

**VARIAÇÕES DE CARACTERÍSTICAS DE REDES DE
DRENAGEM EM FUNÇÃO DAS FOTOGRAFIAS AÉREAS
VERTICAIS OBTIDAS EM ÉPOCAS DIFERENTES**

RUBENS ANGULO FILHO

Orientador: Prof. Dr. VALDEMAR ANTONIO DEMÉTRIO

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

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Fevereiro, 1981

Aos meus pais,

*por terem me ensinado o res-
peito à dignidade e o amor
ao trabalho.*

A

*Luiz Felipe e Carlos Alberto,
meus irmãos,
Hilda e Izabel, minhas avós,
Ada, minha noiva,*

OFEREÇO.

Ao Prof. Dr. Valdemar Antonio Demétrio, do Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Mestre e amigo, pela orientação segura e constante na elaboração deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

- Ao Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, por permitir a realização desta Dissertação, e, em especial, aos senhores Professores Dr. Antonio Petta e Dr. Justo Moretti Filho.
- Ao Curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, em nome de seu Coordenador, Prof. Dr. Antonio F.L. Olitta.
- Ao Engenheiro Agrônomo Jorge Vicente Chiarini, Chefe da Seção de Fotointerpretação do Instituto Agronômico de Campinas, pela disponibilidade das fotografias aéreas e material necessário.
- Ao Prof. Dr. Geraldo Victorino de França, do Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, pela valiosa colaboração.
- Ao Prof. Dr. Aziz N. Ab'Saber, do Instituto de Geografia, USP, pela ajuda prestada.
- À Engenheira Agrônoma, Mestre em Experimentação e Estatística, Clarice Garcia Borges Demétrio, do Departamento de Matemática e Estatística da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da USP, pela colaboração na análise estatística do presente trabalho.
- À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela bolsa concedida, e que possibilitou o início deste trabalho.
- A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

C O N T E Ú D O

	Pág.
RESUMO	xviii
SUMMARY	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 - Fotografias Aéreas Verticais no Levantamento de Solos	3
2.2 - O Padrão de Drenagem Superficial: Tipos, Características e Significado	11
2.3 - Influência da Cobertura Vegetal e Uso da Terra na Definição da Paisagem	24
3. MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1 - Material	27
3.1.1 - Descrição e localização da área de estudo ..	27
3.1.2 - Solos	33
3.1.3 - Material fotográfico	41
3.1.3.1 - Fotografias aéreas - ano 1940 ...	41
3.1.3.2 - Fotografias aéreas - ano 1962 ...	41
3.1.3.3 - Fotografias aéreas - ano 1972 ...	42
3.1.3.4 - Fotografias aéreas - ano 1978 ...	42
3.1.4 - Material de escritório	43
3.2 - Métodos	43
3.2.1 - Seleção das áreas de estudo	43
3.2.2 - Obtenção dos mapas básicos de drenagem	44

	Pág.
3.2.3 - Análise das redes de drenagem	44
3.2.4 - Análise estatística	47
3.2.4.1 - Teste de Friedman	47
3.2.4.2 - Comparações múltiplas	49
3.2.4.3 - Médias, variâncias e estimativa por intervalo	50
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1 - Características Descritivas dos Padrões de Drenagem	51
4.2 - Análise das Amostras Circulares das Fotografias Aéreas Verticais Obtidas em 1940	53
4.2.1 - Características das amostras circulares	53
4.2.2 - Características quantitativas dos padrões de drenagem	53
4.3 - Análise das Amostras Circulares das Fotografias Aéreas Verticais Obtidas em 1962	68
4.3.1 - Características das amostras circulares	68
4.3.2 - Características quantitativas dos padrões de drenagem	82
4.4 - Análise das Amostras Circulares das Fotografias Aéreas Verticais Obtidas em 1972	84
4.4.1 - Características das amostras circulares	84
4.4.2 - Características quantitativas dos padrões de drenagem	84

