

**UTILIZAÇÃO DE FOTOGRAFIAS AÉREAS EM TRÊS ESCALAS
NO ESTUDO DE REDES DE DRENAGEM
EM DIFERENTES UNIDADES DE SOLO**

FRANCISCO DE PAULA NOGUEIRA

Orientador: GERALDO VICTORINO DE FRANÇA

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA
Estado de São Paulo — Brasil
Junho, 1979

*A Maria José e Nelson,
pela vida de exemplos,
A Verena e Constanza,
razões de esperança,
ofereço.*

*A Sandra, pelo incentivo,
amizade e amor, dedico.*

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Geraldo Victorino de França, pela valiosa orientação no desenvolvimento deste trabalho;

Ao Pesquisador Científico Jorge Vicente Chiari-
ni, por todas as facilidades e oportunidades concedidas na realização deste trabalho;

Ao Pesquisador Científico Archimedes Perez Fi-
lho, pela solicitude constante na execução deste trabalho;

Ao Professor Dr. Humberto de Campos, pela ori-
entação na análise estatística;

Ao Instituto Agronômico, pelas facilidades ofe-
recidas durante a realização do Curso e na elaboração deste
trabalho;

À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Quei-
roz", com deferência especial aos professores do Curso de Pós
Graduação de Solos e Nutrição de Plantas, pela oportunidade e
facilidades oferecidas para a realização deste Curso;

À Girlene Francisco de Souza, pela dedicação no
trabalho de datilografia;

À Nícia Marcondes Zingra, pelo esmero na con-
fecção das figuras;

Aos demais funcionários da Seção de Fotointer-
pretação do Instituto Agronômico e a todos que direta ou in-
diretamente colaboraram na realização deste trabalho.

ÍNDICE

	Página
RESUMO	1
SUMMARY	3
1. INTRODUÇÃO	5
2. REVISÃO DE LITERATURA	7
2.1. <u>Fotografias aéreas no estudo de solos</u>	7
2.2. <u>Características das redes de drenagem e sua significância pedológica</u>	10
3. MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1. <u>Localização geográfica das amostras</u>	16
3.2. <u>Geologia</u>	20
3.3. <u>Clima</u>	20
3.4. <u>Solos nas áreas amostradas</u>	24
3.5. <u>Material fotográfico</u>	34
3.6. <u>Material de escritório</u>	35
3.7. <u>Seleção das áreas de estudo</u>	35
3.8. <u>Obtenção dos mapas de drenagem</u>	36
3.9. <u>Características analisadas dos padrões de dre- nagem</u>	36
3.10. <u>Análise estatística</u>	37
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1. <u>Interpretação das fotografias aéreas</u>	40
4.2. <u>Características dimensionais nas amostras</u> ...	40
4.3. <u>Índices de drenagem</u>	45
4.3.1. <u>Frequência de rios</u>	45
4.3.2. <u>Razão de textura</u>	48
4.3.3. <u>Densidade de drenagem</u>	51
4.3.4. <u>Comprimento médio dos canais de drena- gem superficial</u>	51

	Página
4.4. <u>Textura topográfica</u>	55
4.5. <u>Características descritivas do padrão de drenagem</u>	57
4.6. <u>Sugestões para novas pesquisas</u>	60
5. CONCLUSÕES	61
6. LITERATURA CITADA	63
APÊNDICE	69

LISTA DE QUADROS

Quadro	Título	Página
1	Cronogeologia do substrato nos locais das amostras	23
2	Unidades pedológicas, localização municipal e variação de altitude das áreas amostradas ...	25
3	Número de canais de drenagem superficial nas amostras circulares, nas três escalas fotográficas	41
4	Comprimento total dos canais de drenagem superficial, em quilômetros, nas amostras circulares nas três escalas fotográficas	42
5	Frequência de rios nas amostras circulares, nas três escalas fotográficas	46
6	Resultados do teste de Kruskal-Wallis envolvendo as escalas fotográficas (E_1, E_2, E_3) e as referências de solo (S_1, S_2, S_3, S_4, S_5) e das comparações múltiplas com diferença significativa até o nível de 10% para o índice frequência de rios	47
7	Razão de textura nas amostras circulares, nas três escalas fotográficas	49
8	Resultados do teste de Kruskal-Wallis envolvendo as escalas fotográficas (E_1, E_2, E_3) e as referências de solo (S_1, S_2, S_3, S_4, S_5) e das comparações múltiplas com diferença significativa até o nível de 10% para o índice razão de textura	50

Quadro	Título	Página
9	Densidade de drenagem nas amostras circulares, nas três escalas fotográficas	52
10	Resultados do teste de Kruskal-Wallis envolvendo as escalas fotográficas (E_1, E_2, E_3) e as referências de solo (S_1, S_2, S_3, S_4, S_5) e das comparações múltiplas com diferença significativa até o nível de 10% para o índice densidade de drenagem	53
11	Comprimento médio dos canais de drenagem superficial, em quilômetros, nas amostras circulares nas três escalas fotográficas	54
12	Resultados do teste de Kruskal-Wallis envolvendo as escalas fotográficas (E_1, E_2, E_3) e as referências de solo (S_1, S_2, S_3, S_4, S_5) e das comparações múltiplas com diferença significativa até o nível de 10% para o índice comprimento médio dos canais de drenagem superficial	56
13	Classes de textura topográfica nas amostras circulares, nas três escalas fotográficas ...	58
14	Características descritivas do padrão de drenagem dos solos estudados	59

LISTA DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1	Localização geográfica e unidades de solo das amostras 1, 2 e 3	17
2	Localização geográfica e unidades de solo das amostras 4, 5, 6 e 7	18
3	Localização geográfica e unidades de solo das amostras 8, 9, 10 e 11	19
4	Localização geográfica e unidades de solo das amostras 12, 13, 14 e 15	21
5	Localização geográfica e unidades de solo das amostras 16, 17 e 18	22

No apêndice:

1	Amostras circulares 1, 2 e 3, representativas da unidade de solo Podzólico Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1:60.000	70
2	Amostras circulares 4, 5, 6 e 7, representativas da unidade de solo Podzólico Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1:60.000	71
3	Amostras circulares 8, 9, 10 e 11, representativas da unidade de solo Latossolo Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1:60.000	72
4	Amostras circulares 12, 13, 14 e 15, representativas da unidade de solo Latossolo Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1:60.000	73

Figura	Título	Página
5	Amostras circulares 16, 17 e 18, representati - vas da unidade de solo Latossolo Roxo, na esca- la aproximada 1:60.000	74
6	Amostra circular 1, representativa da unidade de solo Podzólico Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1:35.000	75
7	Amostra circular 2, representativa da unidade de solo Podzólico Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1:35.000	76
8	Amostra circular 3, representativa da unidade de solo Podzólico Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1:35.000	77
9	Amostra circular 4, representativa da unidade de solo Podzólico Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1:35.000	78
10	Amostra circular 5, representativa da unidade de solo Podzólico Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1:35.000	79
11	Amostra circular 6, representativa da unidade de solo Podzólico Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1:35.000	80
12	Amostra circular 7, representativa da unidade de solo Podzólico Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1:35.000	81
13	Amostra circular 8, representativa da unidade de solo Latossolo Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1:35.000	82

Figura	Título	Página
14	Amostra circular 9, representativa da unidade de solo Latossolo Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1:35.000	83
15	Amostra circular 10, representativa da unidade de solo Latossolo Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1:35.000	84
16	Amostra circular 11, representativa da unidade de solo Latossolo Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1:35.000	85
17	Amostra circular 12, representativa da unidade de solo Latossolo Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1:35.000	86
18	Amostra circular 13, representativa da unidade de solo Latossolo Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1:35.000	87
19	Amostra circular 14, representativa da unidade de solo Latossolo Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1:35.000	88
20	Amostra circular 15, representativa da unidade de solo Latossolo Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1:35.000	89
21	Amostra circular 16, representativa da unidade de solo Latossolo Roxo, na escala aproximada 1:35.000	90
22	Amostra circular 17, representativa da unidade de solo Latossolo Roxo, na escala aproximada 1:35.000	91

Figura	Título	Página
23	Amostra circular 18, representativa da unidade de solo Latossolo Roxo, na escala aproximada 1:35.000	92
24	Amostra circular 1, representativa da unidade de solo Podzólico Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1:25.000	93
25	Amostra circular 2, representativa da unidade de solo Podzólico Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1:25.000	94
26	Amostra circular 3, representativa da unidade de solo Podzólico Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1:25.000	95
27	Amostra circular 4, representativa da unidade de solo Podzólico Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1:25.000	96
28	Amostra circular 5, representativa da unidade de solo Podzólico Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1:25.000	97
29	Amostra circular 6, representativa da unidade de solo Podzólico Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1:25.000	98
30	Amostra circular 7, representativa da unidade de solo Podzólico Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1:25.000	99
31	Amostra circular 8, representativa da unidade de solo Latossolo Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1:25.000	100

Figura	Título	Página
32	Amostra circular 9, representativa da unidade de solo Latossolo Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1:25.000	101
33	Amostra circular 10, representativa da unidade de solo Latossolo Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1:25.000	102
34	Amostra circular 11, representativa da unidade de solo Latossolo Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1:25.000	103
35	Amostra circular 12, representativa da unidade de solo Latossolo Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1:25.000	104
36	Amostra circular 13, representativa da unidade de solo Latossolo Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1:25.000	105
37	Amostra circular 14, representativa da unidade de solo Latossolo Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1:25.000	106
38	Amostra circular 15, representativa da unidade de solo Latossolo Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1:25.000	107
39	Amostra circular 16, representativa da unidade de solo Latossolo Roxo, na escala aproximada 1:25.000	108
40	Amostra circular 17, representativa da unidade de solo Latossolo Roxo, na escala aproximada 1:25.000	109

Figura	Título	Página
41	Amostra circular 18, representativa da unidade de solo Latossolo Roxo, na escala aproximada 1:25.000	110

RESUMO

Amostras circulares de 10 km² foram analisadas, através de imagens aerofotográficas em diferentes escalas (1:60.000; 1:35.000; 1:25.000), quanto a aspectos da rede de drenagem superficial (padrão de drenagem, frequência de rios, razão de textura, densidade de drenagem e comprimento médio dos canais).

As amostras foram tomadas para representar três unidades de mapeamento pedológico e grupadas em cinco referências. Foram reunidas em duas referências, uma com três e outra com quatro, sete amostras representativas de solo Podzólico Vermelho Amarelo; reuniu-se em duas referências, com quatro amostras cada uma, as representativas de Latossolo Vermelho Amarelo; outras três, representativas de Latossolo Roxo, foram grupadas em uma única referência.

A frequência de rios e a razão de textura se comportaram semelhantemente em todas as análises, donde se concluiu que o uso de qualquer um destes dois índices, isoladamente, é suficiente para caracterizar redes de drenagem através de amostras circulares.

Foi observada diferença significativa entre as escalas extremas na determinação da frequência de rios e da razão de textura em um dos grupamentos de solo Podzólico Vermelho Amarelo.

As características descritivas do padrão de drenagem, nas amostras circulares, mostraram-se adequadas para diferenciar os solos podzólicos dos latossolos.

Diferenciação entre os solos através das características da rede de drenagem foi melhor evidenciada pela densidade de drenagem, enquanto que o comprimento médio dos canais foi o índice que apresentou resultados menos significantes.

Dentre as referências de solo, foram diferenciadas significativamente as amostras representativas de um grupamento de solos Podzólico Vermelho Amarelo daquelas dos dois grupamentos de Latossolo Vermelho Amarelo.

As fotografias em escala menor foram as mais efetivas para evidenciar diferenças entre as referências de solo. Recomendou-se o emprego desta escala, por implicar, também, em manuseio de menor quantidade de material fotográfico e permitir melhor percepção de relevo.

SUMMARY

Comparative studies of drainage network
of different soil types carried out on
aerial photographs in three scales

Studies of surface drainage network of different soil types were carried out based on aerial photographs representing known pedological mapping units. The prints used were in the approximate scales of 1:60,000, 1:35,000, and 1:25,000 and were made from vertical aerial photographs taken with panchromatic film.

The samples examined were circular, 10 km² in area, and served for the determination of drainage pattern, stream frequency, texture ratio, drainage density and mean length of drainageways. Seven samples of "Podzólico Vermelho Amarelo" and eight of "Latossolo Vermelho Amarelo" soils were grouped in two references each; three samples of "Latossolo Roxo" soil were grouped in one reference. The treatment effects were compared according to the non-parametrical tests of Kruskal-Wallis and multiple comparisons.

Differences in stream frequency and texture ratio between the samples were parallel and it is concluded that the use of only one of these indexes is enough in the

drainage network analysis based on circular samples.

An effect of the photographic scale was in case of samples representing the "Podzólico Vermelho Amarelo" soil in one of the groups, when comparisons were made of stream frequency and texture ratio between the two scales.

The description of the drainage patterns, permitted to differentiate between the podzol and latosol soil groups.

From the drainage parameters studied, the density provided the best differentiation between the different soil types; the mean length of drainageways was of minor significance.

It was recorded difference between the samples of one group of "Podzólico Vermelho Amarelo" soil and those of "Latosolo Vermelho Amarelo" in both groups.

The soil effect was better determined through the utilization of the 1:60,000 photographs, this been recommended for this type of work. It has the additional advantages of involving less photographic material and permits a better perception of relief.

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento do solo é de interesse de todas as ciências que estudam os componentes da faixa de contacto entre a crosta terrestre e a atmosfera, com excepção da hidrosfera. É básico à Agronomia, pois definindo as qualidades e os defeitos das unidades pedológicas, permite exploração tecnológica, propiciando maior rendimento à empresa rural.

Hoje, a quase totalidade dos levantamentos de solo baseia-se no uso de fotografias aéreas, desde como simples mapa básico até como fornecedor de informações através da fotopedologia.

Enquanto o processo de levantamento de solo por trajetórias no terreno com traçagens sistemáticas é demorado e oneroso, a utilização de fotografias aéreas e o emprego de técnicas de fotointerpretação torna maior o rendimento de trabalho e maior a precisão, evitando interpolação e exigindo menor controle de campo.

Relevo, rede de drenagem, aspectos de erosão, tonalidade fotográfica, vegetação natural e uso da terra são parâmetros usualmente empregados pelo fotointérprete nos estudos de solos. Destes, os estudos da rede de drenagem e do relevo se destacam por permitir fácil diferenciação de solos,

havendo vantagem para o primeiro em relação ao segundo por possibilitar, mais facilmente a análise de características quantitativas em adição às meramente descritivas, que apresentam a desvantagem de serem subjetivas.

A quantidade relativa de informações oferecidas pela fotopedologia a um levantamento de solos vai depender de seu grau de detalhamento taxonômico e cartográfico e também das características da imagem fotográfica. Considerando-se um mesmo tipo de material fotográfico e mudando a escala, poderá ocorrer variação nos dados obtidos, sendo que quanto maior a escala, maior o detalhamento e menor a percepção de conjunto da paisagem.

Entre nós, as escalas mais comuns de fotografias aéreas variam entre 1:8.000 e 1:60.000, havendo tendência para escalas reduzidas quando a cobertura aerofotográfica abrange maiores áreas. Sabendo-se que todas elas apresentam vantagens e desvantagens, torna-se necessário definir a capacidade da escala em função dos níveis de levantamentos e das unidades pedológicas estudadas.

Levando em conta que o solo é função do clima, do material de origem, do relevo, dos organismos e do tempo, admite-se que não ocorram dois locais plenamente idênticos, o que poderá acarretar variabilidade nos padrões de uma mesma unidade pedológica, dificultando uma ampla extrapolação de dados.

Pretende-se com este trabalho estudar as informações, obtidas com fotografias aéreas pancromáticas em três escalas diferentes, para três unidades pedológicas, duas das quais repetidas em dois locais diferentes.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Fotografias aéreas no estudo de solos

AMARAL e AUDI (1972) referem-se à fotopedologia como sendo a utilização e interpretação de fotografias aéreas em levantamentos de solo, planejamentos conservacionistas e outros estudos de carácter pedológico.

Considerando que estudos de solo levam em conta principalmente as características do perfil e que a fotografia aérea registra apenas imagens de sua superfície, a fotopedologia utiliza de correlações entre aspectos visíveis na fotografia e características intrínsecas do solo. Assim, GOOSEN (1968) cita três métodos principais de fotointerpretação para solos. O método da "análise de padrões" de FROST (1960), que estuda os padrões indicativos das condições de superfície e de subsuperfície, tais como relevo, drenagem, erosão, vegetação natural e cultivada e tonalidade fotográfica. O método mencionado por BURINGH (1960) como "análise fisiográfica" classifica o terreno segundo unidades fisiográficas. O método "análise de elementos" desenvolvido por BURINGH (1960) estuda sistematicamente os elementos relacionados com as condições de solo para traçar limites entre unidades pedológicas através do "princípio da convergência de evidências" enunciado por Colwell, que prevê a identificação de um objeto

desconhecido através da indicação semelhante da maioria dos indícios analisados.

A grande utilização de fotografias aéreas é consequência, segundo RABBEN (1960), de três fatos fundamentais: representação de grande área da superfície terrestre em cada fotografia; possibilidade de visualização trimensional da superfície terrestre e dos objetos nela localizados, através de pares estereoscópicos; e representações permanentes e não tendenciosas dos objetos originais, pelas imagens fotográficas.

Para GOOSEN (1968), a grande vantagem das fotografias aéreas está no oferecimento de visão panorâmica como meio de análise de fenômenos da paisagem.

FROST (1960) acentua a importância do estudo de aspectos regionais antes de examinar o detalhe, para poder relacionar grandes feições regionais a fatores ambientais como fisiografia, geologia e clima.

ROURKE e AUSTIN (1951), CRESWICK e ROCKWELL (1959), BOMBERGER e DILL (1960), BURINGH (1960) e outros pesquisadores reconhecem que a fotografia aérea não substitui completamente o trabalho de campo nos estudos de solo.

Entretanto, BURINGH (1960) afirma que aproximadamente a quinta parte do tempo de trabalho de campo para levantamento de solos, sem utilização de fotografias aéreas, é gasto na identificação e classificação das unidades, sendo o restante dispendido para locação dos limites de solos. Completando, afirma que a utilização de fotografias aéreas permite o traçado de grande parte desses limites, sendo necessárias menos verificações no campo, do que pelo método convencional.

RABBEN (1960) considera mais produtivo em relação ao tempo e esforços despendidos, o trabalho usando a técnica de "pesquisa lógica", ou seja, quando o fotointérprete

experiente, fazendo uso de probabilidades, pesquisa minuciosamente só as áreas onde objetos de interesse possam ser encontrados, ao invés de examinar detalhadamente o material de toda a área em estudo.

VERA (1964) comenta a rapidez conseguida com o uso da fotointerpretação no mapeamento detalhado de solos, ao nível de séries, tipos e fases, e da capacidade de uso da terra de 120.000 km² de terras agrícolas do Chile.

GOOSEN (1968) acrescenta ainda que a exatidão dos trabalhos pedológicos é altamente favorecida pela fotointerpretação, embora considere que seu valor seja limitado para levantamentos detalhados de solo, no que concorda BURINGH (1960).

FROST (1960) engloba todos os fatores limitantes do emprego da fotopedologia em três categorias: fatores inerentes às técnicas e materiais fotográficos; habilidade do fotointérprete; e características das paisagens.

AMARAL e AUDI (1972) afirmam que o uso de fotografias aéreas em escalas maiores possibilita maior detalhamento no levantamento de solo, acarretando, entretanto, menor rendimento de trabalho. Consideram como boa escala fotográfica para levantamento pedológico detalhado a de cerca de 1:10.000, para levantamento semi-detalhado a de cerca de 1:25.000, e para levantamento de reconhecimento, uma escala próxima de 1:50.000.

SMITH e AANDAHL (1957) afirmam que as unidades de solo não ocorrem ao acaso na paisagem, mas sim obedecendo a um padrão de distribuição relacionado com a forma do terreno.

RAY (1963) cita a consideração de Shultz e Cleaves de que a forma fisiográfica seria o elemento mais importante para a fotopedologia.

Da mesma opinião é LUEDER (1959), que também

cita a drenagem superficial como indicador seguro das condições do terreno.

FRANÇA (1968) conclui que a análise e a interpretação do padrão de drenagem fornecem indícios suficientes para a distinção entre solos.

AUDI (1972), estudando atributos de canais de drenagem em fotografias de escala 1:25.000, admite a possibilidade de diferenciação de famílias de solo com relativa segurança através da fotointerpretação.

