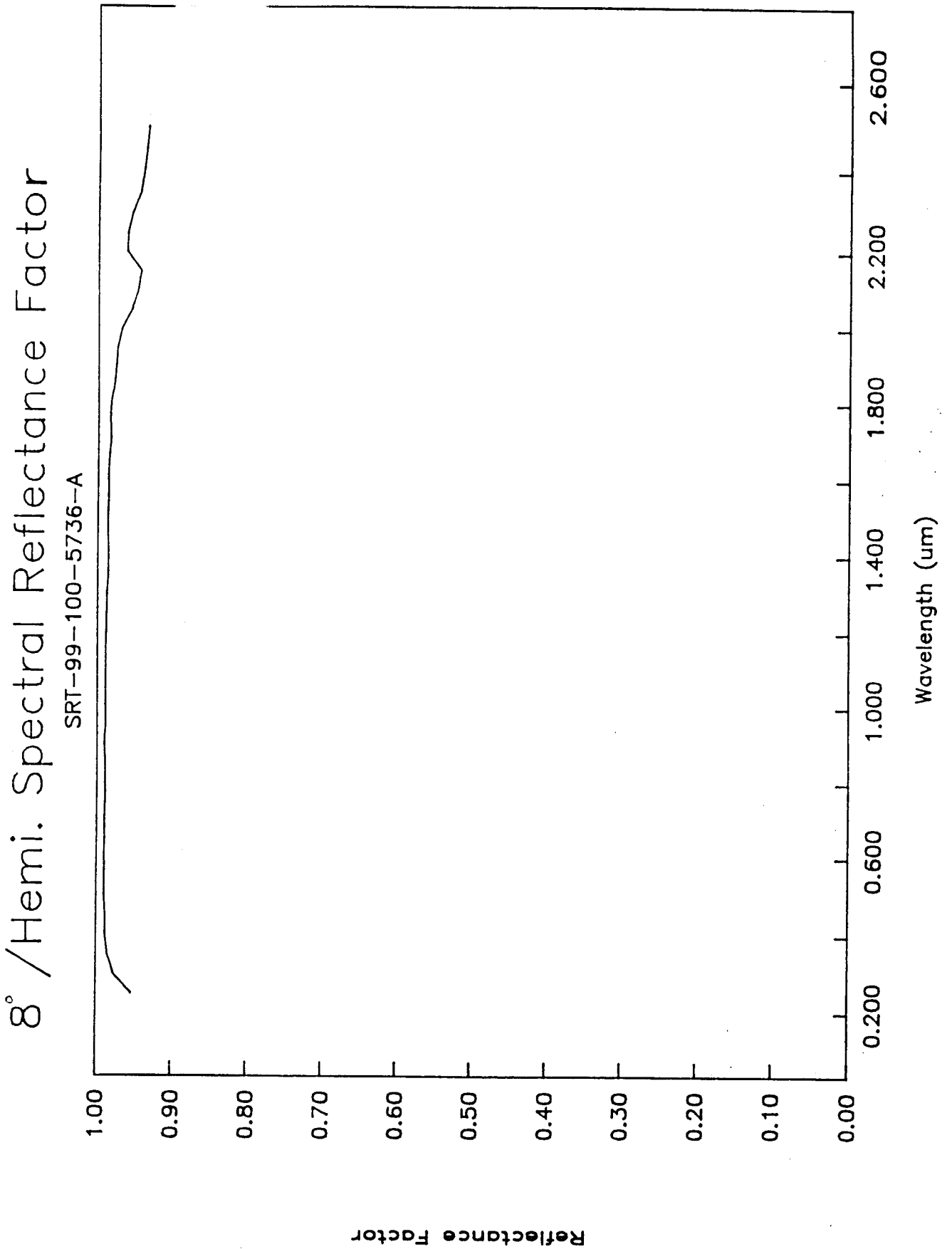
Jamie F. Dunke

Approved by:

AWP

Target No. SRT-99-100-5736-A

<u>Wavelength</u> <u>μm</u>	<u>8°/Hemispherical</u> <u>Reflectance Factor</u>
0.250	0.953
0.300	0.977
0.350	0.985
0.400	0.988
0.450	0.988
0.500	0.990
0.550	0.989
0.600	0.990
0.650	0.989
0.700	0.990
0.750	0.989
0.800	0.989
0.850	0.989
0.900	0.990
0.950	0.989
1.000	0.989
1.050	0.989
1.100	0.989
1.150	0.989
1.200	0.988
1.250	0.987
1.300	0.987
1.350	0.986
1.400	0.986
1.450	0.986
1.500	0.986
1.550	0.986
1.600	0.986
1.650	0.985
1.700	0.983
1.750	0.984
1.800	0.983
1.850	0.978
1.900	0.976
1.950	0.974
2.000	0.968
2.050	0.955
2.100	0.947
2.150	0.942
2.200	0.962
2.250	0.960
2.300	0.954
2.350	0.943
2.400	0.939
2.450	0.936
2.500	0.933



LABSPHERE, INC.
P.O. BOX 70
NORTH SUTTON, NH USA 03260

CALIBRATION CERTIFICATE

8°/HEMISPHERICAL SPECTRAL REFLECTANCE FACTOR

Customer: I.P.E. BRASIL

F.O.#: 5736

Certificate No.: ~~SRT-50-050-5736-B~~*

Target Enclosed: 1 - SRT-50-050

The target identified above was measured for 8°/Hemispherical Spectral Reflectance Factor using a double beam ratio recording integrating sphere reflectometer. The certified reflectance factor values at an incident angle of 8° from normal were determined in the following way. The radiance of the internal surface of the integrating sphere produced by incident flux reflected from the target was directly proportioned to that reflected from a laboratory working standard. The laboratory working standards are periodically compared to laboratory master standards. These laboratory master standards, SRM-2019a and SRM-2021 ceramic tiles, SRM-2003D First Surface Aluminum Mirror, IRS-94-020-M1 diffuse gold standard, and SRS-99-020-M1 diffuse white standard, were calibrated by the National Institute of Standards and Technology using the highly accurate NIST reference reflectometer.

Reflectance factor values are provided at 50nm intervals for a spectral range of 250nm to 2500nm.

NOTE: The standard deviation applicable to reflectance factor values provided by Labsphere, Inc. is less than 0.005.

Date: 02-05-91

Certified by:

Jamie Burkee

Approved by:

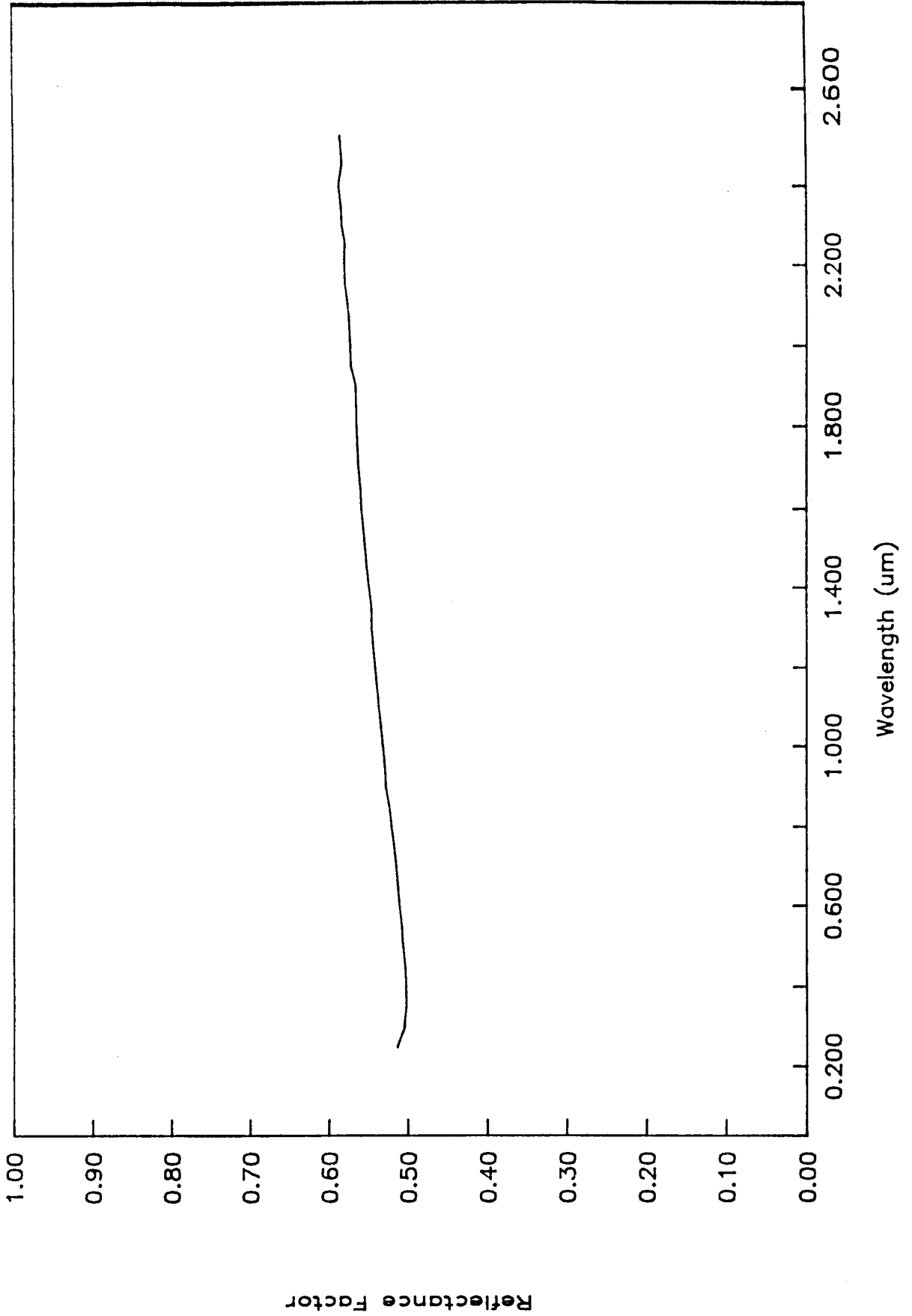
AWST PhD

Target No. SRT-50-050-5736-B

<u>Wavelength</u> <u>(μm)</u>	<u>8° / Hemispherical</u> <u>Reflectance Factor</u>
0.250	0.513
0.300	0.504
0.350	0.501
0.400	0.501
0.450	0.502
0.500	0.505
0.550	0.507
0.600	0.510
0.650	0.512
0.700	0.514
0.750	0.517
0.800	0.520
0.850	0.523
0.900	0.527
0.950	0.529
1.000	0.531
1.050	0.534
1.100	0.537
1.150	0.539
1.200	0.541
1.250	0.543
1.300	0.545
1.350	0.545
1.400	0.548
1.450	0.551
1.500	0.553
1.550	0.556
1.600	0.558
1.650	0.559
1.700	0.562
1.750	0.563
1.800	0.564
1.850	0.565
1.900	0.565
1.950	0.571
2.000	0.572
2.050	0.573
2.100	0.575
2.150	0.579
2.200	0.579
2.250	0.578
2.300	0.582
2.350	0.584
2.400	0.587
2.450	0.582
2.500	0.585

8° / Hemi. Spectral Reflectance Factor

SRT-50-050-5736-B



APÊNDICE 2

Pranchas 1 e 2 contendo fotografias de 80 das 111 amostras de solos.