	Pág.
4.5 - Análise das Amostras Circulares das Fotografias Aéreas Verticais Obtidas em 1978	99
4.5.1 - Características das amostras circulares	99
4.5.2 - Características quantitativas dos padrões de drenagem	106
4.6 - Variação das Características Quantitativas com as Di- ferentes Épocas	106
4.7 - Análise Estatística	112
4.7.1 - Teste de Friedman	112
4.7.2 - Comparações múltiplas	116
5. CONCLUSÕES	118
5.1 - Características dos Padrões de Drenagem	118
5.2 - Conclusões Gerais	119
6. LITERATURA CITADA	121

LISTA DE TABELAS

<u>TABELA</u>		Pág.
1	Principais características das duas áreas de estudo (Comissão de Solos do Serv. Nac. Pesq. Agron., 1960)	35
2	Parâmetros para classificação da textura topográfica com base nos valores de textura média (FRANÇA, 1968)	46
3	Características descritivas das Redes de Drenagem das duas classes de solo, segundo LUEDER (1959), tipo ou modelo, segundo PARVIS (1950), e anomalias, segundo RICCI e PETRI (1965)	52
4	Características dimensionais das amostras circulares na escala 1:20.000, das fotografias aéreas obtidas em 1940, representativas das classes de solo estudadas. (Área = 10 km ² ; perímetro = 11,21 km)	54
5	Características quantitativas do padrão de drenagem das amostras circulares das fotografias aéreas obti- das em 1940, representativas das classes de solo es- tudadas	55
6	Características dimensionais das amostras circulares na escala 1:25.000, das fotografias aéreas obtidas em 1962, representativas das classes de solo estudadas. (Área = 10 km ² ; perímetro = 11,21 km)	69

TABELA

Pág.

7	Características quantitativas do padrão de drenagem das amostras circulares das fotografias aéreas obtidas em 1962, representativas das classes de solo estudadas	83
8	Características dimensionais das amostras circulares na escala 1:25.000, das fotografias aéreas obtidas em 1972, representativas das classes de solo estudadas. (Área = 10 km ² ; perímetro = 11,21 km)	85
9	Características quantitativas do padrão de drenagem das amostras circulares das fotografias aéreas obtidas em 1972, representativas das classes de solo estudadas	98
10	Características dimensionais das amostras circulares na escala 1:35.000, das fotografias aéreas obtidas em 1978, representativas das classes de solo estudadas. (Área = 10 km ² ; perímetro = 11,21 km)	100
11	Características quantitativas do padrão de drenagem das amostras circulares das fotografias aéreas obtidas em 1978, representativas das classes de solo estudadas	105
12	Média das características quantitativas das amostras circulares nas classes de solo estudadas, nas diferentes épocas	107

TABELA

Pág.

13	Classificação dos índices de densidade de drenagem das amostras circulares (Dc) para aplicação do Teste de Friedman	112
14	Classificação dos índices de frequência de rios das amostras circulares para a aplicação do Teste de Friedman	113
15	Classificação dos índices de razão de textura das amostras circulares para a aplicação do Teste de Friedman	114
16	Resultados obtidos pelo Teste de Friedman	115

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		Pág.
1	Localização do Município de Piracicaba no Estado de São Paulo	28
2	Divisão Regional Fisiográfica do Estado de São Paulo	29
3	Mapa Geológico Esquemático do Estado de São Paulo (ROTTA, 1972)	31
4	Rede de drenagem do Município de Piracicaba (RANZANI, 1976)	32
5	Mapa esquemático mostrando a localização dos Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos no Estado de São Paulo, segundo COMISSÃO DE SOLOS DO SERV. NAC. DE PESQ. AGRON. (1960)	36
6	Mapa esquemático mostrando a localização do Latossolo Roxo no Estado de São Paulo, segundo COMISSÃO DE SOLOS DO SERV. NAC. DE PESQ. AGRON. (1960)	38
7	Mapa esquemático mostrando a localização do Latossolo Vermelho Escuro no Estado de São Paulo, segundo COMISSÃO DE SOLOS DO SERV. NAC. DE PESQ. AGRON. (1960) ..	39
8	Mapa esquemático mostrando a localização da Terra Roxa Estruturada no Estado de São Paulo, segundo COMISSÃO DE SOLOS DO SERV. NAC. DE PESQ. AGRON. (1960) ..	40