Para FROST (1960), a fotopedologia pode ser executada através dos padrões criados pela natureza do material de origem, o modo de deposição e os ambientes climático, biótico e fisiográfico. Estes padrões devem ser interpretados seguindo três princípios importantes: solos semelhantes aparecem nas fotografias aéreas com padrões semelhantes; solos diferentes aparecem com padrões diferentes; e desde que características da imagem fotográfica tenham sido correlacionadas com propriedades do solo, observadas no campo e no laboratório, muitas propriedades importantes de solos semelhantes podem ser inferidas por fotointerpretação.

2.2. Características das redes de drenagem e sua significância pedológica

A análise de bacias hidrográficas tem sido motivo de estudos para correlação com solos, com obtenção de sucesso. Coube a Horton a primazia da abordagem quantitativa das características de bacias hidrográficas em 1945 (FRANÇA 1968).

Segundo VON ENGELN (1942), das observações visuais de Playfair, em 1802, ficou estabelecida a lei das junções concordantes, pela qual os rios são considerados responsáveis por seus vales e ao mesmo tempo concordantes com eles.

HORTON (1945) estabelece duas leis que conferem

à lei de Playfair um significado quantitativo. As leis de Horton relacionam o número e o comprimento de rios às diversas ordens de ramificação da rede hidrográfica. Para tal, Horton precisou inverter a sequência de numeração da hierarquia fluvial usada pela classificação européia, de modo que pudessem ser comparáveis bacias hidrográficas de ordens equivalentes, numeração esta que passou a ser crescente a partir dos menores tributários da bacia. Mais tarde, STRAHLER (1952) modifica ligeiramente a hierarquia fluvial proposta por Horton, para a forma que hoje é aceita pelos pesquisadores.

Além de prever igual número de ordem de bacias a serem comparáveis, STRAHLER (1952) adverte que as bacias devem apresentar semelhança geométrica.

HORTON (1945) considera que enquanto a composição da rede de drenagem tem alto grau de significância hidrológica, o padrão isolado tem pouca, embora seja altamente significativo como indicador de controle geológico.

★ Estudando redes de drenagem através de amostragem com bacias hidrográficas, Horton, Strahler e outros pesquisadores como Maxwell, Coates e Smith, determinaram uma série de relações observadas, levando em consideração o número e o comprimento de rios e suas ordens de ramificação (FRANÇA, 1968).

HORTON (1945) apresenta as relações frequência de rios e densidade de drenagem para, além da ordem de rios, expressar quantitativamente o grau de desenvolvimento da drenagem superficial.

A frequência de rios expressa a relação entre o número total de canais de drenagem e a área da bacia, enquanto que a densidade de drenagem dimensiona o comprimento total de canais por unidade de área.

SMITH (1950) propõe o índice textura topográfica com o propósito de expressar o espaçamento entre os canais

de drenagem. Para tal, prevê a relação entre o número de crênulas numa curva de nível de um bom mapa topográfico dentro de uma bacia hidrográfica e o perímetro desta bacia, expresso em milhas. Este mesmo autor, propõe o cálculo da razão de textura média para, através de limites de valores deste índice, classificar a área amostrada quanto à textura topográfica.

FRANÇA (1968), estudando bacias de drenagem para caracterização de unidades de solo, modifica estes índices de Smith com o emprego de fotografias aéreas para calcular o número de canais de drenagem, ao invés de crênulas em mapas topográficos, e referenciando a valor de perímetro em quilômetros.

Indicações sobre a relação infiltração/deflúvio, capacidade de infiltração, permeabilidade e textura de materiais presentes em uma área, são fornecidas pela análise da drenagem superficial; em geral, um padrão de drenagem bem desenvolvido indica a existência de materiais pouco permeáveis, enquanto o contrário é indicador de alta infiltração e boa permeabilidade (LUEDER, 1959).

Qualitativamente, o padrão de drenagem é descrito por PARVIS (1950) com designações que lembram a configuração da rede.

LUEDER (1959) sugere para a caracterização de um padrão de drenagem, a descrição de seu grau de integração, densidade, grau de uniformidade, orientação, grau de controle, angularidade, ângulos de confluência e seu tipo ou padrão segundo Parvis.

MILLER e MILLER (1961), no estudo de drenagem para interpretação geológica, verificam que certas anomalias do padrão de uma rede de drenagem, são de grande importância. Em consequência, RICCI e PETRI (1965) propoem a descrição de mais uma característica, anomalias, em adição às de Lueder.

PARVIS (1950) considera que enquanto os padrões

de rios de ordens inferiores informam o pesquisador a respeito de solos ou de substratos rochosos, os padrões de rios de ordens mais elevadas mostram a influência de controles estruturais.

Para FROST (1960) o estudo de redes de drenagem superficial e de aspectos do micro-relevo pode fornecer informações significativas com respeito às propriedades do solo.

RAY e FISCHER (1960) usando a área de bacias hidrográficas e a área de amostras circulares de 10 km^2 para o cálculo de densidade de drenagem em estudo sobre a litologia, concluem que as amostras circulares fornecem determinações mais consistentes deste índice, para qualquer tipo de rocha, do que as amostras representadas por pequenas bacias.

FRANÇA (1968) considera a densidade de drenagem determinada em amostras circulares de 10 km^2 , entre os parâmetros úteis dos elementos da drenagem estudados, para fazer distinção entre unidades de solo classificadas a nível de série. Este mesmo autor observa correlação altamente significativa entre a densidade de drenagem determinada em amostras circulares e a razão de textura média. A estas mesmas conclusões chega FADEL (1972), relacionando características da rede de drenagem a outras séries de solos.

A densidade de drenagem medida em amostras circulares de 10 km^2 também é considerada entre as melhores características da rede de drenagem para distinção entre unidades de solo por MARCHETTI (1969), VASQUES FILHO (1972) e LEÃO (1973).

CARVALHO (1977) observa que mudanças nas características qualitativas do padrão de drenagem refletem controle geológico.

FRANÇA (1968) e depois VASQUES FILHO (1972), trabalhando com diferentes unidades de solo, verificam que a composição e as características do padrão de drenagem variam

com a natureza do solo, podendo sofrer modificações por influência de controles geológicos.

FRANÇA (1968) considera haver influência da posição topográfica sobre a composição e caracterização do padrão de drenagem, no que concorda SOUZA (1975).

MARCHETTI (1969) verifica que índices baseados na rede de drenagem estão correlacionados com índices de relevo, concluindo também que tanto as características das bacias hidrográficas e das redes de drenagem como as características de relevo, dependem da natureza do solo.

VASQUES FILHO (1972), CARVALHO (1977) e SILVA (1977) consideram vantajoso o emprego de amostras circulares de 10 km^2 sobre as amostras representadas por bacias hidrográficas para a caracterização de redes de drenagem visando a distinção entre unidades de solo. SOUZA (1975) também considera as amostras circulares vantajosas para os mesmos fins citados, porém ressalva que o tamanho da amostra circular deva ser adaptado em relação à extensão da unidade pedológica investigada. Entretanto, FREIRE (1977) considera que os índices frequência de rios e densidade de drenagem medidos em amostras circulares, são bons para distinção de unidades de solo por elas representados e independente do tamanho das mesmas.

KOFFLER (1976a) usando imagens fotográficas de diferentes escalas, obtidas por aviões e satélites terrestres, e variando o tamanho da amostra circular, considera a densidade de drenagem como o melhor dos índices estudados para a distinção de unidades de solo, ressaltando, entretanto, que há redução da separabilidade dos solos à medida que a escala diminui.

Complementando seu trabalho inicial, KOFFLER (1976b), usando amostras circulares variando de 10 a 100 km^2 e fotografias aéreas em escala 1:60.000, verifica que a caracterização quantitativa de um padrão de drenagem através

dos índices densidade de drenagem, frequência de rios e comprimento médio de canais, independe do tamanho da amostra, desde que seja representativa, recomendando que a escolha do tamanho da amostra seja vinculada à densidade relativa da rede de drenagem.

DEMÉTRIO (1977) verifica que os índices densidade de drenagem, frequência de rios e razão de textura diferem entre si com a variação da escala fotográfica.

KOFFLER (1976a) e depois DEMÉTRIO (1977) sugerem haver interesse no estudo de um índice que relaciona comprimento total dos canais com seu número na amostra, ou seja, o comprimento médio dos canais de drenagem, para correlacionar com solo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização geográfica das amostras

Utilizando material fotográfico em três escalas diferentes, foi feita a interpretação de características da rede de drenagem superficial em 18 amostras circulares de 10 km² cada uma, reunidas em cinco grupos correspondentes a diferentes referências de solo, distribuídas em locais de ocorrência destes solos no Estado de São Paulo, segundo levantamento pedológico, coincidentes com áreas de onde houvessem coberturas aerofotográficas em três escalas.

As amostras 1, 2 e 3, correspondentes a referência de solo S₁, de solo Podzólico Vermelho Amarelo, foram localizadas em Campinas e Valinhos, entre as sedes destes municípios (Fig. 1) (BRASIL, 1974a). As amostras 4, 5, 6 e 7, correspondentes a S₂, também de solo Podzólico Vermelho Amarelo, foram localizadas nos municípios de Rio Claro, Leme, Araras e Santa Cruz da Conceição (Fig. 2) (BRASIL, 1971a, 1969).

Em Latossolo Vermelho Amarelo, foram localizadas as amostras de números 8, 9, 10 e 11, da referência S₃, nos municípios de Moji-Guaçu e Aguaí (Fig. 3), e as de números 12, 13, 14 e 15, da referência S₄, nos municípios de Ara-

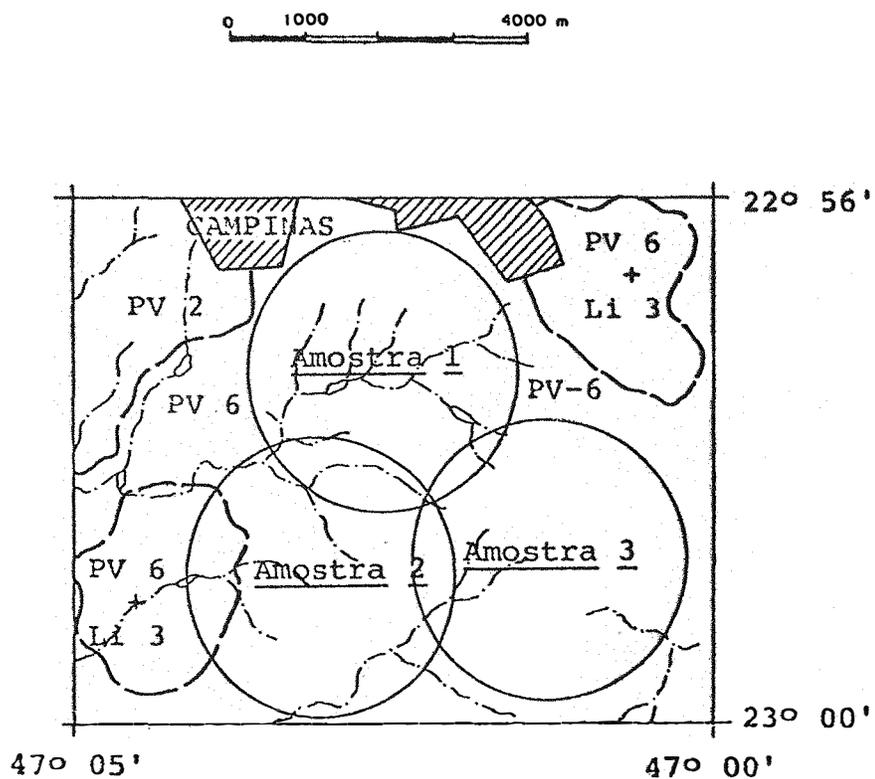


Figura 1. Localização geográfica e unidades de solo das amostras 1, 2 e 3.

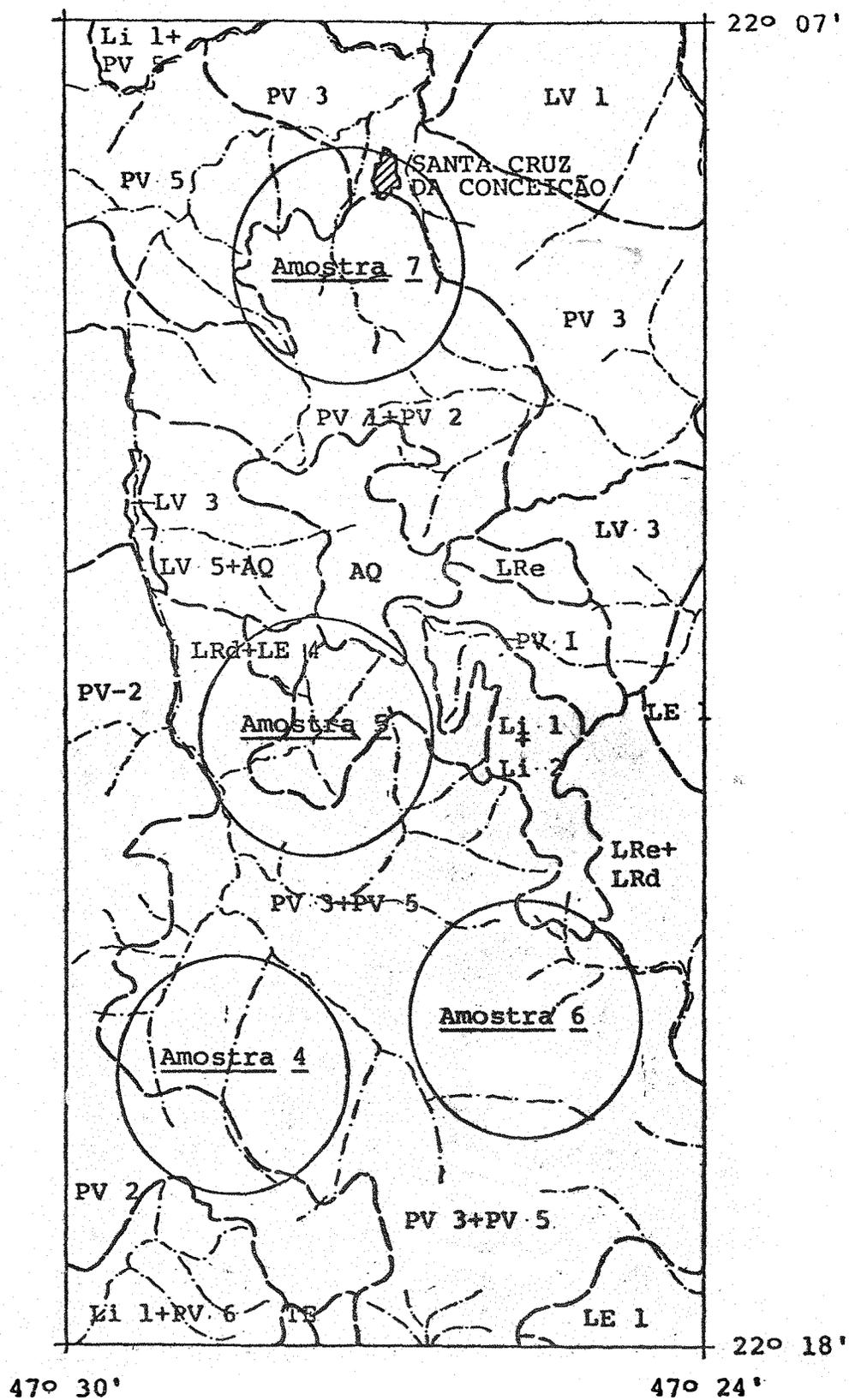


Figura 2. Localização geográfica e unidades de solo das amostras 4, 5, 6 e 7.

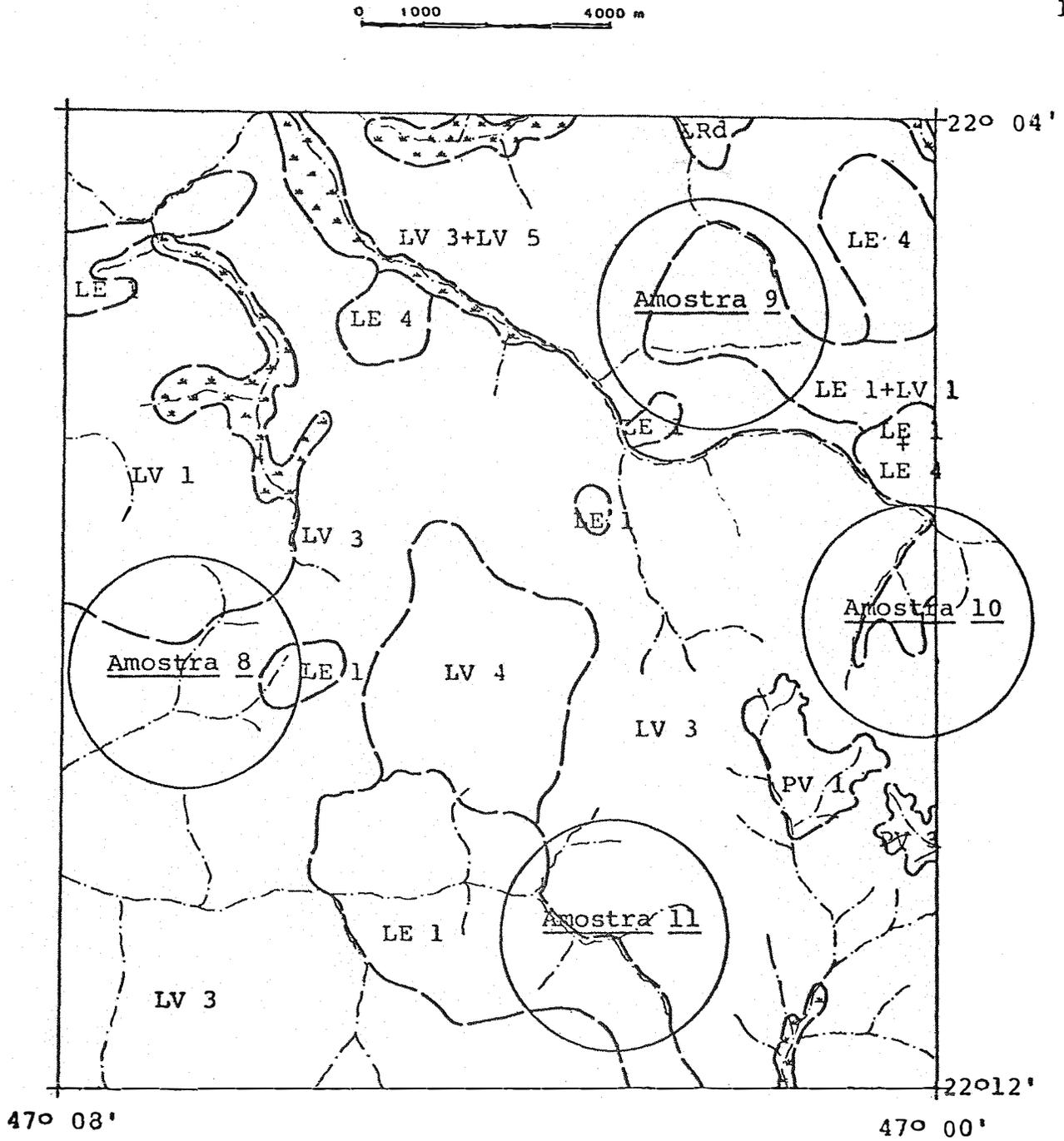


Figura 3. Localização geográfica e unidades de solo das amostras 8, 9, 10 e 11.

ras, Conchal e Moji-Mirim (Fig. 4) (BRASIL, 1969, 1971b, 1972, 1974b).

As amostras 16, 17 e 18, de referência S₅, em Latossolo Roxo, foram localizadas nos municípios de Leme e Araras (Fig. 5) (BRASIL, 1971a, 1969).

3.2. Geologia

As áreas estudadas situam-se em duas Províncias Geomorfológicas, o Planalto Atlântico e a Depressão Periférica. As amostras 1, 2 e 3 localizam-se na primeira e as restantes, na última.

O Planalto Atlântico ou Cristalino, na área amostrada, apresenta-se com as seguintes características geomorfológicas: relevo de colinas amorreadas com topos planos e vertentes com inclinação e declividade variando de 10-20% (SÃO PAULO, 1964).

A Depressão Periférica compreende uma área sensivelmente rebaixada pela erosão, entre as terras altas do Planalto Atlântico e as cristas elevadas das cuestas basálticas. As altitudes são reduzidas e os "sills" de diabásio aí existentes não constituem causa de acidentabilidade do relevo, salvo os condutos magmáticos verticais, que representam uma área ínfima (SÃO PAULO, 1975).

O quadro 1, resume a cronogeologia do substrato dos locais amostrados (SÃO PAULO, 1974).

3.3. Clima

O clima da região a que pertencem as amostras selecionadas está classificado pelo sistema Koeppen no tipo

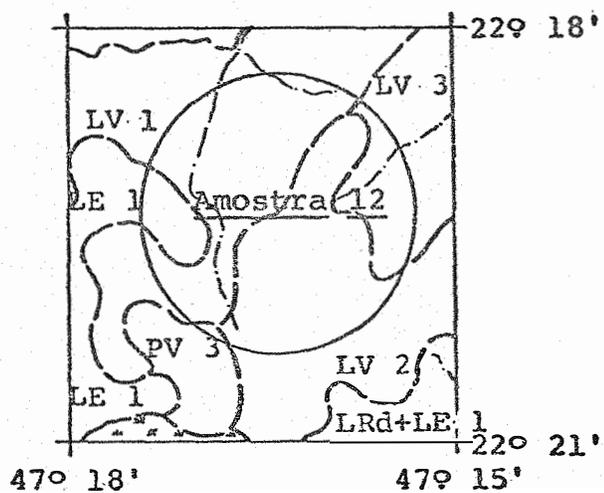
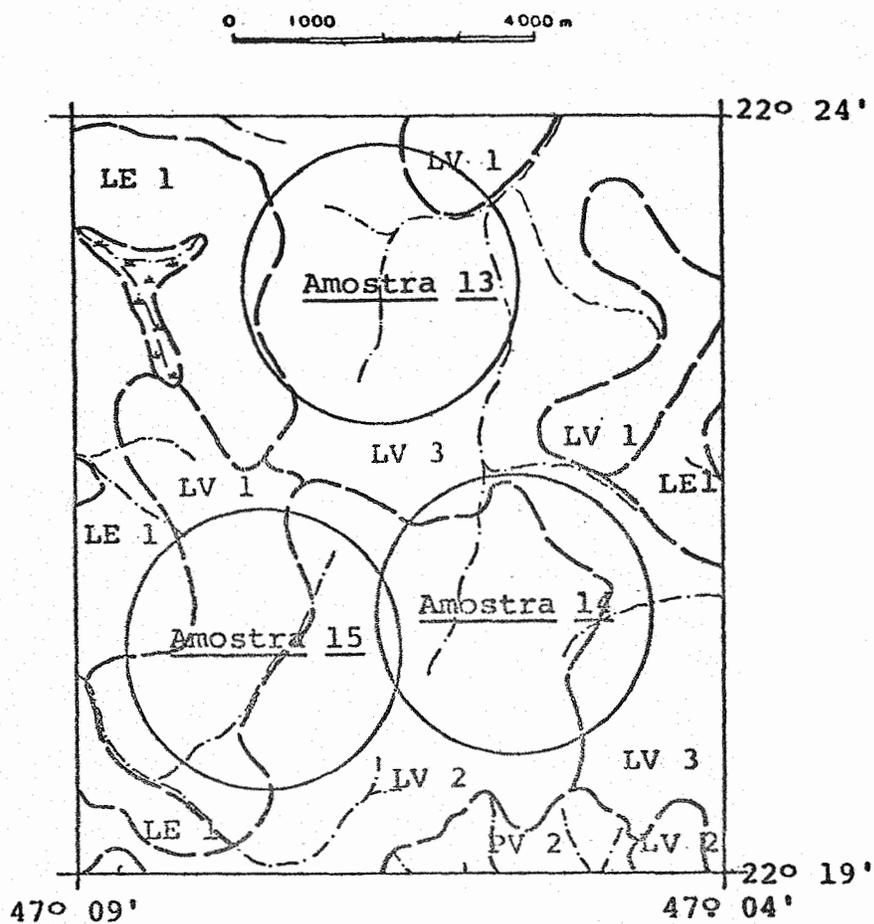


Figura 4. Localização geográfica e unidades de solo das amostras 12, 13, 14 e 15.

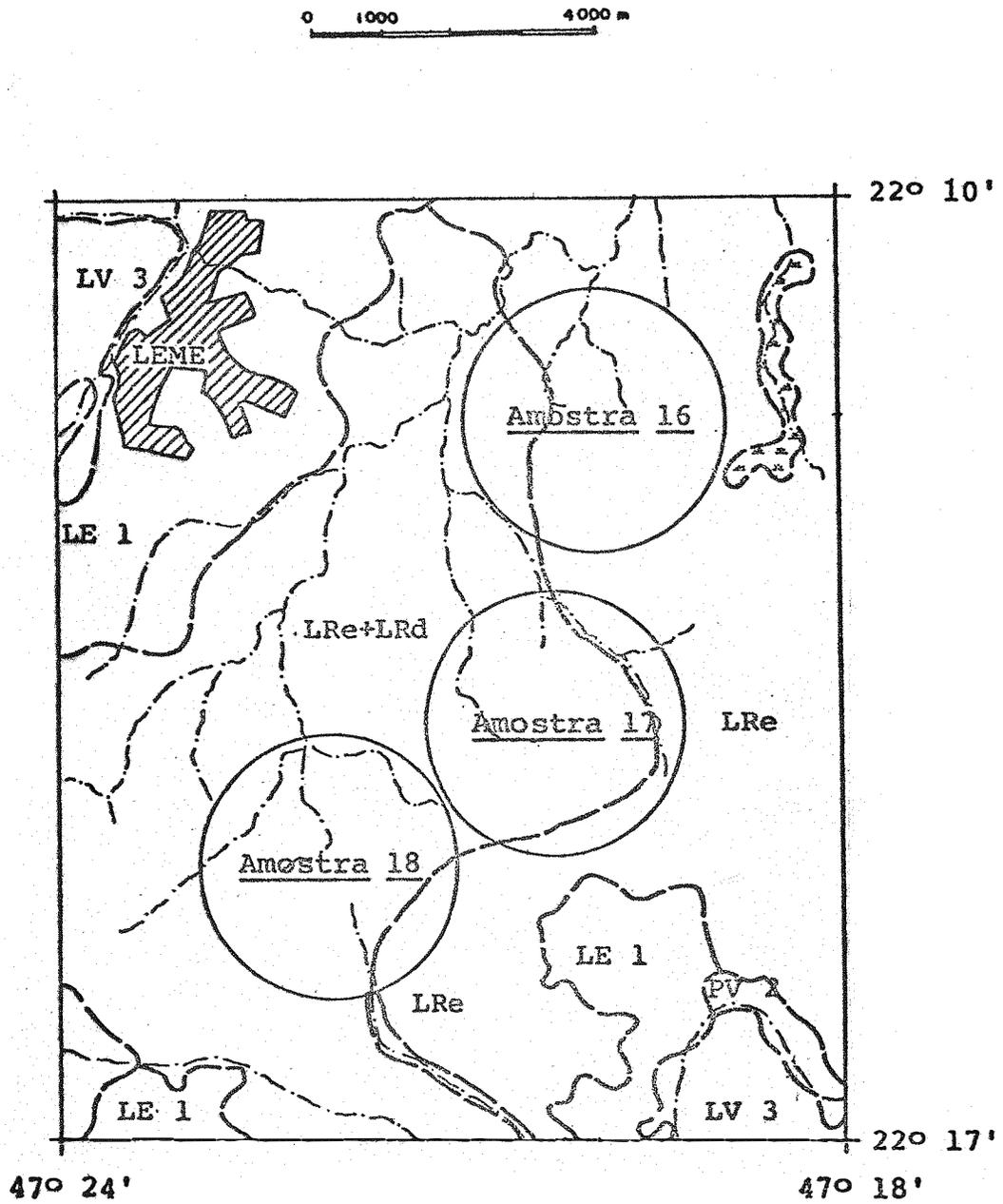


Figura 5. Localização geográfica e unidades de solo das amostras 16, 17 e 18.

Quadro 1. Cronogeologia do substrato dos locais das amostras

Amostras	Era	Período	Grupo	Formação	Rochas
1, 2, 3	Proterozóica	Pré-Cambriano Inferior	—	—	Gnaisses e migmatitos
4, 6	Paleozóica	Permiano	Passa-Dois	Corumbataí	Siltitos, arenitos, folhelhos
5, 7	Mesozóica	Cretáceo	São Bento	Botucatu e Piramboia	Arenitos, argilitos e conglomerados
8, 9, 10, 11, 13, 14, 15	Paleozóica	Carbonífero Permiano	Tubarão	—	Arenitos, siltitos, tilitos, argilitos, diamictitos e rilm- tos
12	Paleozóica	Permiano	Passa-Dois	Corumbataí	Siltitos, folhelho, arenitos
16, 17, 18	Mesozóica	Jurássico- Cretáceo	—	—	Intrusivas básicas

PONTE: IGG, 1974. Mapa Geológico do Estado de São Paulo (escala 1:1.000.000)

Cwa, ou seja, subtropical úmido. As características deste clima são: precipitação superior a 1.000 mm anuais e temperatura média inferior a 18°C no mês mais frio e superior a 22°C no mês mais quente (SETZER, 1966).

Baseado na classificação do clima pela efetividade da precipitação, as áreas amostradas enquadram-se no tipo Ccw, ou seja, clima úmido subtropical com estiagem no inverno, ocorrendo menos de 30 mm de chuva no mês mais frio (SETZER, 1966).

3.4. Solos nas áreas amostradas

Segundo levantamento pedológico semi-detalhado de OLIVEIRA *et alii* (1979, *), as áreas amostradas englobam 17 unidades de mapeamento conforme localização nas figuras de 1 a 5. A simbologia nas figuras é a mesma usada no levantamento.

Parte da amostra número 10 (Fig. 3) foi locada fora da área levantada por OLIVEIRA *et alii* (*). No entanto suas características fotopedológicas indicam que o solo de toda a amostra é do tipo B latossólico.

O quadro 2 resume informações sobre as unidades pedológicas de cada amostra (OLIVEIRA *et alii*, 1979, *), a localização segundo limites municipais e a variação de altitude por interpolação de curvas de nível de folhas topográficas (BRASIL, 1969, 1971a, 1971b, 1972, 1974a, 1974b).

Segundo OLIVEIRA *et alii* (1979, *), algumas

(*) OLIVEIRA, J.B.; J.R.F. MENK; J.L. BARBIERI; C.L. ROTTA e W.A. TREMOCOLDI. Levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo - Quadrícula de Araras. Campinas, Instituto Agrônômico (não publicado).

Quadro 2. Unidades pedológicas, localização municipal e variação de altitude das áreas amostradas

Amostra	Unidades	Municípios	Altitude m
Referência S ₁ - Podzólico Vermelho Amarelo			
1	PV6	Campinas	660 - 770
2	PV6, PV6+Li3	Campinas, Valinhos	660 - 770
3	PV6	Valinhos, Campinas	700 - 790
Referência S ₂ - Podzólico Vermelho Amarelo			
4	PV2, PV3+PV5	Rio Claro	640 - 730
5	PV1, PV3+PV5, LRd+LE4, AQ	Leme	650 - 785
6	PV3+PV5, Li1+Li2	Leme, Araras	650 - 745
7	PV1+PV2, PV3, PV5	Santa Cruz da Conceição	610 - 745
Referência S ₃ - Latossolo Vermelho Amarelo			
8	LV1, LV3, LE1	Moji-Guaçu	590 - 640
9	LV3+LV5, LE1+LV1, LE1	Aguaí	580 - 675
10	LV3, LE4+LE1	Moji-Guaçu	610 - 730
11	LV3, LE1	Moji-Guaçu	610 - 700
Referência S ₄ - Latossolo Vermelho Amarelo			
12	LV1, LV2, LV3, LE1, PV3	Araras	580 - 665
13	LV1, LV3, LE1	Conchal, Moji-Mirim	640 - 700
14	LV2, LV3	Moji-Mirim, Conchal	660 - 745
15	LV1, LV2, LE1	Conchal	640 - 725
Referência S ₅ - Latossolo Roxo			
16	LRe, LRe+LRd	Leme	580 - 700
17	LRe, LRe+LRd	Leme, Araras	600 - 700
18	LRe, LRe+LRd	Araras, Leme	600 - 655

características das unidades pedológicas das áreas estudadas, podem ser assim descritas:

a) LRe - Unidade Ribeirão Preto

Classificação: Latossolo Roxo Eutrófico, A moderado, textura argilosa, relevo suave ondulado

Características: Solo argiloso, poroso e espesso

B latossólico espesso (superior a 200 cm no B₂), com grande homogeneidade vertical

Relevo suave ondulado, com colinas de topo ligeiramente abaulado e declives inferiores a 5%

Altitude variando de 560 a 750 m

Material de origem - resultante do intemperismo de diabásios

Vegetação primitiva - matas

Ocupação atual - culturas

b) LRd - Unidade Barão Geraldo

Classificação: Latossolo Roxo Distrófico, A moderado, textura argilosa, relevo suave ondulado

Características: Solo argiloso, poroso e espesso

B latossólico espesso, com grande homogeneidade vertical

Relevo ondulado, com colinas de lançantes longos (500 m), com topos ligeiramente abaulados e declives inferiores a 5%

Altitude variando de 560 a 750 m

Material de origem - resultante do intemperismo e retrabalhamento de basaltos

Vegetação primitiva - cerradões e matas

Uso atual - culturas

c) LE 1 - Unidade Limeira

Classificação: Latossolo Vermelho Escuro álico, A moderado, textura argilosa, relevo aplainado ou suave ondulado

Características: Solo de textura argilosa, poroso, profundo e bem drenado

B latossólico espesso, com textura muito argilosa e grande homogeneidade vertical

Relevo suave ondulado com vertentes longas e declives inferiores a 5%

Altitude variando de 580 a 740 m

Material de origem - sedimentos argilosos retrabalhados, provenientes do intemperismo de argilitos e siltitos dos grupos Tubarão e Passa Dois (formação Irati)

Vegetação primitiva - matas e cerradões

Uso atual - culturas

d) LE 4 - Unidade Hortolândia

Classificação: Latossolo Vermelho Escuro álico, A moderado, textura média, relevo suave ondulado

Características: Solo de textura média, poroso, bem drenado

B latossólico espesso, com grande homogeneidade vertical

Relevo suave ondulado constituído de elevações de topo levemente abaulado, quase plano, com declives inferiores a 5%

Altitude variando de 450 a 700 m

Material de origem - sedimentos arenosos provenientes de arenitos finos do

grupo Tubarão com contribuição do material retrabalhado de basaltos
 Vegetação primitiva - cerradões e cerrados
 Uso atual - culturas, reflorestamentos e pastagens

e) LV 1 - Unidade Mato Dentro

Classificação: Latossolo Vermelho Amarelo álico, A moderado, textura argilosa, relevo aplainado ou suave ondulado

Características: Solo de textura barrenta ou argilosa no horizonte A e argilosa no horizonte B, poroso, profundo, bem drenado
 B latossólico apédico, espesso e homogêneo verticalmente
 Relevo aplainado a suave ondulado com declives em geral inferiores a 5%
 Altitude variando de 580 a 730 m
 Material de origem - resultante do retrabalhamento de material proveniente de sedimentos argilosos do grupo Tubarão
 Vegetação primitiva - matas e cerradões
 Uso atual - culturas

f) LV 2 - Unidade Speculaas

Classificação: Latossolo Vermelho Amarelo álico, A proeminente, textura média, relevo aplainado a suave ondulado

Características: Solo de textura média, profundo
 B latossólico apédico, espesso e homogêneo verticalmente
 Relevo aplainado a suave ondulado com declives que variam de 2 a 5%

Altitude variando de 580 a 750 m

Material de origem - resultante do retrabalhamento de sedimentos grosseiros do grupo Tubarão e da formação Irati (predominância de areia fina sobre areia grossa), com contribuição de materiais provenientes de arenitos da formação Botucatu (predominância de areia grossa sobre areia fina)

Vegetação primitiva - cerrados e cerradões

Uso atual - culturas e reflorestamentos

g) LV 3 - Unidade Laranja Azeda

Classificação: Latossolo Vermelho Amarelo álico, A moderado, textura média, relevo suave ondulado

Características: Solo de textura média com mais de 20% de argila, profundo, bem drenado

B latossólico apédico espesso

Relevo suave ondulado com declives variando entre 3 a 5%

Altitude variando de 580 a 730 m

Material de origem - resultante do retrabalhamento de sedimentos grosseiros do grupo Tubarão, com contribuição em alguns casos (aumento considerável da fração areia grossa) de material proveniente de arenitos da formação Botucatu

Vegetação primitiva - cerrados e cerradões

Uso atual - culturas, reflorestamentos e pastagens

h) LV 5 - Unidade Coqueiro

Classificação: Latossolo Vermelho Amarelo álico, A moderado, textura média, relevo suave ondulado

Características: Solo de textura média com menos de 20% de argila, profundo, bem drenado

B latossólico apédico, espesso

Relevo suave ondulado com declives variando entre 3 a 5%

Altitude variando de 580 a 670 m

Material de origem - resultante do retrabalhamento de sedimentos grosseiros do grupo Tubarão, com contribuição em alguns casos (aumento considerável de fração areia grossa) de material proveniente de arenitos da formação Botucatu

Vegetação primitiva - cerrados e cerradões

Uso atual - culturas, reflorestamentos e pastagens

i) PV 1 - Unidade Alva

Classificação: Podzólico Vermelho Amarelo abruptico, A moderado, textura média, relevo ondulado ou forte ondulado

Características: Solo profundo com horizonte A espesso (em geral superior a 60 cm), arenoso, assente abrupticamente sobre um B textural, espesso e extremamente duro

Relevo ondulado a fortemente ondulado com declives de 8 a 15%

Altitude variando de 540 a 780 m

Material de origem - arenitos finos do grupo Tubarão

Vegetação primitiva - matas

Uso atual - culturas

j) PV 2 - Unidade Serrinha

Classificação: Podzólico Vermelho Amarelo álico, A moderado, relevo suave ondulado a ondulado

Características: Solo profundo com horizonte A moderado, arenoso, assente sobre um B textural, espesso, de textura média

Relevo suave ondulado (declives entre 4 a 7%) a ondulado (declives até 15%)

Altitude variando de 620 a 780 m

Material de origem - proveniente do retrabalhamento de arenitos finos das formações Corumbataí e Botucatu

Vegetação primitiva - matas

Uso atual - culturas, pastagens e reflorestamentos

l) PV 3 - Unidade Holambra

Classificação: Podzólico Vermelho Amarelo Distrófico, A moderado ou proeminente, textura média

Características: Solo poroso, friável, profundo, com horizonte A moderado, de textura areno barrenta, assente sobre um B textural espesso, com apreciável diferenciação textural

Relevo suave ondulado

Altitude variando de 620 a 780 m

Material de origem - sedimentos areno argilosos resultantes do retrabalhamento de materiais provenientes de rochas básicas

Vegetação primitiva - matas

Uso atual - culturas

m) PV 5 - Unidade Santa Cruz

Classificação: Podzólico Vermelho Amarelo álico, A moderado, textura argilosa, relevo suave ondulado

Características: Solo moderadamente profundo (horizontes A + B < 120 cm), bem drenado, com horizonte A moderado assente sobre um B textural, argiloso a muito argiloso

Relevo suave ondulado

Altitude variando de 620 a 780 m

Material de origem - sedimentos de formação Corumbataí

Vegetação primitiva - matas

Ocupação atual - culturas

n) PV 6 - Unidade Valinhos

Classificação: Podzólico Vermelho Amarelo, A moderado, textura argilosa, relevo suave ondulado a ondulado

Características: Solo profundo com ampla variação morfológica, apresentando horizonte superficial de textura areno barrenta a areno argilosa, passando a argilosa nos horizontes inferiores

Relevo suave ondulado a ondulado, constituído pelas áreas rebaixadas do Planalto Atlântico limítrofes com a Depressão Periférica

Altitude variando de 600 a 770 m

Material de origem - resultante do intemperismo de rochas do Pré-cambriano, principalmente gnaisses, com contribuição de sedimentos do Permiano

Vegetação primitiva - matas

Uso atual - pastagens e culturas

o) AQ - Unidade Panorama

Classificação: Solos arenoquartzosos profundos podzólicos,
A moderado, álico, relevo suave ondulado

Características: Solo arenoso ao longo do perfil e com pequena diferenciação entre as camadas subjacentes ao horizonte A (sequência de horizontes A,C), profundo, excessivamente drenado

Relevo suave ondulado com declives de 3 a 7%

Altitude variando de 560 a 780 m

Material de origem - sedimentos arenosos modernos

Vegetação primitiva - campos cerrados e cerrados

Uso atual - cerrados e reflorestamentos

p) Li 1, Li 2, Li 3 - Solos Litólicos (ou Litossolos)

Classificação: Li 1 - Solos Litólicos, A moderado ou proeminente, substrato arenito fino ou siltito

Li 2 - Solos Litólicos, A moderado, substrato basalto

Li 3 - Solos Litólicos, A moderado, substrato granito-gnaiss

Características: Solos com pequena espessura, geralmente inferior a 30 cm, apresentando perfil do tipo A,R, sendo que a rocha subjacente em geral se apresenta alterada e branda, com horizonte A moderado, podendo ocorrer também A proeminente

Solos geralmente eutróficos, associados a outras unidades

Textura variável, relacionada com a natureza do substrato. Os solos derivados do basalto são argilosos; os derivados de granito-gnaisses, barrentos e os derivados de sedimentos siltosos ou arenosos do grupo Tubarão, arenosos ou barrentos

Relevo ondulado ou ondulado dissecado

Vegetação primitiva - matas

Uso atual - culturas, especialmente naqueles derivados de sedimentos do grupo Tubarão

3.5. Material fotográfico

Foram utilizadas fotografias aéreas verticais, pancromáticas, de formato de 23 x 23cm, de três diferentes coberturas aerofotográficas. Todas as fotografias apresentavam recobrimento médio de 60% no sentido da faixa de voo e de 30% entre as faixas, o que permite exame estereoscópico de pares fotográficos e total cobertura fotográfica de área.