FIGURA	Pág.
9a	Uso da terra da amostra circular P_1 , no ano de 1940.. 56
9	Amostra circular P_1 de 1940 (10 km^2) da rede de drenagem em solos da área A (horizonte B textural). Escala 1:20.000 57
10a	Uso da terra da amostra circular P_2 , no ano de 1940.. 58
10	Amostra circular P_2 de 1940 (10 km^2) da rede de drenagem em solos da área A (horizonte B textural). Escala 1:20.000 59
11a	Uso da terra da amostra circular P_3 , no ano de 1940.. 60
11	Amostra circular P_3 de 1940 (10 km^2) da rede de drenagem em solos da área A (horizonte B textural). Escala 1:20.000 61
12a	Uso da terra da amostra circular L_1 , no ano de 1940.. 62
12	Amostra circular L_1 de 1940 (10 km^2) da rede de drenagem em solos da área B (horizonte B latossólico). Escala 1:20.000 63
13a	Uso da terra da amostra circular L_2 , no ano de 1940.. 64
13	Amostra circular L_2 de 1940 (10 km^2) da rede de drenagem em solos da área B (horizonte B latossólico). Escala 1:20.000 65

FIGURA	Pág.
14a	Uso da terra da amostra circular L_3 , no ano de 1940.. 66
14	Amostra circular L_3 de 1940 (10 km^2) da rede de drenagem em solos da área B (horizonte B latossólico). Escala 1:20.000 67
15a	Uso da terra da amostra circular P_1 , no ano de 1962.. 70
15	Amostra circular P_1 de 1962 (10 km^2) da rede de drenagem em solos da área A (horizonte B textural). Escala 1:25.000 71
16a	Uso da terra da amostra circular P_2 , no ano de 1962.. 72
16	Amostra circular P_2 de 1962 (10 km^2) da rede de drenagem em solos da área A (horizonte B textural). Escala 1:25.000 73
17a	Uso da terra da amostra circular P_3 , no ano de 1962.. 74
17	Amostra circular P_3 de 1962 (10 km^2) da rede de drenagem em solos da área A (horizonte B textural). Escala 1:25.000 75
18a	Uso da terra da amostra circular L_1 , no ano de 1962.. 76
18	Amostra circular L_1 de 1962 (10 km^2) da rede de drenagem em solos da área B (horizonte B latossólico). Escala 1:25.000 77

FIGURA		Pág.
19a	Uso da terra da amostra circular L_2 , no ano de 1962..	78
19	Amostra circular L_2 de 1962 (10 km^2) da rede de drenagem em solos da área B (horizonte B latossólico). Escala 1:25.000	79
20a	Uso da terra da amostra circular L_3 , no ano de 1962..	80
20	Amostra circular L_3 de 1962 (10 km^2) da rede de drenagem em solos da área B (horizonte B latossólico). Escala 1:25.000	81
21a	Uso da terra da amostra circular P_1 , no ano de 1972..	86
21	Amostra circular P_1 de 1972 (10 km^2) da rede de drenagem em solos da área A (horizonte B textural). Escala 1:25.000	87
22a	Uso da terra da amostra circular P_2 , no ano de 1972..	88
22	Amostra circular P_2 de 1972 (10 km^2) da rede de drenagem em solos da área A (horizonte B textural). Escala 1:25.000	89
23a	Uso da terra da amostra circular P_3 , no ano de 1972..	90
23	Amostra circular P_3 de 1972 (10 km^2) da rede de drenagem em solo da área A (horizonte B textural). Escala: 1:25.000	91

FIGURA		Pág.
24a	Uso da terra da amostra circular L_1 , no ano de 1972	92
24	Amostra circular L_1 de 1972 (10 km^2) da rede de drenagem em solos da área B (horizonte B latossólico). Escala 1:25.000	93
25a	Uso da terra da amostra circular L_2 , no ano de 1972	94
25	Amostra circular L_2 de 1972 (10 km^2) da rede de drenagem em solos da área B (horizonte B latossólico). Escala 1:25.000	95
26a	Uso da terra da amostra circular L_3 , no ano de 1972	96
26	Amostra circular L_3 de 1972 (10 km^2) da rede de drenagem em solos da área B (horizonte B latossólico). Escala 1:25.000	97
27a	Uso da terra das amostras circulares P_1 , P_2 e P_3 , no ano de 1978	101
27	Amostras circulares P_1 , P_2 e P_3 de 1978 (10 km^2) da rede de drenagem em solos da área A (horizonte B textural). Escala 1:35.000	102
28a	Uso da terra das amostras circulares L_1 , L_2 e L_3 , no ano de 1978	103

FIGURA		Pág.
28	Amostras circulares L_1 , L_2 e L_3 de 1978 (10 km^2) da rede de drenagem em solos da área B (horizonte B <u>la</u> tossólico). Escala 1:35.000	104
29	Variação dos índices de densidade de drenagem (D_c) obtidos em amostras circulares representativas dos solos estudados, nas diferentes épocas (1940, 1962, 1972 e 1978)	108
30	Variação dos índices de frequências de rios (F_c) obtidos em amostras circulares representativas dos solos estudados, nas diferentes épocas (1940, 1962, 1972 e 1978)	109
31	Variação dos índices de razão de textura (T_c) obtidos em amostras circulares representativas dos solos estudados, nas diferentes épocas (1940, 1962, 1972 e 1978)	110

RESUMO

Neste trabalho, procurou-se verificar a variação das características das redes de drenagem superficial a partir de fotografias aéreas verticais obtidas em épocas diferentes.

Foram utilizados quatro conjuntos de fotografias aéreas verticais obtidas em: 1940, 1962, 1972 e 1978, a partir das quais foram feitos decalques das redes de drenagem de duas áreas, denominadas A e B, do município de Piracicaba (SP), possuindo condições de relevo e solos diferentes e, portanto, comportamento hidrológico diferente. A área A apresenta relevo ondulado com predominância de solos com horizonte B textural (Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos das variações Laras e Piracicaba). A área B possui relevo plano a suavemente ondulado e com predominância de solos com horizonte B latossólico (Latossol Roxo e Latossol Vermelho Escuro Orto, com inclusões

de Terra Roxa Estruturada).

Estas áreas localizam-se na Depressão Periférica, sub-região Médio Tietê. A geologia é representada principalmente por rochas sedimentares, ocorrendo intrusões de rochas básicas. O clima é do tipo Cwa, isto é, temperado quente com estiagem de inverno. A pluviosidade anual é da ordem de 1.200 a 1.300 mm.

Os elementos descritivos e quantitativos das redes de drenagem foram estudados pelo método de fotointerpretação por análise de elementos. Os índices quantitativos foram calculados a partir de amostras circulares com área de 10 km² para as fotografias aéreas verticais obtidas em épocas diferentes (1940, 1962, 1972 e 1978). Para a análise estatística dos dados, aplicou-se o Teste Não-Paramétrico de Friedman.

Os solos da área A (horizonte B textural) apresentaram valores mais altos, para todos os índices de drenagem analisados, que os solos da área B (horizonte B latossólico). As características dos padrões de drenagem foram condicionadas pela natureza e propriedades dos solos, pela natureza e profundidade do substrato, pela posição que ocupa no relevo regional, e, também, pela cobertura vegetal existente e pelo uso da terra em cada período estudado.

O sistema de amostragem circular mostrou-se eficiente e prático para a análise quantitativa dos padrões de drenagem, para as fotografias aéreas verticais obtidas em épocas diferentes.

A análise e interpretação dos resultados permitiram

a seguinte conclusão principal:

. Os índices de drenagem diferem entre si nas épocas extremas, isto é, 1940 e 1978 no caso de solos com B textural; e nos solos com B latossólico diferem entre si os índices de drenagem obtidos das fotografias aéreas verticais de 1940 dos obtidos nas de 1962, como demonstra o Teste de Friedman.