A cobertura mais antiga é a de escala aproximada 1:60.000, executada pela USAF (United States Air Force), para o Governo Brasileiro. As fotos utilizadas foram tiradas durante os meses de abril a julho de 1965.

A cobertura mais recente é a de escala aproximada 1:35.000, executada pela TerraFoto S.A. para a Secretaria de Planejamento do Estado de São Paulo. As datas de tomada destas fotografias variam nos meses de junho e julho de 1978.

A terceira cobertura utilizada é a de escala aproximada 1:25.000, executada pela Vasp Aerofotogrametria S.A., hoje TerraFoto S.A., para o IBC-GERCA (Instituto Brasi-

leiro do Café, Grupo Executivo de Racionalização da Cafeicultura). As fotos utilizadas estão datadas de junho a setembro de 1972.

Os fotoíndices correspondentes foram utilizados para identificação das fotografias necessárias, a partir da escolha dos locais de amostragem no mapa de solos.

3.6. Material de escritório

Para exame das fotografias foi utilizado estereoscópio de espelhos Wild modelo ST-4.

Para medições de comprimento foi utilizado curvímeter.

Outros materiais comuns de desenho foram utilizados quando necessários nas diferentes etapas do trabalho.

3.7. Seleção das áreas de estudo

Pela análise dos mapas pedológicos de OLIVEIRA *et alii* (1979, *), foram selecionadas áreas de ocorrência contínua das unidades de solo estudadas, independente de subdivisões destas em fases. Sobre as fotografias 1:60.000 correspondentes a estas áreas foram traçadas as redes de drenagem superficial.

Seguindo o método de pesquisa lógica sugerido por RABBEN (1960), foram localizadas, sobre as redes de drenagem

(*) OLIVEIRA, J.B.; J.R.F. MENK; J.L. BARBIERI; C.L. ROTTA e W.A. TREMOCOLDI. Levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo - Quadrícula de Araras. Campinas, Instituto Agrônomo (não publicado).

traçadas, as amostras circulares de 10 km², tomando-se o cuidado de, além de conter a maior porcentagem possível de uma mesma unidade pedológica, conter o máximo de canais de drenagem de ordens inferiores segundo a classificação de HORTON (1945) modificada por STRAHLER (1957).

Para maior coincidência das áreas amostradas nas diversas escalas, sempre que possível, foram usados, pontos identificáveis, nas diferentes coberturas aerofotográficas, para centro das amostras.

3.8. Obtenção dos mapas de drenagem

Sob exame estereoscópico das imagens fotográficas das amostras, sem utilização de binocular de aumento adicional, foram traçadas sobre templetos de papel "ultraphan" todos os canais de drenagem superficial, tanto permanentes como temporários, desde que correspondessem a canais já estabelecidos. Foram excluídos os canais oriundos de efeitos erosivos recentes. Também foram locadas as áreas úmidas que contivessem ou não canais de drenagem identificáveis.

Para evitar sugestionamento e uniformizar a maneira de obtenção dos dados, foram interpretadas inicialmente todas as amostras na escala 1:60.000 e, por último, aquelas na escala 1:25.000.

3.9. Características analisadas dos padrões de drenagem

Nos mapas de drenagem das áreas amostradas foi feita a medição do número e do comprimento total dos canais da rede de drenagem.

A partir destes dados e dos valores da área amostral e de seu perímetro, foram calculados os valores de

frequência de rios, razão de textura, densidade de drenagem e comprimento médio de canais e determinada a classe de textura topográfica.

A frequência de rios foi calculada segundo adaptação por SOUZA (1975) da fórmula de HORTON (1945), como sendo o número de canais de drenagem por unidade de área da amostra circular.

A razão de textura também foi calculada segundo SOUZA (1975), que adaptou a definição de SMITH (1950) modificada por FRANÇA (1968) a amostras circulares. Este índice indica a relação entre o número de canais e o perímetro da amostra circular.

A densidade de drenagem segundo HORTON (1945) e com adaptação de RAY e FISCHER (1960) fornece o valor de comprimento dos canais por unidade de área.

O comprimento médio de canais traduz a relação entre o comprimento total e o número dos canais da rede de drenagem. A análise deste índice segue recomendações de KOFFLER (1976a) e DEMÉTRIO (1977).

A classe de textura topográfica foi determinada segundo adaptação de FRANÇA (1968) da classificação de SMITH (1950) ao sistema métrico.

Descritivamente, os padrões de drenagem foram caracterizados conforme LUEDER (1959), sendo incluído o tipo ou modelo segundo PARVIS (1950) e anomalias segundo RICCI e PETRI (1965).

3.10. Análise estatística

Os valores obtidos para os índices de drenagem: frequência de rios, razão de textura, densidade de drenagem e comprimento médio dos canais, em função das fotografias em

diferentes escalas e em função das referências de solo, foram comparadas através do teste não paramétrico de Kruskal-Wallis.

Segundo CAMPOS (1976), sendo um substituto do Teste F do campo paramétrico, o teste Kruskal-Wallis tem a finalidade de averiguar se k amostras independentes são provenientes de uma mesma população ou de populações idênticas, ou se provêm de populações distintas.

As hipóteses consideradas para análise dos índices de drenagem das amostras circulares de cada referência de solo foram:

$H_0 : E_1 = E_2 = E_3$ sendo E_1 , E_2 e E_3 as escalas fotográficas utilizadas, respectivamente, 1:60.000, 1:35.000 e 1:25.000

H_a : pelo menos dois tratamentos (escalas fotográficas) diferem entre si

Ao analisar os índices de drenagem obtidos para as amostras circulares através de cada uma das três coberturas fotográficas, as hipóteses consideradas foram:

$H_0 : S_1 = S_2 = S_3 = S_4 = S_5$ sendo S_1 , S_2 , S_3 , S_4 e S_5 as referências de solo estudadas (descritas em 3.1.)

H_a : pelo menos dois tratamentos (referências de solo) diferem entre si

Quando foi detectada diferença significativa até um nível de 2,5% ($\alpha = 0,025$) no teste de Kruskal-Wallis, foram feitas comparações múltiplas entre os tratamentos, a fim de quantificar o nível de significância das diferenças existentes.

Segundo CAMPOS (1976) os processos não paramétricos empregados nas comparações múltiplas, quase sempre, são menos eficientes do que os seus concorrentes do campo paramétrico. Entretanto, foram feitas as comparações múltiplas, que podem ser encaradas como complementação do teste de Kruskal-Wallis, tendo sido registradas as diferenças existentes até um nível de 10% de significância ($\alpha = 0,100$).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Interpretação das fotografias aéreas

As reproduções das redes de drenagem das amostras circulares, representativas dos solos estudados, levantadas por fotointerpretação nas fotografias de escala aproximada 1:60.000 estão nas figuras 1 a 5 do apêndice, enquanto que aquelas levantadas nas fotografias de escala aproximada 1:35.000 estão nas figuras 6 a 23 do apêndice e as baseadas nas informações das fotografias de escala aproximada 1:25.000 estão nas figuras 24 a 41 do apêndice.

4.2. Características dimensionais nas amostras

Nas amostras circulares de 10 km^2 , cujo perímetro corresponde a 11,21 km, foram feitas contagens do número (N) e medições do comprimento total (Lt) dos canais de drenagem superficial, cujos resultados estão apresentados nos quadros 3 a 4. Nesses quadros são apresentados também os valores médios das medidas por grupamento de amostras nas referências de solo.

Quanto ao número de canais, observa-se uma ní-

Quadro 3. Número de canais de drenagem superficial nas amostras circulares, nas três escalas fotográficas.

Solo		Escala Fotográfica		
Referência	Amostra	1:60.000	1:35.000	1:25.000
S ₁ - Podzólico Vermelho Amarelo	1	61	68	69
	2	50	59	69
	3	64	66	77
Média do S ₁		58,33	64,33	71,67
S ₂ - Podzólico Vermelho Amarelo	4	19	27	36
	5	35	51	55
	6	38	64	60
	7	66	75	100
Média do S ₂		39,50	54,25	62,75
S ₃ - Latossolo Vermelho Amarelo	8	4	5	5
	9	6	7	10
	10	6	8	9
	11	7	6	6
Média do S ₃		5,75	6,50	7,50
S ₄ - Latossolo Vermelho Amarelo	12	5	6	6
	13	6	5	6
	14	4	4	4
	15	8	9	13
Média do S ₄		5,75	6,00	7,25
S ₅ - Latossolo Roxo	16	10	15	10
	17	11	13	12
	18	6	6	7
Média do S ₅		9,00	11,33	9,67

Quadro 4. Comprimento total dos canais de drenagem superficial, em quilômetros, nas amostras circulares, nas três escalas fotográficas.

Solo		Escala Fotográfica		
Referência	Amostra	1:60.000	1:35.000	1:25.000
S ₁ - Podzólico Vermelho Amarelo	1	27,730	30,450	31,800
	2	25,620	26,635	29,700
	3	27,960	27,335	29,600
Média do S ₁		27,120	28,140	30,367
S ₂ - Podzólico Vermelho Amarelo	4	13,620	23,170	16,300
	5	18,960	20,720	21,400
	6	24,120	24,570	25,350
	7	27,480	27,125	31,000
Média do S ₂		21,045	23,896	23,512
S ₃ - Latossolo Vermelho Amarelo	8	6,840	7,000	6,525
	9	6,000	6,300	6,925
	10	5,640	7,420	7,000
	11	8,820	7,385	7,450
Média do S ₃		6,825	7,026	6,975
S ₄ - Latossolo Vermelho Amarelo	12	6,720	7,350	7,750
	13	7,800	7,525	7,800
	14	5,700	5,460	5,325
	15	7,800	7,245	8,100
Média do S ₄		7,005	6,895	7,244
S ₅ - Latossolo Roxo	16	7,980	7,735	7,725
	17	10,440	10,850	10,975
	18	10,260	10,045	11,075
Média do S ₅		9,560	9,543	9,925

tida diferenciação entre as amostras representativas de solos podzólicos (referências S_1 e S_2) e aquelas de latossolos (referências S_3 , S_4 e S_5).

Dentre os latossolos, percebe-se valores semelhantes para as referências de Latossolo Vermelho Amarelo correspondendo a 55%, em média, dos valores obtidos para o Latossolo Roxo.

Entre as amostras representativas dos solos podzólicos, também são notadas diferenças; os valores médios para S_1 correspondem a 115 a 145% daqueles para S_2 nas diferentes escalas.

Quanto ao aspecto de variação dos valores para o número de canais; em cada referência de solo, medidos em fotografias nas diferentes escalas, observa-se que há aumento no sentido da menor escala para a maior, sendo sensível no caso dos solos podzólicos, quando ocorreu até 30% de aumento. Somente nas amostras representativas do Latossolo Roxo ocorreu uma diminuição no número de canais medidos, ao mudar da escala 1:35.000 para 1:25.000, embora no outro intervalo de mudança de escalas tenha ocorrido pequeno aumento, como nos outros latossolos.

Os dados obtidos para comprimento total dos canais seguem as mesmas tendências daqueles obtidos para o número de canais. Assim, há nítida distinção entre os dados dos solos podzólicos e dos latossolos, tendo os Latossolos Vermelho Amarelo apresentado valores semelhantes entre si e pouco inferiores aos do Latossolo Roxo.

Houve também tendência de aumento nos dados de comprimento total dos canais no sentido das medições feitas nas fotografias de escala menor para aquelas feitas nas de escala maior. Entretanto, estes aumentos foram de valor absoluto reduzido.

Estes dados estão de acordo com as observações

de LUEDER (1959) sobre o desenvolvimento do padrão de drenagem em função das características diferenciais de capacidade de infiltração, permeabilidade e textura dos materiais presentes na área. Pela descrição suscinta das unidades de solo que ocorrem na área, segundo OLIVEIRA *et alii* (1979, *), percebe-se a tendência de característica de boa drenagem para os Latossolos Vermelho Amarelo. Dentre os solos podzólicos, os da referência S₁, originados principalmente de gnaisses, enquanto que os da referência S₂ em sua maioria provenientes de arenitos, são os que tendem a apresentar menor relação infiltração/deflúvio. Observa-se que quanto menor esta relação, mais densa tende a ser a rede de drenagem, com maior número de canais.

A variação encontrada para o número de canais com material fotográfico de escalas diferentes, concorda com os resultados obtidos por KOFFLER (1976a), que atribui tal efeito ao maior detalhe oferecido pela fotografias em escala maior. Este efeito é secundário quando a rede de drenagem é menos densa e com canais mais longos, como no caso do latossolos.

As mesmas considerações são válidas para a ocorrência de variações no comprimento dos canais de drenagem de amostras representativas de solos diferentes. Neste caso, a influência de variação de escala fotográfica se torna menos notável, principalmente nos latossolos.

(*) OLIVEIRA, J.B.; J.R.F. MENK; J.L. BARBIERI; C.L. ROTTA e W.A. TREMOCOLDI. Levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo - Quadrícula de Araras. Campinas, Instituto Agrônômico (não publicado).

4.3. Índices de drenagem

4.3.1. Frequência de rios

Os valores calculados para frequência de rios nas amostras circulares ($F_c = N/A$) com as fotografias em três escalas, e seus valores médios por referência de solos são apresentados no quadro 5. O quadro 6 resume os resultados obtidos pela aplicação do teste de Kruskal-Wallis, quando foi estipulada significância de diferença até nível de 5%, e pelas comparações múltiplas que são mostradas entre os tratamentos diferentes, até nível de 10% de significância.

É notável a distinção entre os solos podzólicos e os latossolos pelos valores deste índice.

O teste de Kruskal-Wallis também acusa a ocorrência de diferenças entre as referências de solo, da ordem de 1,0% de significância nas escalas E_1 (1:60.000) e E_2 (1:35.000) e de 2,5% na escala E_3 (1:25.000). Pelas comparações múltiplas, ocorrem diferenças entre o S_1 e o S_3 num nível de 7,8% de significância e entre o S_1 e o S_4 com 6,0% de significância, dentro da escala E_1 (1:60.000). Na escala E_2 (1:35.000) só foi detectado diferença significativa entre o S_1 e o S_4 , ao nível de 5,8%. Com os dados obtidos nas fotografias de escala E_3 (1:25.000), há diferença entre o S_1 e o S_4 com 7,0% de significância.

Na comparação dos dados obtidos nas três escalas fotogrâficas, só ocorreu diferença, ao nível de 2,5% de distinção, para a referência de solo S_1 . E, neste caso, a diferença foi atribuída às escalas E_1 e E_3 , a um nível de 2,9% de significância.

KOFFLER (1976a) e DEMÉTRIO (1977), em trabalhos que também compararam escalas fotogrâficas, obtiveram resultados com as mesmas tendências do presente, para o índice frequência de rios.

Quadro 5. Frequência de rios nas amostras circulares, nas três escalas fotográficas.

Solo		Escala Fotográfica		
Referência	Amostra	1:60.000	1:35.000	1:25.000
S ₁ - Podzólico Vermelho Amarelo	1	6,1	6,8	6,9
	2	5,0	5,9	6,9
	3	6,4	6,6	7,7
Média do S ₁		5,833	6,433	7,167
S ₂ - Podzólico Vermelho Amarelo	4	1,9	2,7	3,6
	5	3,5	5,1	5,5
	6	3,8	6,4	6,0
	7	6,6	7,5	10,0
Média do S ₂		3,950	5,425	6,275
S ₃ - Latossolo Vermelho Amarelo	8	0,4	0,5	0,5
	9	0,6	0,7	1,0
	10	0,6	0,8	0,9
	11	0,7	0,6	0,6
Média do S ₃		0,575	0,650	0,750
S ₄ - Latossolo Vermelho Amarelo	12	0,5	0,6	0,6
	13	0,6	0,5	0,6
	14	0,4	0,4	0,4
	15	0,8	0,9	1,3
Média do S ₄		0,575	0,600	0,725
S ₅ - Latossolo Roxo	16	1,0	1,5	1,0
	17	1,1	1,3	1,2
	18	0,6	0,6	0,7
Média do S ₅		0,900	1,133	0,967

Quadro 6. Resultados do teste de Kruskal-Wallis envolvendo as escalas fotográficas (E_1 , E_2 e E_3) e as referências de solo (S_1, S_2, S_3, S_4, S_5) e das comparações múltiplas com diferença significativa até o nível de 10% para o índice frequência de rios

Características	Kruskal-Wallis		Comparações múltiplas		
	H	α^*	Confronto	$ R_i - R_j $	α
Variação de escalas na S_1	5,956	0,025	E_1 vs E_3	16	0,029
Variação de escalas na S_2	1,500	ns	—	—	—
Variação de escalas na S_3	1,067	ns	—	—	—
Variação de escalas na S_4	0,269	ns	—	—	—
Variação de escalas na S_5	0,956	ns	—	—	—
				<u>$R_i - R_j$</u>	
Variação de referências de solo na E_1	13,514	0,010	S_1 v S_3 S_1 v S_4	10,88 11,25	0,078 0,060
Variação de referências de solo na E_2	13,379	0,010	S_1 vs S_4	11,30	0,058
Variação de referências de solo na E_3	13,031	0,025	S_1 vs S_3 S_1 v S_4	10,63 11,00	0,094 0,070

* Limite máximo de significância: 5%

4.3.2. Razão de textura

O quadro 7 apresenta os valores calculados para o índice razão de textura nas amostras circulares ($T_c = N/P$), com as fotografias nas escalas estudadas, bem como os valores médios por grupamento das amostras nas cinco referências de solo.

Cabe observar que os valores de T_c também podem ser obtidos pela divisão dos valores de F_c por 1,121, que corresponde ao valor da relação existente entre o perímetro (P) e a área (A) das amostras circulares utilizadas.

Aplicou-se a estes resultados o teste de Kruskal-Wallis e, quando houvesse diferença com significância até o nível de 5%, o teste das comparações múltiplas, e preparou-se o demonstrativo no quadro 8. Observa-se que as comparações múltiplas demonstradas são somente aquelas em que a diferença fosse significativa até o nível de 10%.

Os mesmos comentários tecidos a respeito das variações ocorridas para o índice frequência de rios são válidos para este índice.

Devido à existência de relação fixa entre perímetro e área do círculo, torna-se desnecessário a análise de dois parâmetros que relacionam o número de canais de drenagem com cada uma destas dimensões da amostra circular. Considera-se preferível, se a amostragem utilizada for através de círculos de mesma área, a análise somente da razão de textura segundo proposição de SMITH (1950) com modificação de FRANÇA (1968), por permitir a classificação do padrão de drenagem conforme a textura topográfica da maneira proposta por estes dois autores. Por outro lado, segundo KOFFLER (1976b), o índice razão de textura não deve ser aplicado para comparar padrões de drenagem em amostras de dimensões variadas, caso em que seria mais recomendável o índice frequência de rios proposto por HORTON (1945).

Quadro 7. Razão de textura nas amostras circulares, nas três escalas fotográficas.