SUMMARY.

This paper objective is to verify the characteristic changes of the surface drainage network from vertical aerial photographs obtained in different times.

Four sets of vertical aerial photos, obtained during 1940, 1962, 1972 and 1978, were utilised, and from which, two drainage network areas named A and B from the county of Piracicaba-SP were reproduced, bearing different landscapes and soils conditions, therefore different hydrological behaviours. Area A presents a rolling landscape with soil predominantly textural B Horizon (Red Yellow Podzolic soils, Laras and Piracicaba variation). Area B presents a flat to a slightly rolling landscape, with soils predominantly Latosolic B Horizon (Roxo Latosol and Ortho Dark Red Latosol with inclusions of Structured "Terra Roxa").

These areas are located on the Peripheral Depression, sub-region "Médio Tietê". Geology is characterised principally by sedimentary rocks, with basic rock intrusions. Climate is Cwa, that is, hot tempered and winter dry. Annual rainfall is around 1.200 to 1.300 mm.

The quantitative and descriptive elements from such drainage networks were studied by the elementary analysis by the photointerpretation method. The quantitative indexes were calculated from circular samples of 10 km² areas from the vertical aerial photos obtained in different times (1940, 1962, 1972 and 1978). For the statistical analysis of data it was applied the Friedman nonparametric test.

The area A soil (B Textural Horizon) presents higher values than the area B soil (Latosolic B Horizon) for all the drainage indexes analysed the drainage standard characteristics were conditioned by nature and by the soil properties; by the nature and depth of the substract; by the position occupied as per the regional landscape; and also by the existing green coverage, as well as by the land use in each studied period.

The circular sampling system was shown adequate and efficient for the drainage standard quantitative analysis and for the vertical aerial photos obtained in different times.

The analysis and interpretation of such results led, to the conclusion:

- The drainage indexes differ from each other in extreme times, that is, 1940 and 1978 in the case of B Textural soils; and in the case of B Latosolic soils the drainage indexes differ from each other when obtained from vertical serial photos from 1940 and from 1962, as it is demonstrated by the Friedman Test.

1. INTRODUÇÃO

O padrão de drenagem superficial, pela quantidade de informações que proporciona, tem sido utilizado em diversos trabalhos, encontrando-se os índices ou parâmetros fotoanalíticos representativos dos solos em estudo.

Acontece, porém, que algumas regiões já apresentam em disponibilidade diversas coberturas aerofotográficas, nas mais diversas escalas, realizadas em diferentes épocas.

O Município de Piracicaba (São Paulo) foi servido das coberturas aerofotográficas a seguir relacionadas:

Ano	Escala	Entidade Responsável	Executor e Disponibilidade
1940	1:20.000	---	SEPLAN
1950/64	1:10.000	DERSP	Aerofoto Natividade
1959/64	1:25.000	DERSP	Aerofoto Natividade
1962	1:25.000	IAC	Cruzeiro do Sul
1965	1:60.000	DESG	USAF
1972	1:25.000	IBC-GERCA	Terra-Foto
1978	1:35.000	SEPLAN	Terra-Foto

O presente estudo foi realizado em duas áreas do referido Município, uma apresentando relevo plano a suavemente ondulado, com predominância de solos com horizonte "B" latossólico (Latosol Roxo e Latossol Vermelho Escuro-Orto) e a outra possuindo relevo ondulado com predominância de solos com horizonte "B" textural (solos Podzólicos Vermelho-Amarelos das variações Laras e Piracicaba).

As duas áreas tendo características morfogenéticas diferentes e, portanto, comportamentos hidrológicos diferentes, refletem as diferenças na composição e nas características das respectivas redes de drenagem. A primeira área é constituída por solos profundos e permeáveis, com alta relação infiltração/deflúvio. A segunda área é constituída por solos moderadamente profundos a rasos e menos permeáveis, com baixa relação infiltração/deflúvio.