Solo		Escala Fotográfica		
Referência	Amostra	1:60.000	1:35.000	1:25.000
S ₁ - Podzólico Vermelho Amarelo	1	5,442	6,066	6,155
	2	4,460	5,263	6,155
	3	5,709	5,388	6,869
Média do S ₁		5,204	5,739	6,393
S ₂ - Podzólico Vermelho Amarelo	4	1,695	2,409	3,211
	5	3,122	4,549	4,906
	6	3,390	5,709	5,352
	7	5,833	6,690	8,921
Média do S ₂		3,524	4,339	5,598
S ₃ - Latossolo Vermelho Amarelo	8	0,357	0,446	0,446
	9	0,535	0,624	0,892
	10	0,535	0,714	0,803
	11	0,624	0,535	0,535
Média do S ₃		0,513	0,580	0,669
S ₄ - Latossolo Vermelho Amarelo	12	0,446	0,535	0,535
	13	0,535	0,446	0,535
	14	0,357	0,357	0,357
	15	0,714	0,203	1,160
Média do S ₄		0,513	0,535	0,647
S ₅ - Latossolo Roxo	16	0,892	1,338	0,892
	17	0,981	1,160	1,070
	18	0,535	0,535	0,624
Média do S ₅		0,803	1,011	0,862

Quadro 8. Resultados do teste de Kruskal-Wallis envolvendo as escalas fotográficas (E_1 , E_2 e E_3) e as referências de solo (S_1, S_2, S_3, S_4, S_5) e das comparações múltiplas com diferença significativa até o nível de 10% para o índice razão de textura

Características	Kruskal-Wallis		Comparações múltiplas		
	H	α^*	Confronto	$ R_i - R_j $	α
Variação de escalas na S_1	5,956	0,025	E_1 vs E_3	16	0,029
Variação de escalas na S_2	1,500	ns	—	—	—
Variação de escalas na S_3	1,067	ns	—	—	—
Variação de escalas na S_4	0,269	ns	—	—	—
Variação de escalas na S_5	0,956	ns	—	—	—
				<u>$R_i - R_j$</u>	
Variação de referências de solo na E_1	13,514	0,010	S_1 vs S_3 S_1 vs S_4	10,88 11,25	0,078 0,060
Variação de referências de solo na E_2	13,379	0,010	S_1 vs S_4	11,30	0,058
Variação de referências de solo na E_3	13,031	0,025	S_1 vs S_3 S_1 vs S_4	10,63 11,00	0,094 0,070

* Limite máximo de significância: 5%

4.3.3. Densidade de drenagem

Os valores de densidade de drenagem das amostras circulares ($D_c = L_t/A$) em material fotográfico nas três escalas foram calculados e estão reproduzidos no quadro 9, que também fornece os valores médios por referência de solo.

O quadro 10 demonstra os resultados obtidos pela aplicação dos testes de Kruskal-Wallis e das comparações múltiplas. Foram consideradas diferenças significativas no teste de Kruskal-Wallis, aquelas até nível de 5% de significância. Estão apresentadas apenas as comparações múltiplas com diferença significativa até nível de 10%.

Os valores obtidos distinguem os solos podzólicos dos latossolos, porém estas diferenciações só têm significância, até o nível limite considerado, entre o S_1 e o S_3 nas três escalas, e entre o S_1 e o S_4 nas duas escalas menores.

Não houveram diferenças significativas entre os valores obtidos para cada referência de solo nas diversas escalas estudadas.

A aplicação deste índice para estudos litológicos por RAY e FISCHER (1960) foi estendida com sucesso por FRANÇA (1968) para interpretação pedológica; posteriormente, diversos autores como MARCHETTI (1969), FADEL (1972), LEÃO (1972), VASQUES FILHO (1972), KOFFLER (1976a; 1976b), CARVALHO (1977), DEMÉTRIO (1977), FREIRE (1977) e SILVA (1977) verificaram a grande eficiência deste índice para diferenciação de unidades pedológicas. Os resultados obtidos no presente trabalho discordam em parte das conclusões desses autores.

4.3.4. Comprimento médio dos canais de drenagem superficial

O quadro 11 contém os valores calculados para

Quadro 9. Densidade de drenagem nas amostras circulares, nas três escalas fotográficas.

Solo		Escala Fotográfica		
Referência	Amostra	1:60.000	1:35.000	1:25.000
S ₁ - Podzólico Vermelho Amarelo	1	2,778	3,045	3,180
	2	2,562	2,663	2,970
	3	2,796	2,733	2,960
Média do S ₁		2,712	2,814	3,037
S ₂ - Podzólico Vermelho Amarelo	4	1,362	2,317	1,630
	5	1,896	2,072	2,140
	6	2,412	2,457	2,535
	7	2,748	2,712	3,100
Média do S ₂		2,104	2,389	2,351
S ₃ - Latossolo Vermelho Amarelo	8	0,684	0,700	0,652
	9	0,600	0,630	0,692
	10	0,564	0,742	0,700
	11	0,882	0,738	0,745
Média do S ₃		0,682	0,702	0,697
S ₄ - Latossolo Vermelho Amarelo	12	0,672	0,735	0,775
	13	0,780	0,752	0,780
	14	0,570	0,546	0,532
	15	0,780	0,724	0,810
Média do S ₄		0,700	0,689	0,724
S ₅ - Latossolo Roxo	16	0,798	0,773	0,772
	17	1,044	1,085	1,097
	18	1,026	1,004	1,107
Média do S ₅		0,956	0,954	0,992

Quadro 10. Resultados do teste de Kruskal-Wallis envolvendo as escalas fotográficas (E_1 , E_2 e E_3) e as referências de solo (S_1, S_2, S_3, S_4, S_5) e das comparações múltiplas com diferença significativa até o nível de 10% para o índice densidade de drenagem

Características	Kruskal-Wallis		Comparações múltiplas		
	H	α^*	Confronto	$ R_i - R_j $	α
Variação de escalas na S_1	3,467	ns	—	—	—
Variação de escalas na S_2	0,461	ns	—	—	—
Variação de escalas na S_3	1,048	ns	—	—	—
Variação de escalas na S_4	1,192	ns	—	—	—
Variação de escalas na S_5	0,622	ns	—	—	—
				$\overline{ R_i - R_j }$	
Variação de referências de solo na E_1	14,620	0,010	S_1 vs S_3 S_1 vs S_4	12,17 11,92	0,028 0,036
Variação de referências de solo na E_2	14,985	0,010	S_1 vs S_3 S_1 vs S_4	12,17 12,17	0,028 0,028
Variação de referências de solo na E_3	14,319	0,010	S_1 vs S_3	12,83	0,016

* Limite máximo de significância: 5%

Quadro 11. Comprimento médio dos canais de drenagem superficial, em quilômetros, nas amostras circulares, nas três escalas fotográficas.

Solo		Escala Fotográfica		
Referência	Amostra	1:60.000	1:35.000	1:25.000
S ₁ - Podzólico Vermelho Amarelo	1	0,455	0,448	0,461
	2	0,512	0,451	0,430
	3	0,437	0,414	0,384
Média do S ₁		0,468	0,437	0,425
S ₂ - Podzólico Vermelho Amarelo	4	0,717	0,853	0,453
	5	0,542	0,405	0,389
	6	0,635	0,384	0,422
	7	0,416	0,362	0,310
Média do S ₂		0,577	0,502	0,393
S ₃ - Latossolo Vermelho Amarelo	8	1,710	1,400	1,305
	9	1,000	0,900	0,692
	10	0,940	0,927	0,778
	11	1,260	1,231	1,242
Média do S ₃		1,227	1,114	1,004
S ₄ - Latossolo Vermelho Amarelo	12	1,344	1,225	1,292
	13	1,300	1,505	1,300
	14	1,425	1,365	1,331
	15	0,975	0,805	0,623
Média do S ₄		1,261	1,225	1,136
S ₅ - Latossolo Roxo	16	0,798	0,516	0,772
	17	0,949	0,835	0,915
	18	1,710	1,674	1,532
Média do S ₅		1,152	1,008	1,090

comprimento médio dos canais de drenagem superficial ($L_m = L_t/N$) nas amostras circulares feitas sobre fotografias nas três escalas estudadas. Neste quadro estão também os valores médios deste índice, por referência de solo.

Pela aplicação dos testes não paramétricos de Kruskal-Wallis e de comparações múltiplas, chegou-se aos valores apresentados no quadro 12. Foram fixados os limites de significância das diferenças analisadas, o nível de 5% no teste de Kruskal-Wallis e de 10% nas comparações múltiplas; só estão demonstradas as comparações múltiplas de diferenças significantes.

Observa-se que os valores obtidos para os solos podzólicos são no máximo 50% dos valores obtidos para os latossolos, tendo sido acusadas diferenças significativas pelo teste de Kruskal-Wallis. Através das comparações múltiplas, só foi localizada diferença, até o nível limite de significância estipulado, entre o S_1 e o S_4 na escala 1:60.000.

Não foi observado efeito da variação de escala fotográfica na obtenção deste índice nas diversas referências de solo.

O estudo do comprimento médio dos canais, conforme sugestões de KOFFLER (1976a) e DEMÉTRIO (1977), não apresentou resultados tão significativos como os outros três analisados. Considerando que este índice corresponde à relação entre outros dois (densidade de drenagem e frequência de rios) não se recomenda sua inclusão entre os índices caracterizadores de padrão de drenagem em amostras circulares.

4.4. Textura topográfica

Os valores médios da razão de textura das amostras circulares (T_c) permitiram, segundo parâmetros de SMITH (1950) modificados por FRANÇA (1968) para o sistema métrico,

Quadro 12. Resultados do teste de Kruskal-Wallis envolvendo as escalas fotográficas (E_1 , E_2 e E_3) e as referências de solo (S_1, S_2, S_3, S_4, S_5) e das comparações múltiplas com diferença significativa até o nível de 10% para o índice comprimento médio dos canais de drenagem superficial

Características	Kruskal-Wallis		Comparações múltiplas		
	H	α^*	Confronto	$ R_i - R_j $	α
Variação de escalas na S_1	1,689	ns	—	—	—
Variação de escalas na S_2	2,923	ns	—	—	—
Variação de escalas na S_3	1,192	ns	—	—	—
Variação de escalas na S_4	0,894	ns	—	—	—
Variação de escalas na S_5	0,622	ns	—	—	—
				$\overline{ R_i - R_j }$	
Variação de referências de solo na E_1	12,628	0,025	S_1 vs S_4	11,00	0,070
Variação de referências de solo na E_2	10,678	0,050	—	—	—
Variação de referências de solo na E_3	12,365	0,025	—	—	—

* Limite máximo de significância: 5%

classificar as referências de solo, em cada escala fotográfica estudada, conforme sua textura topográfica. Os resultados obtidos estão no quadro 13.

As classes de textura topográfica serviram também como fator de distinção entre os solos podzólicos e os latossolos.

Com a variação da escala fotográfica utilizada, este índice só evidenciou diferença entre a escala 1:25.000 e as outras duas, na classificação dos resultados para a referência S_1 , tendo sido idêntica nas três escalas para todas as outras referências de solo.

Discordando em parte de DEMÉTRIO (1977), os solos podzólicos agora estudados foram classificados como de textura topográfica média, com excessão dos da referência S_1 na escala E_3 . Para os latossolos, a classificação foi concordante com aquelas obtidas por outros autores como SOUZA (1975) e DEMÉTRIO (1977).

4.5. Características descritivas do padrão de drenagem

O quadro 14 transcreve as características descritivas dos padrões de drenagem das referências de solo, analisadas em todas as amostras obtidas com as fotografias nas três escalas.

Nota-se a possibilidade de distinção entre os solos podzólicos e os latossolos, porém a tendência de aproximação das características quantitativas das referências S_3 e S_4 e as pequenas diferenciações destas com as da referência S_5 não são perceptíveis por esta análise.

Conforme observaram KOFFLER (1976a) e DEMÉTRIO (1977), não há necessidade de análise destas características, pelas informações obtidas através de material fotográfico em

Quadro 13. Classes de textura topográfica nas amostras circulares, nas três escalas fotográficas.

Referência	Amostra	1:60.000	1:35.000	1:25.000
S1 - Podzólico Verme- lho Amarelo	1, 2, 3	média	média	fina
S2 - Podzólico Verme- lho Amarelo	4, 5, 6, 7	média	média	média
S3 - Latossolo Verme- lho Amarelo	8, 9, 10, 11	grosseira	grosseira	grosseira
S4 - Latossolo Verme- lho Amarelo	12, 13, 14, 15	grosseira	grosseira	grosseira
S5 - Latossolo Roxo	16, 17, 18	grosseira	grosseira	grosseira

Quadro 14. Características descritivas do padrão de drenagem dos solos estudados

Características	Referências de solo				
	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅
Grau de integração	alto	alto	baixo	médio	baixo
Densidade	alta	média	baixa	baixa	baixa
Grau de uniformidade	uniforme	não uniforme	pouco uniforme	não uniforme	não uniforme
Orientação	não orientado	orientado	não orientado	pouco orientado	não orientado
Grau de controle	baixo	moderado	baixo	baixo	baixo
Ângulos de junção	agudos	agudos	retos	retos	retos
Angularidade	moderada	moderada	ausente	baixa	ausente
Tipo ou modelo	dendrítico	dendrítico	paralelo	paralelo ou sub-paralelo	paralelo ou sub-paralelo
Anomalias	—	variações locais na densidade	variações no grau de integração	variações no grau de integração e nos ângulos de junção	variações no grau de integração e nos ângulos de junção

cada escala, separadamente. Conforme diversos autores, como os que trabalharam em nossas condições desde FRANÇA (1968), a descrição do tipo ou modelo do padrão de drenagem segundo PARVIS (1950) é complementada pelas outras características propostas por LUEDER (1959). Também pareceu conveniente a descrição de anomalias que porventura ocorram, para melhor caracterizar o padrão, conforme proposta de RICCI e PETRI (1965) devido às observações de MILLER e MILLER (1961).

4.6. Sugestões para novas pesquisas

Tendo em vista a experiência adquirida no desenvolvimento deste trabalho, sugerem-se estudos sobre a influência do tamanho de amostras circulares para a análise de cada índice de drenagem em função da natureza dos solos.

5. CONCLUSÕES

Analisando-se características de rede de drenagem superficial de cinco referências de solo através de fotografias em três escalas, chegou-se às conclusões apresentadas a seguir.

O emprego de amostras circulares para obtenção de parâmetros da rede de drenagem é adequado para estudos de fotopedologia.

Embora os parâmetros descritivos do padrão de drenagem sejam adequados, não são suficientes para evidenciar diferenças entre unidades de solo, sendo mais recomendável a utilização de parâmetros quantitativos, entre os quais destaca-se a densidade de drenagem como o mais eficiente.

A utilização conjunta dos índices frequência de rios e razão de textura, para a caracterização de padrões de drenagem em amostras circulares, não é necessária porque eles guardam entre si uma relação numérica constante, dependente dos valores do perímetro e da área do círculo. Recomenda-se o emprego da razão de textura porque, através de seus valores médios, permite classificar o relevo da área amostral segundo sua textura topográfica.

Não há interesse na inclusão do comprimento médio dos canais entre os parâmetros caracterizadores do pa-

drão de drenagem, porque ele expressa relação numérica entre outros índices mais eficientes.

Em virtude de não se ter constatado efeito significativo da variação de escala, recomenda-se a utilização de material fotográfico de menor escala, desde que se disponha de alternativa.

O emprego de material fotográfico de escala pequena apresenta vantagens de implicar em manuseio de menor quantidade de fotografias, simplificando o trabalho de escritório, e de permitir melhor percepção do relevo.

6. LITERATURA CITADA

AMARAL, A.Z. e R. AUDI, 1972. Fotopedologia. In: MONIZ, A.C., coord. *Elementos de Pedologia*. São Paulo, Polígono, Ed. Universidade de São Paulo. p. 429-442.

AUDI, R., 1972. Fotointerpretação de atributos dos canais de drenagem em solos da região noroeste do Estado de São Paulo. Piracicaba, ESALQ/USP. 182p. (Tese de Doutoramento).

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia, 1969. Carta do Brasil - Escala 1:50.000. Folha topográfica de Araras.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia, 1971a. Carta do Brasil - Escala 1:50.000. Folha topográfica de Leme.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia, 1971b. Carta do Brasil - Escala 1:50.000. Folha Topográfica do Rio Capetinga.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia, 1972. Carta do Brasil - Escala 1:50.000. Folha topográfica de Aguaí.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia, 1974a. Carta do Brasil - Escala 1:50.000. Folha topográfica de Campinas.

- BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia, 1974b. Carta do Brasil - Escala 1:50.000. Folha topográfica de Conchal.
- BOMBERGER, E.H. e H.W. DILL, 1960. Photo interpretation in agriculture. In: *Manual of Photographic Interpretation*. Washington, American Society of Photogrammetry. p. 561 - 632.
- BURINGH, P., 1960. The applications of aerial photographs in soil surveys. In: *Manual of Photographic interpretation*. Washington, American Society of Photogrammetry. p. 633 - 666.
- CAMPOS, H., 1976. *Estatística Experimental Não Paramétrica*. Piracicaba, Departamento de Matemática e Estatística, ESALQ/USP. p. 190-213.
- CARVALHO, W.A., 1977. Fotointerpretação de bacias hidrográficas em amostras circulares de redes de drenagem de solos com horizonte B textural. Piracicaba, ESALQ/USP. 126 p. (Tese de Doutorado).
- CRESWICK, W.A. e W.H. ROCKWELL, 1959. Applications of aerial-photographic techniques to agricultural surveys. In: LUEDER, D.R. *Aerial Photographic Interpretation - Principles and applications*. New York, McGraw-Hill Book Co. p. 373-385.
- DEMÉTRIO, V.A., 1977. Variação de características de redes de drenagem em função da escala das fotografias aéreas verticais. Piracicaba, ESALQ/USP. 107 p. (Dissertação de Mestrado).
- FADEL, H., 1972. Fotointerpretação de bacias e de redes de drenagem de três solos da Fazenda Ipanema, Município de Araçoiaba da Serra (SP). Piracicaba, ESALQ/USP. 92 p. (Dissertação de Mestrado).

- FRANÇA, G.V., 1968. Interpretação fotográfica de bacias e redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba. Piracicaba, ESALQ/USP. 151 p. (Tese de Doutorado).
- FREIRE, J.C., 1977. Fotointerpretação de redes de drenagem de três solos da região de Alpinópolis, Minas Gerais. Piracicaba, ESALQ/USP. 136 p. (Tese de Doutorado).
- FROST, R.E., 1960. Photointerpretation of soils. In: *Manual of Photographic Interpretation*. Washington, American Society of Photogrammetry. p. 343-402.
- GOOSEN, D., 1960. *Interpretacion de Fotos Aereas y su Importancia en Levantamiento de Suelos*. Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (Boletín sobre Suelos nº 6) 58 p.
- HORTON, R.E., 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bul. Geol. Soc. Amer.* 56: 275-370.
- KOFFLER, N.F., 1976a. Utilização de imagens aerofotográficas e orbitais no estudo do padrão de drenagem em solos originados do arenito Bauru. São José dos Campos (SP), INPE. 167 p. (Dissertação de Mestrado).
- KOFFLER, N.F., 1976b. *Análise aerofotográfica da influência da área de amostragem circular na caracterização quantitativa do padrão de drenagem*. São José dos Campos (SP), INPE. 20 p.
- LEÃO, S.R.F., 1973. Interpretação fotográfica dos padrões de drenagem desenvolvidos em dois solos do Distrito Federal. Piracicaba, ESALQ/USP. 110 p. (Dissertação de Mestrado).
- LUEDER, D.R., 1959. *Aerial Photographic Interpretation - Principles and Applications*. New York, McGraw-Hill Book Co. 462 p.

- MARCHETTI, D.A.B., 1969. Fotointerpretação de atributos de relevo aplicada a solos da região de Piracicaba. Piracicaba, ESALQ/USP. 58 p. (Tese de Doutorado).
- MILLER, V.C. e C.F. MILLER, 1961. *Photogeology*. New York, McGraw-Hill Co. 248 p.
- OLIVEIRA, J.B.; J.R.F. MENK e C.L. ROTTA, 1979. *Levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo - Quadrícula de Campinas*. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro de Geografia. (no prelo).
- PARVIS, M., 1950. Drainage pattern significance in airphoto identification of soils and bedrocks. *Photogram. Eng.* 16 (3): 387-408.
- RABBEN, E.L., 1960. Fundamentals of photointerpretation. In: *Manual of Photographic Interpretation*. Washington, American Society of Photogrammetry. p. 99-186.
- RAY, R.G., 1963. *Fotografias Aéreas na Interpretação e Mapeamento Geológico*. (Tradução de Jesuino Felicíssimo Jr.) São Paulo, Instituto Geográfico e Geológico. 163 p.
- RAY, R.G. e W.A. FISCHER, 1960. Quantitative photography: a geological research tool. *Photogram. Eng.* 26(1) : 143 - 150.
- RICCI, M. e S. PETRI, 1965. *Princípios de Aerofotogrametria e Interpretação Geológica*. São Paulo, Ed. Nacional. p. 102-110.
- ROURKE, J.D. e M.E. AUSTIN, 1951. The use of air-photos for soil classification and mapping in the field. *Photogram. Eng.* 16(5): 738-747.
- SÃO PAULO. Instituto Geográfico e Geológico, 1964. *Geologia do Estado de São Paulo*. (Boletim nº 41). 263 p.

- SÃO PAULO. Instituto Geográfico e Geológico, 1974. *Mapa Geológico do Estado de São Paulo*. (Escala 1:1.000.000).
- SÃO PAULO. Departamento de Águas e Energia Elétrica, 1975. *Boletim Fluviométrico Nº 3*. 175 p.
- SETZER, J., 1966. *Atlas Climático e Ecológico do Estado de São Paulo*. São Paulo, Comissão Interestadual da Bacia Paraná - Uruguai. 61 p.
- SILVA, L.C.F., 1977. Fotointerpretação de redes de drenagem de dois solos do município de São Pedro (SP). Piracicaba, ESALQ/USP. 114 p. (Dissertação de Mestrado).
- SMITH, K.G., 1950. Standards for grading texture of erosional topography. *Amer. J. Sci.* 248: 655-668.
- SMITH, G.D. e A.R. AANDAHL, 1957. Soil classification and surveys. In: *Soil*. Washington, USDA, (Year Book of Agriculture) p. 396-400.
- SOUZA, M.L.P., 1975. Fotointerpretação das redes de drenagem de três solos com horizonte B latossólico ocorrentes no município de Ponta Grossa - PR. Piracicaba, ESALQ/USP. 135 p. (Dissertação de Mestrado).
- STRAHLER, A.N., 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of watershed geomorphology. *Trans. Amer. Geophys. Union.* 38: 913-920.
- VASQUES FILHO, J., 1972. Critérios morfométricos aplicados à fotointerpretação de redes de drenagem de três unidades de solos do município de Piracicaba (SP). Piracicaba, ESALQ/USP. 113 p. (Tese de Doutorado).
- VERA, L., 1964. *Técnicas de Inventário de la Tierra Agrícola: El Proyecto Aerofotogramétrico OEA/Chile*. Washington, Unión Panamericana. (Manuales Técnicos X) 136 p.

VON ENGELN, O.D., 1942. *Geomorphology: Systematical and Regional*. New York, The McMillan Co. 655 p.

APÊNDICE

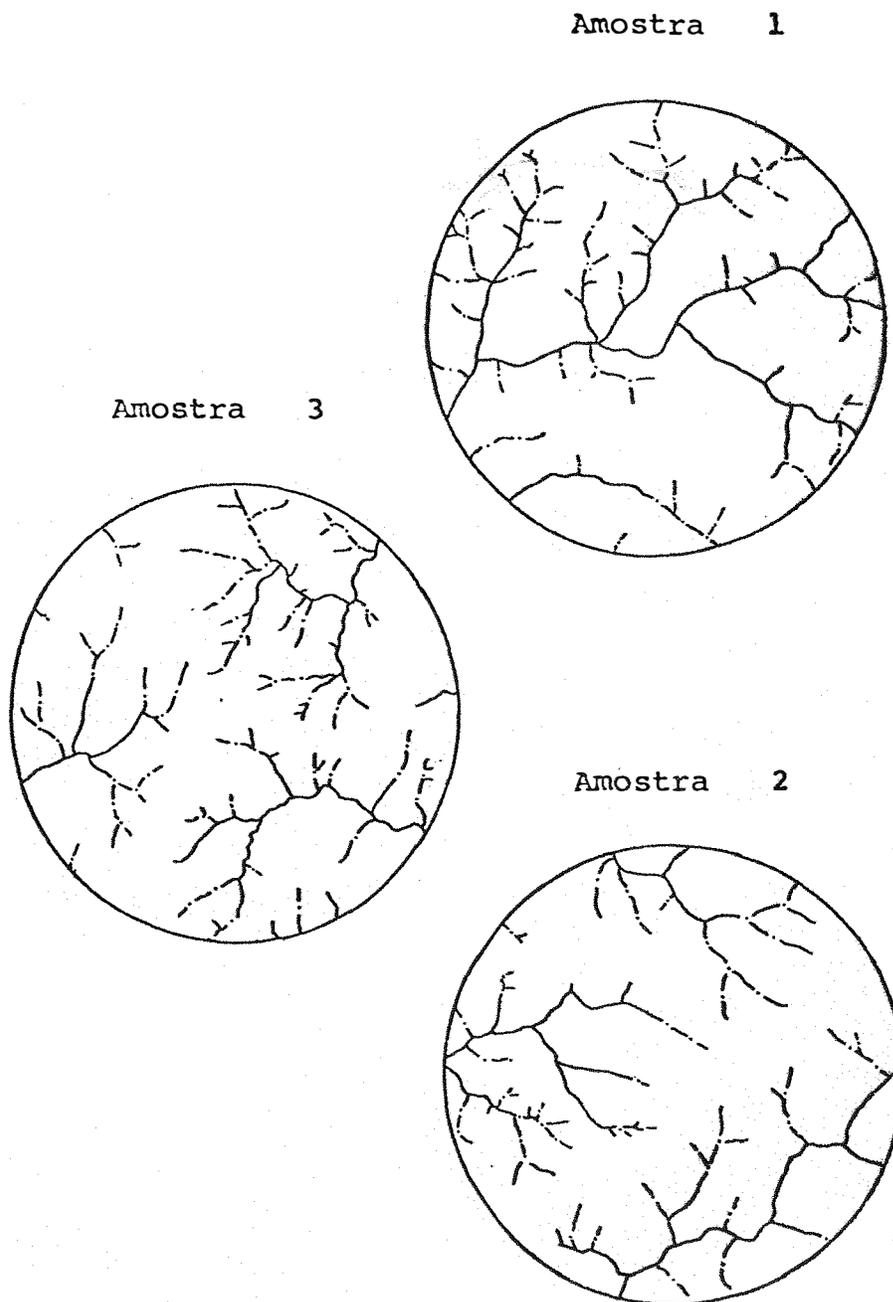
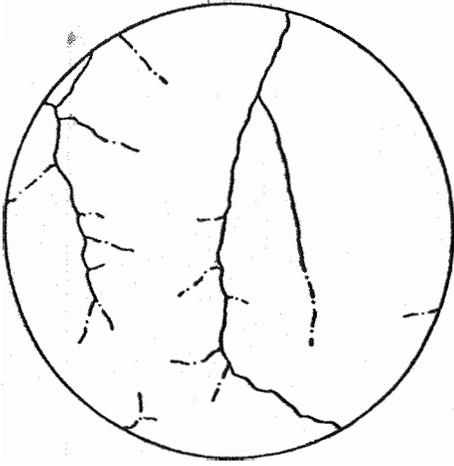
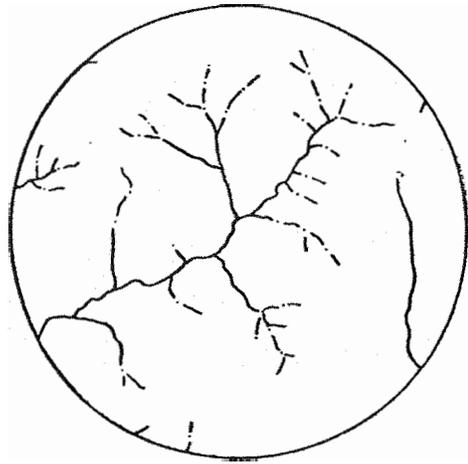


Figura 1. Amostras circulares 1, 2 e 3, representativas da unidade de solo Podzólico Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1: 60.000.

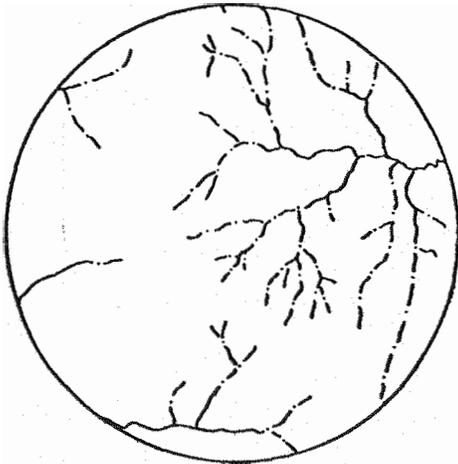
Amostra 4



Amostra 5



Amostra 6



Amostra 7

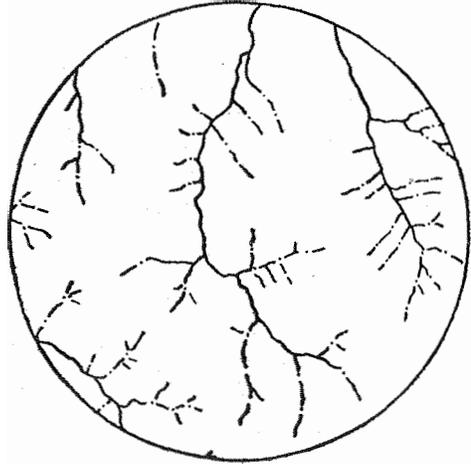
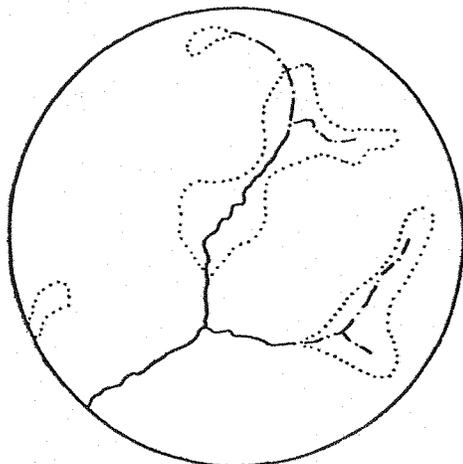
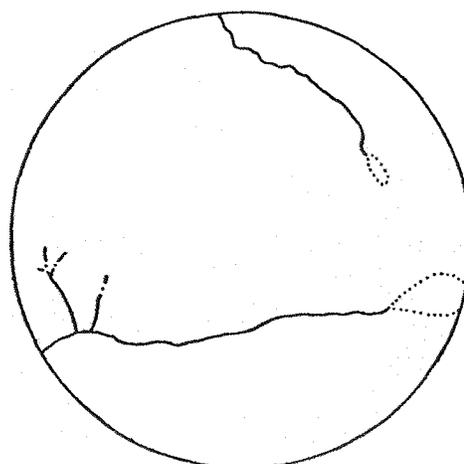


Figura 2. Amostras circulares 4, 5, 6 e 7, representativas da unidade de solo Podzólico Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1: 60.000.

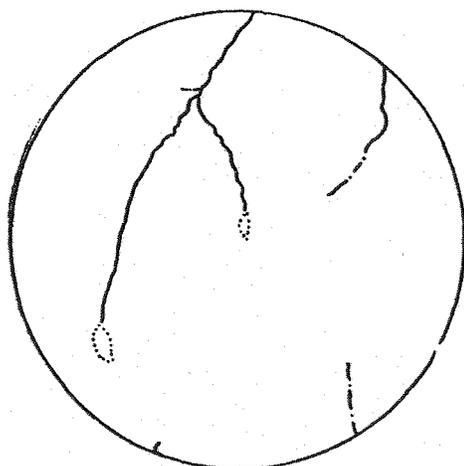
Amostra 8



Amostra 9



Amostra 10



Amostra 11

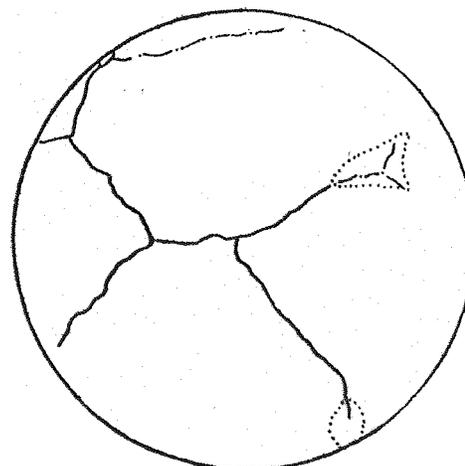
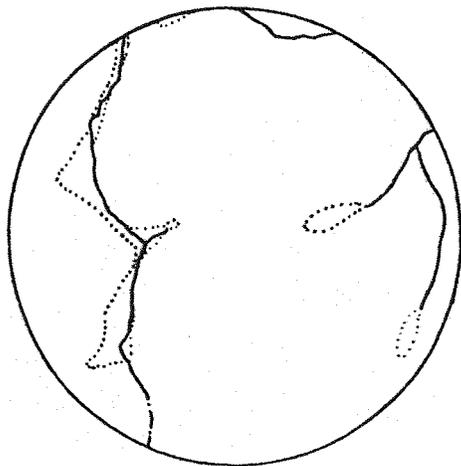
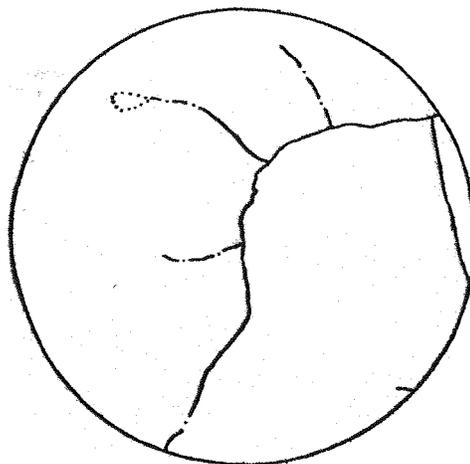


Figura 3. Amostras circulares 8, 9, 10 e 11, representativas da unidade de solo Latossolo Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1: 60.000.

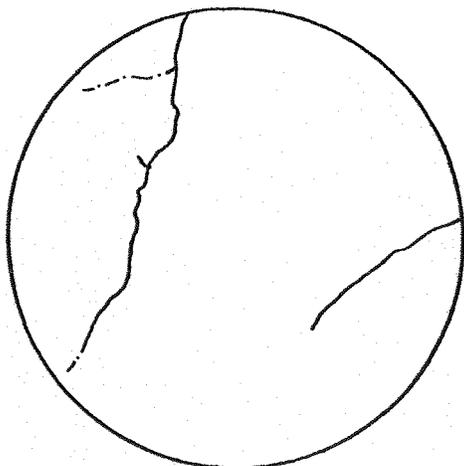
Amostra 12



Amostra 13



Amostra 14



Amostra 15

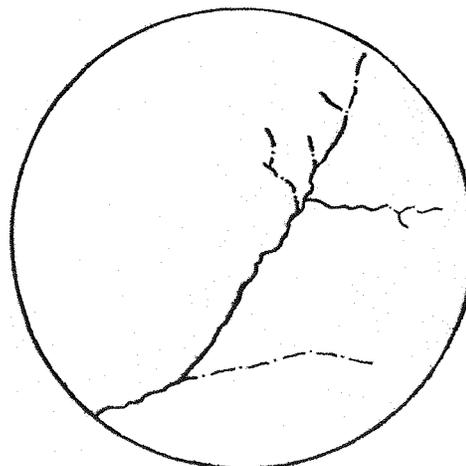


Figura 4. Amostras circulares 12, 13, 14 e 15, representativas da unidade de solo Latossolo Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1: 60.000.

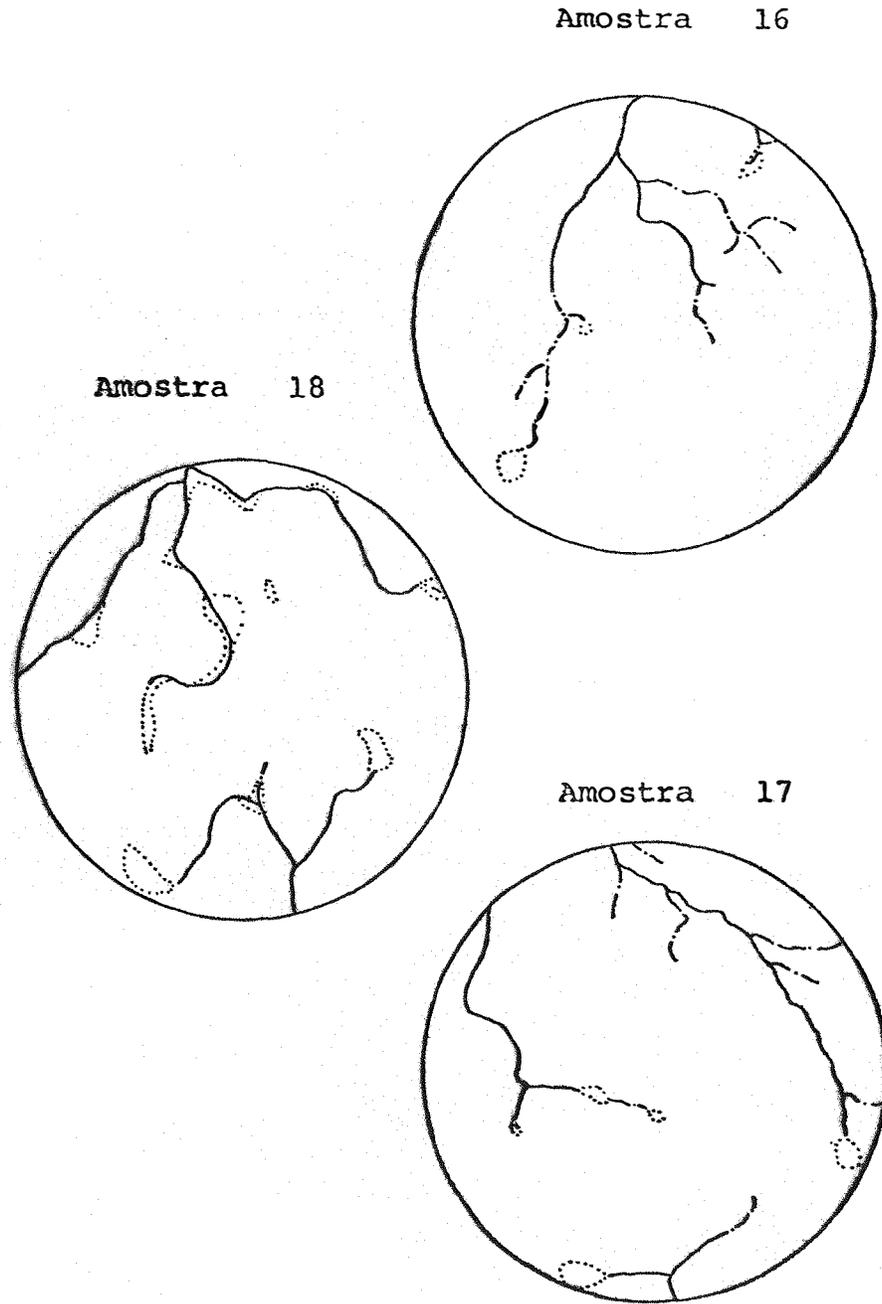


Figura 5. Amostras circulares 16, 17e18, representativas da unidade de solo Latossolo Roxo, na escala aproximada 1: 60.000.

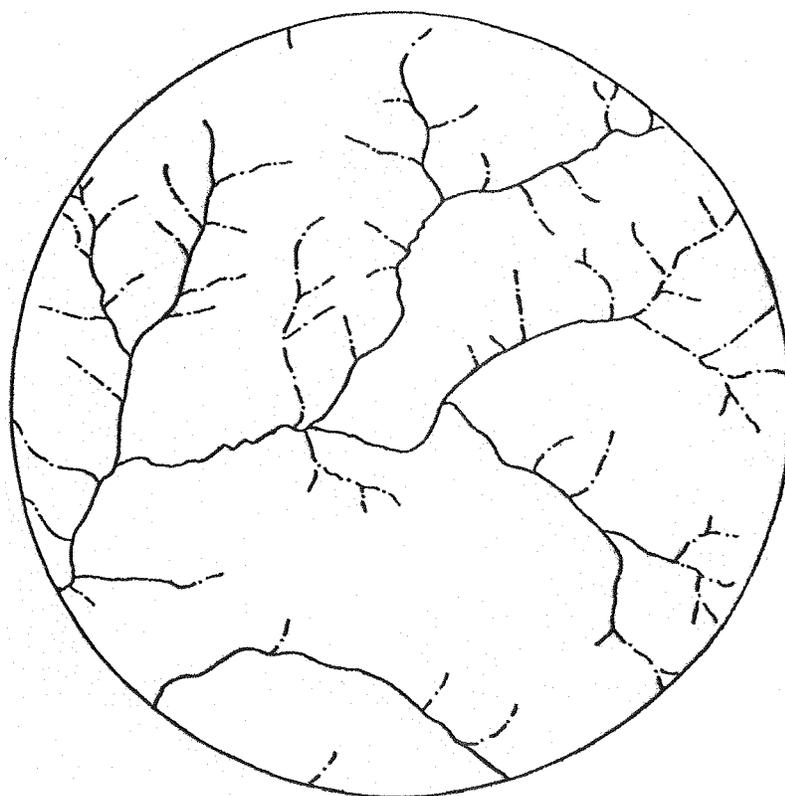


Figura 6. Amostra circular 1, representativa da unidade de solo Podzólico Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1: 35.000.

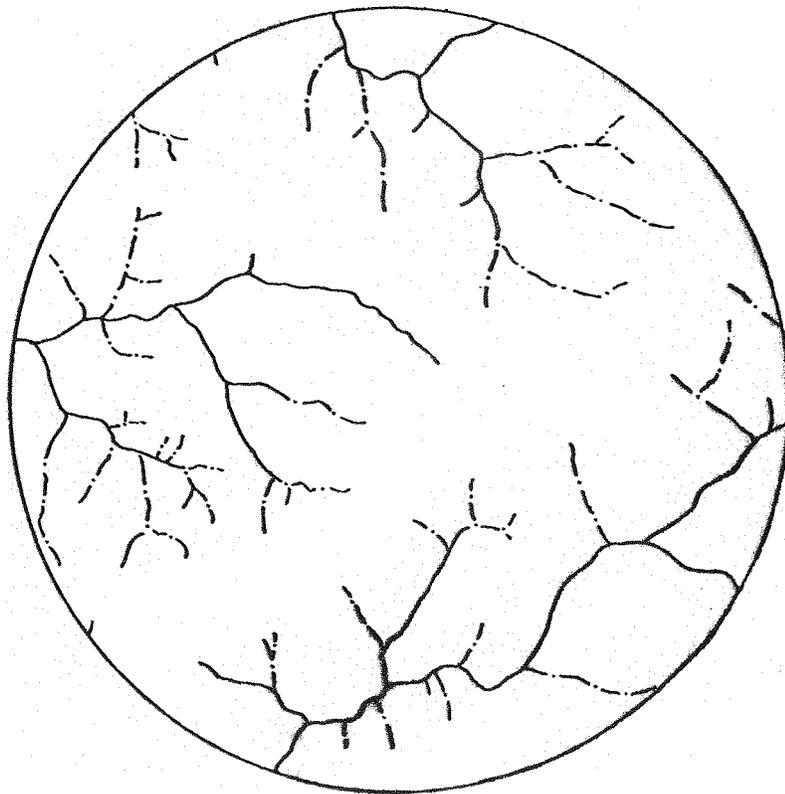


Figura 7. Amostra circular 2, representativa da unidade de solo Podzólico Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1: 35.000.

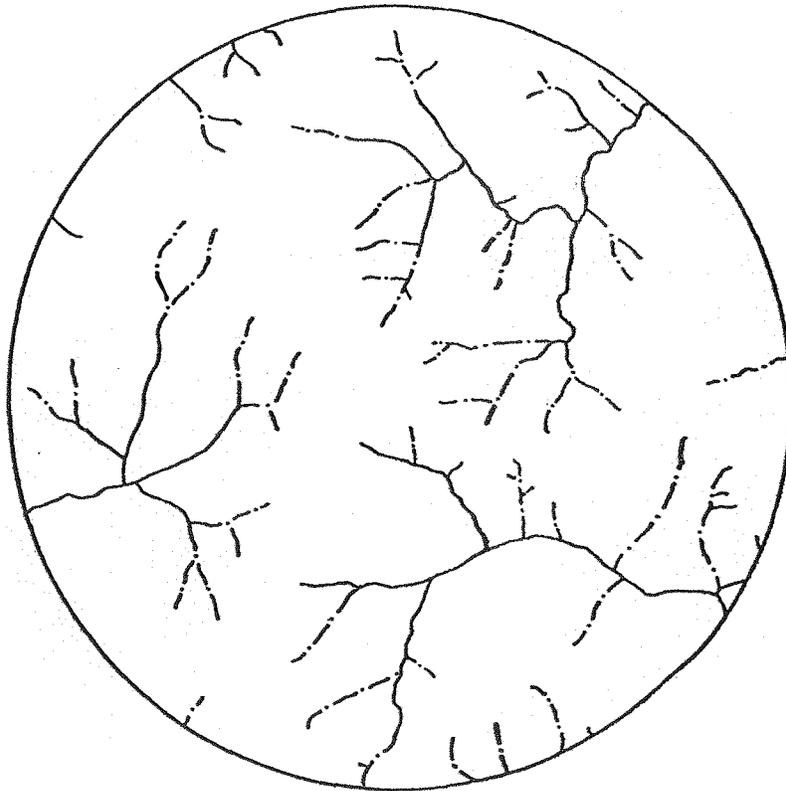


Figura 8. Amostra circular 3, representativa da unidade de solo Podzólico Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1: 35.000.

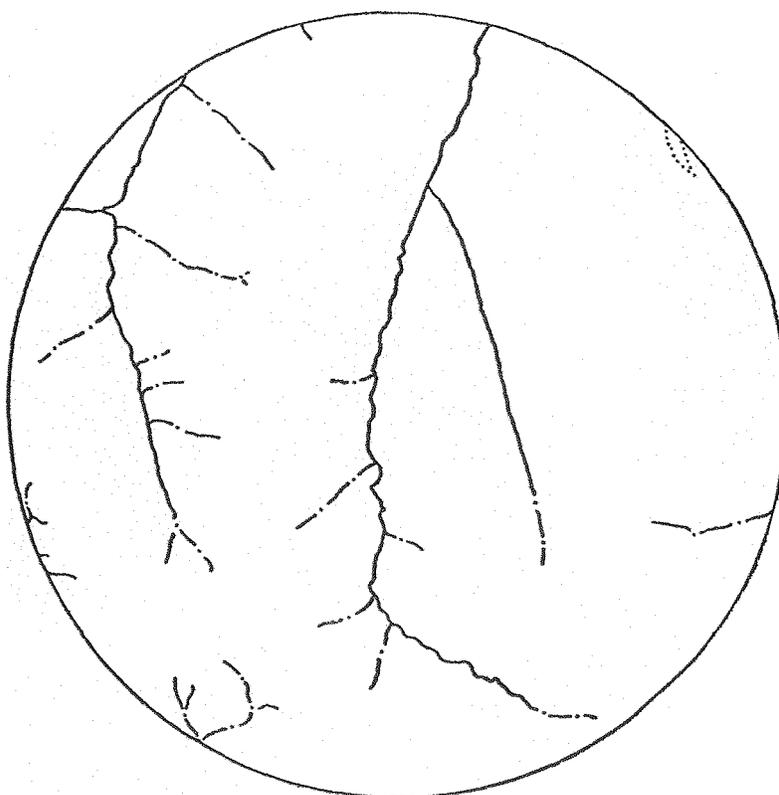


Figura 9. Amostra circular 4, representativa da unidade de solo Podzólico Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1: 35.000.

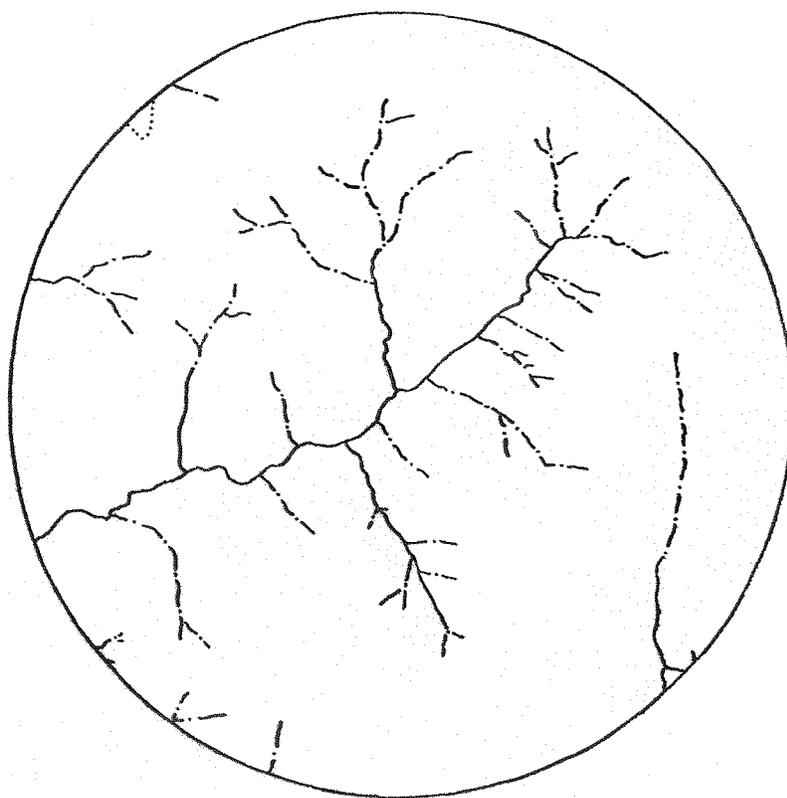


Figura 10. Amostra circular 5, representativa da unidade de solo Podzólico Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1: 35.000.

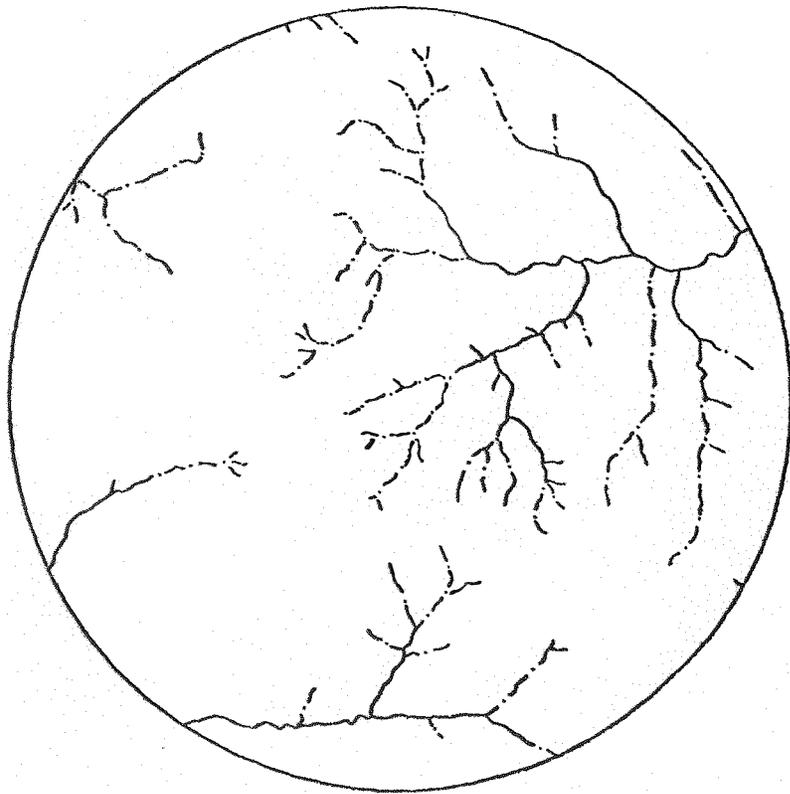


Figura 11. Amostra circular 6, representativa da unidade de solo Podzólico Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1: 35.000.

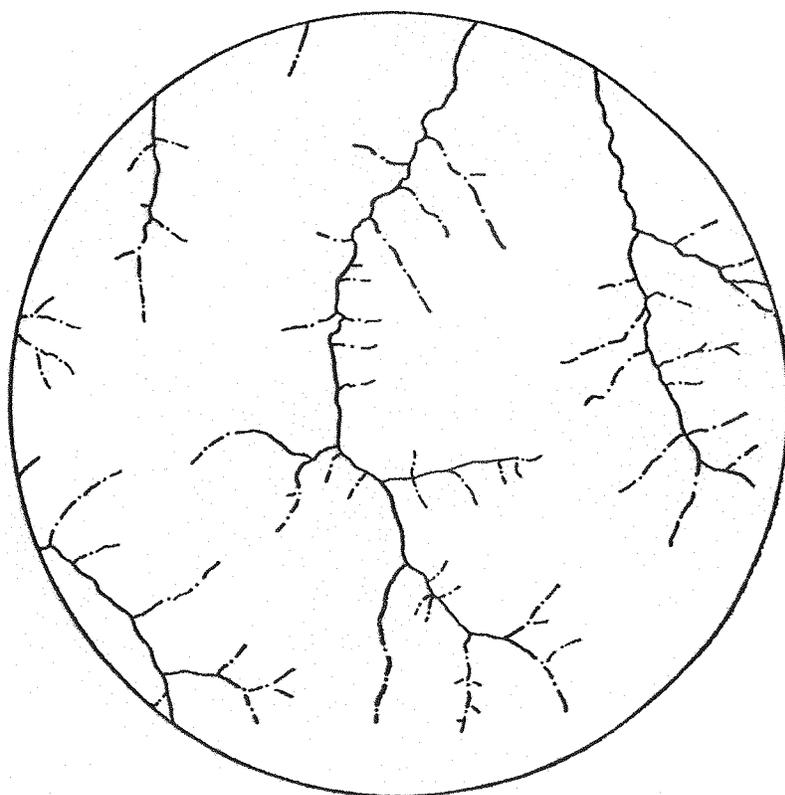


Figura 12. Amostra circular 7, representativa da unidade de solo Podzólico Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1: 35.000.

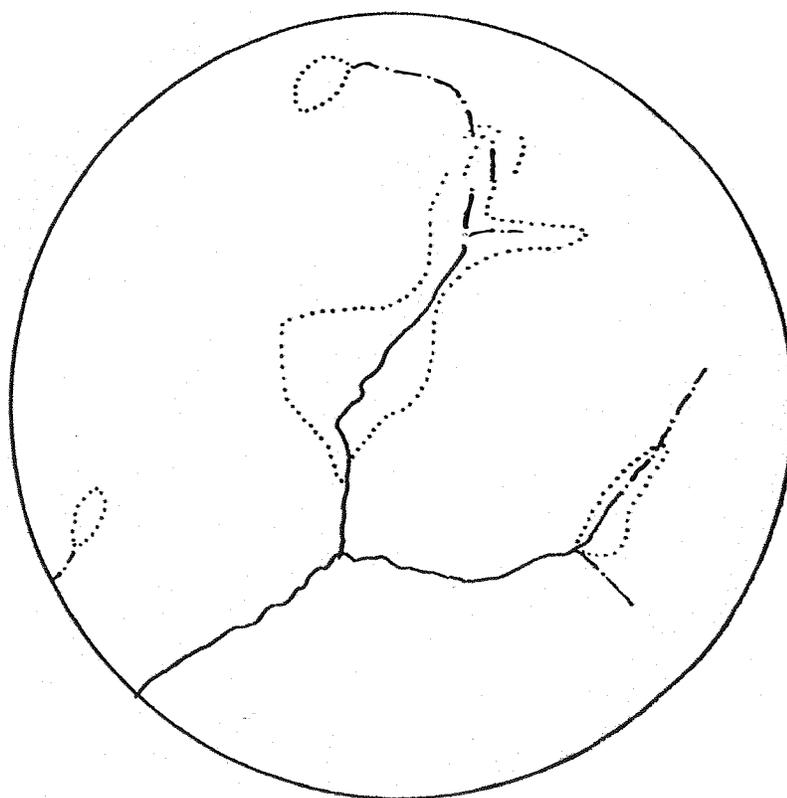


Figura 13. Amostra circular 8, representativa da unidade de solo Latossolo Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1: 35.000.

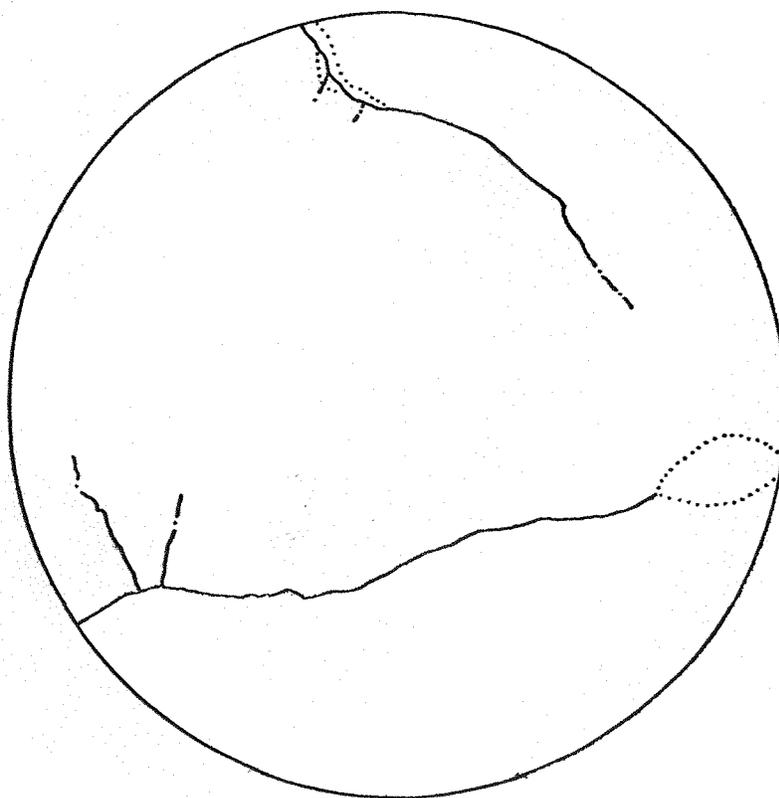


Figura 14. Amostra circular 9, representativa da unidade de solo Latossolo Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1: 35.000.

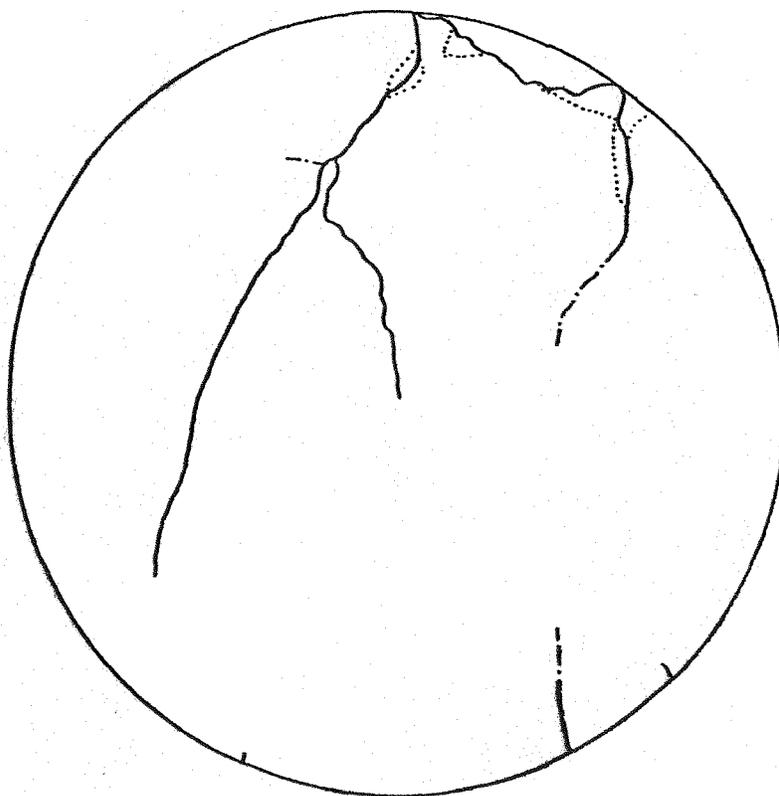


Figura 15. Amostra circular 10, representativa da unidade de solo Latossolo Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1: 35.000.

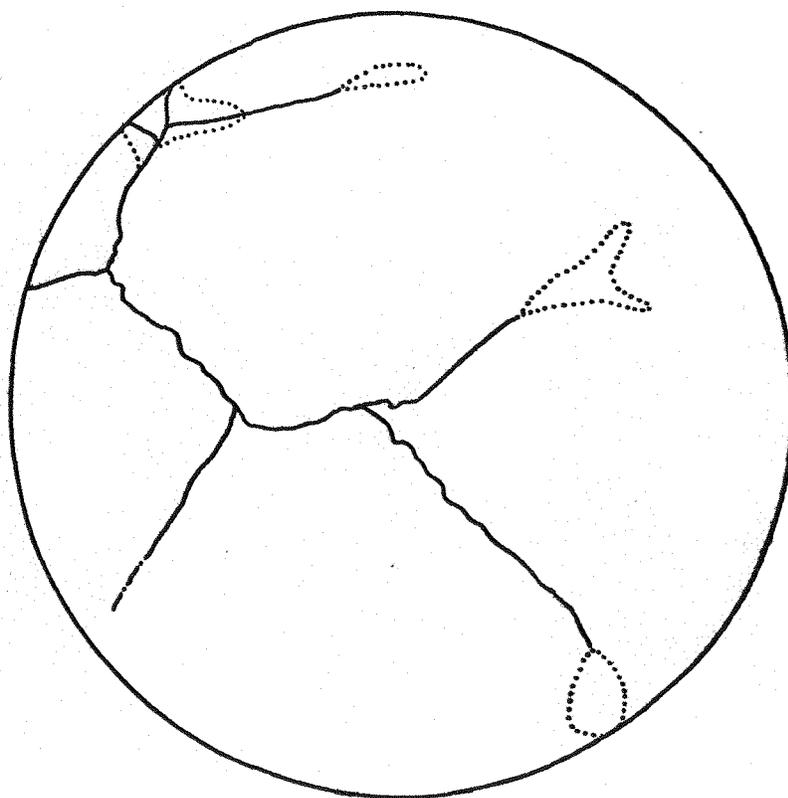


Figura 16. Amostra circular 11, representativa da unidade de solo Latossolo Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1: 35.000.

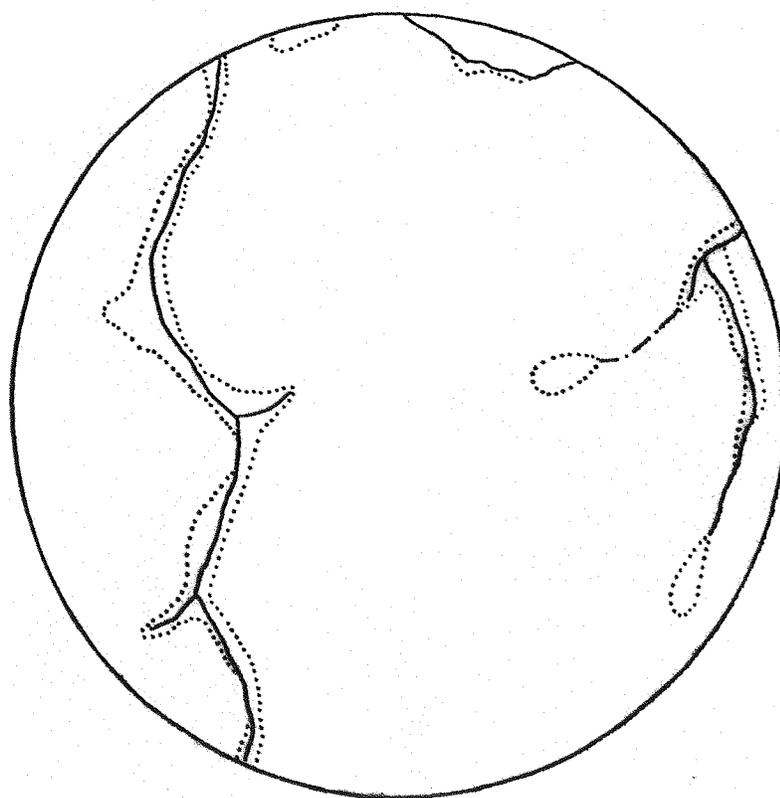


Figura 17. Amostra circular 12, representativa da unidade de solo Latossolo Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1: 35.000.

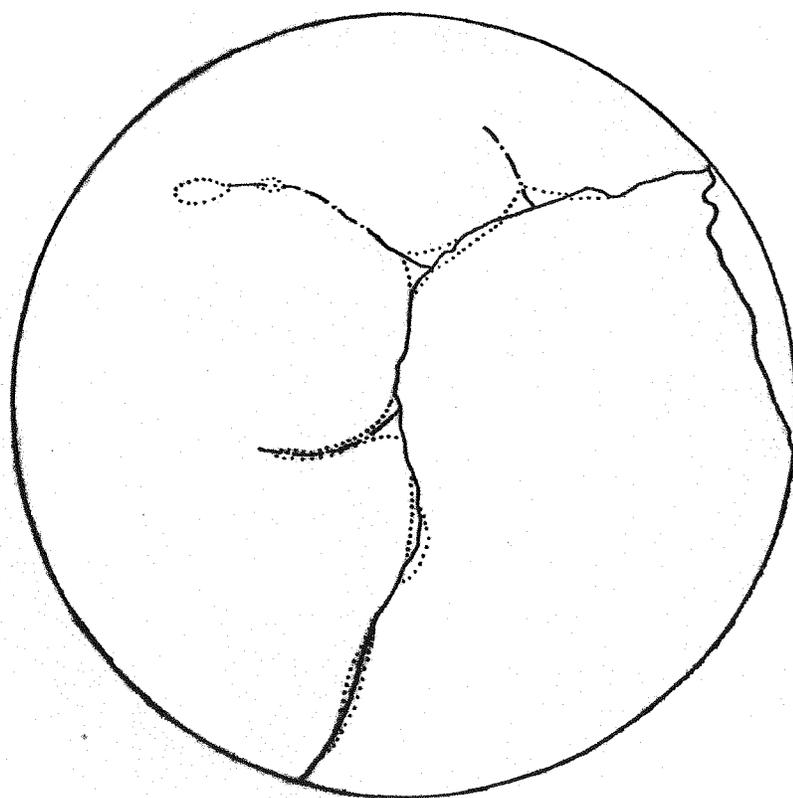


Figura 18. Amostra circular 13, representativa da unidade de solo Latossolo Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1: 35.000.

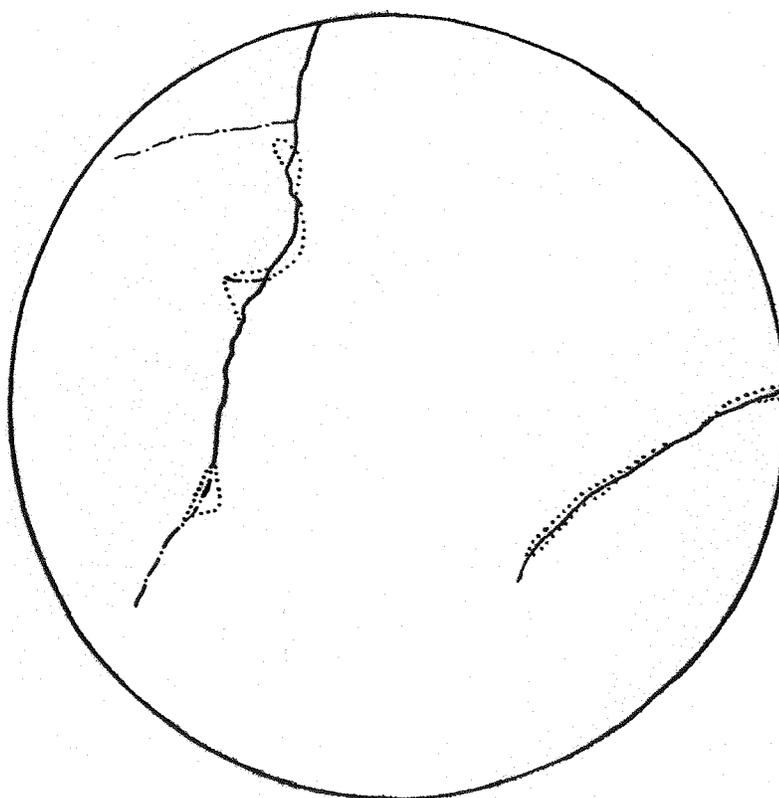


Figura 19. Amostra circular 14, representativa da unidade de solo Latossolo Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1: 35.000.

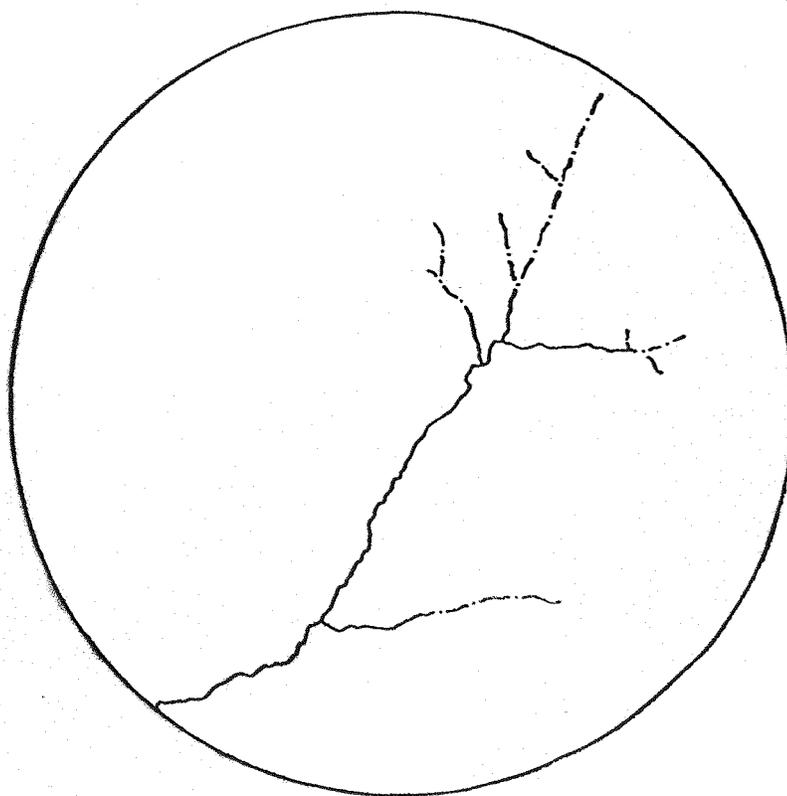


Figura 20. Amostra circular 15, representativa da unidade de solo Latossolo Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1: 35.000.

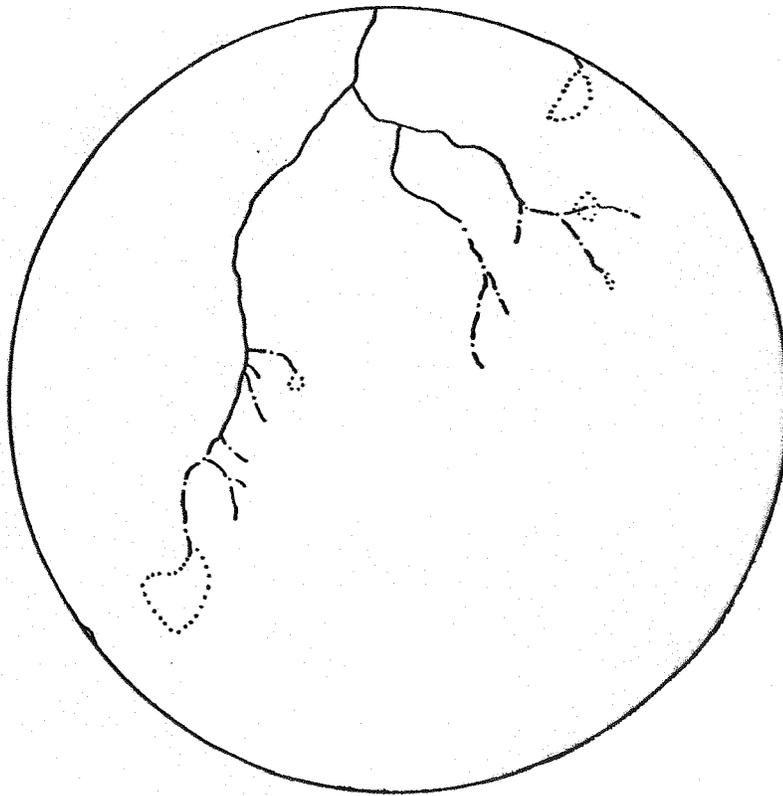


Figura 21. Amostra circular 16, representativa da unidade de solo Latossolo Roxo, na escala aproximada 1: 35.000.

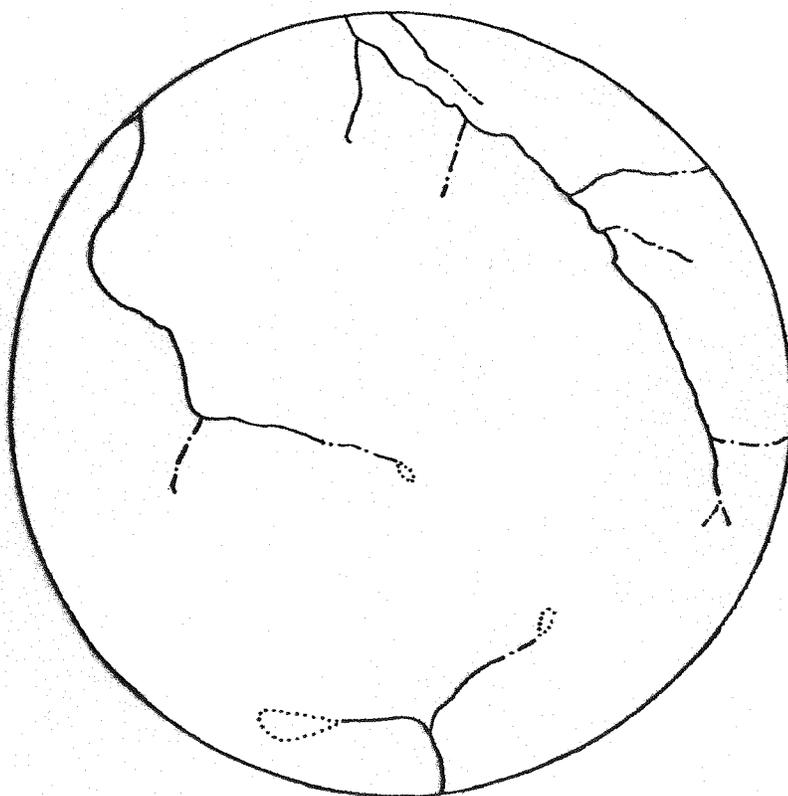


Figura 22. Amostra circular 17, representativa da unidade de solo Latossolo Roxo, na escala aproximada 1: 35.000.

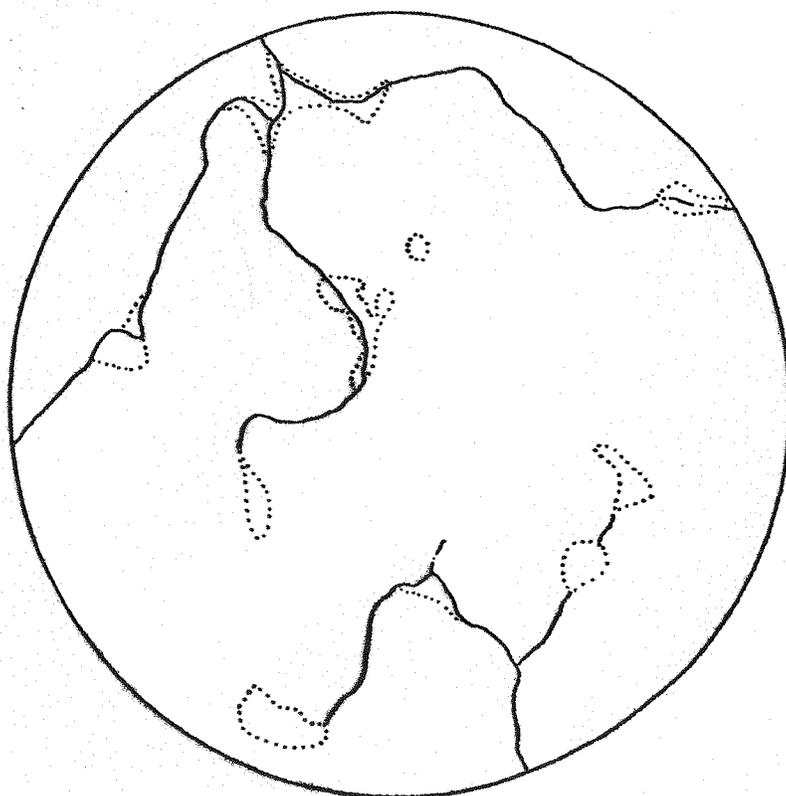


Figura 23. Amostra circular 18, representativa da unidade de solo Latossolo Roxo, na escala aproximada 1: 35.000.

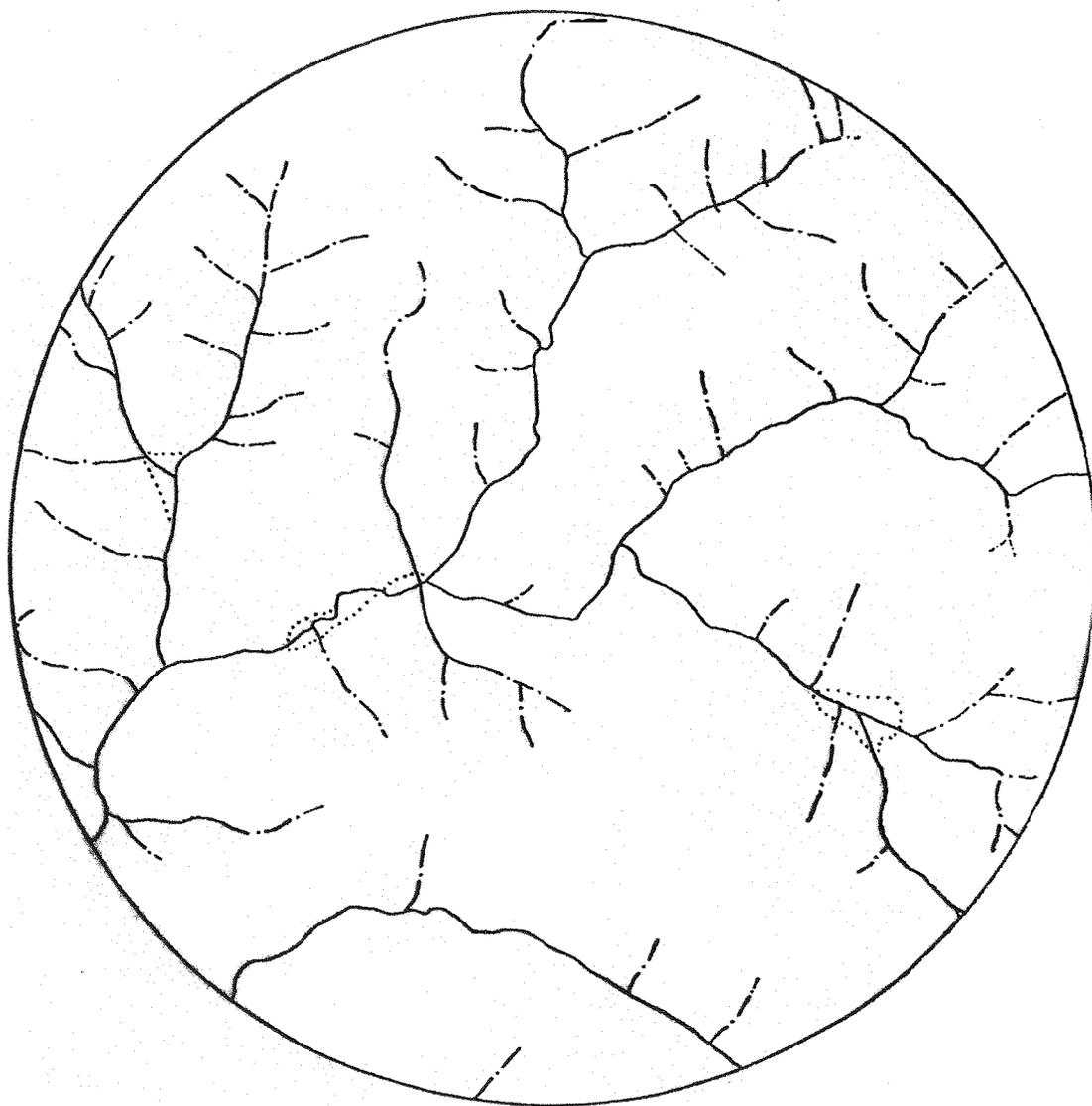


Figura 24. Amostra circular 1, representativa da unidade de solo Podzólico Vermelho Amarelo, na escala aproximada 1:25.000.