Este trabalho teve por finalidade pesquisar, através das fotografias aéreas verticais dos vôos de 1940, 1962, 1972 e 1978, se as características das redes de drenagem das áreas em estudo sofreram mudanças, em função das diferentes épocas de cobertura aerofotográfica.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - Fotografias Aéreas Verticais no Levantamento de Solos

As fotografias aéreas verticais constituem excelente ferramenta de trabalho para o levantamento de solos. A literatura especializada mostra um grande número de trabalhos onde os autores evidenciam a utilização das fotografias aéreas, ressaltando as vantagens e restrições a que estão sujeitas.

Para SIMONSON (1950), o maior avanço em levantamento de solos nas duas décadas anteriores a 1950, foi a utilização de fotografias aéreas.

Segundo QUACKENBUSH (1960), a evolução da fotografia aérea foi simultânea ao desenvolvimento do material e equipamento fotográfico, mas somente no século XX, com o apoio da aeronáutica,

evoluiu até o ponto de permitir a obtenção de imagens da superfície terrestre, por meio de fotografias tomadas de aeronaves.

GOOSEN (1968) diz que a visão panorâmica que as fotografias aéreas proporcionam, como um meio de documentação e pesquisa dos fenômenos da paisagem, não tem rival a um custo comparável. Admite ainda que, embora o trabalho de campo não seja substituído completamente pela fotografia aérea, o rendimento e a exatidão dos trabalhos são altamente favorecidos. O autor também aceita que a utilização da fotointerpretação é mais importante em levantamentos de reconhecimento do que em levantamentos detalhados.

A fotografia aérea, para AMARAL e AUDI (1972), apresenta-se como material de trabalho indispensável no levantamento de solos, oferecendo ganho de tempo, precisão de limites e real visão global da paisagem com riqueza de detalhes. Ela serve não só como base cartográfica preliminar, auxiliando os trabalhos de campo no traçado de roteiros mais interessantes, como também possibilita a separação das unidades de solos diretamente sobre as fotografias.

LUEDER (1959) concluiu que em mapeamentos de reconhecimento, o esforço de trabalho, usando a fotointerpretação, corresponde a um décimo do que seria necessário sem sua utilização; e para os levantamentos detalhados a economia varia de dez a noventa por cento.

BASTOS (1966) comenta um trabalho descrito por VERA (1964), referente ao Projeto OEA-Chile, no qual 120.000 km² de ter-

ras agrícolas tiveram os seus solos levantados a nível detalhado num período de 18 meses. O autor faz a observação que as informações obtidas neste curto espaço de tempo, sem o uso de técnicas aerofotogramétricas e fotointerpretativas, levaria um tempo superior ao de uma vida humana.

Apesar das vantagens apresentadas pelas fotografias aéreas nos levantamentos de solos, o trabalho de campo não pode ser substituído completamente, conforme advertem BOMBERGER e DILL (1960). Segundo estes autores, as fotografias aéreas mostram apenas a superfície do solo, que muitas vezes não está visível. Saliendam porém a presença de padrões, tais como os de relevo, drenagem, erosão, vegetação, que permitem ao fotointerprete tirar inferências sobre a distribuição dos solos e material de origem.

COLWELL (1952) define fotointerpretação como o ato de examinar imagens fotográficas de objetos com a finalidade de identificá-los e avaliá-los quanto a sua significância, enquanto que para SUMMERSON (1954) de uma maneira ampla, define-a como sendo a previsão do que não pode ser visto. Esta afirmativa possui maior afinidade com a interpretação fotográfica de solos, pois a fotografia aérea mostra somente a superfície do terreno e não as variações que ocorrem em profundidade, caracterizando uma unidade de solo. Mas os variados aspectos de ocorrência na superfície, tais como vegetação, formas topográficas, drenagem, erosão, tonalidade fotográfica e uso da terra, podem indicar a presença de solos diferentes.

RABBEN (1960) explica a larga utilização da fotografia aérea baseado em três fatos fundamentais:

a) Cada fotografia aérea representa uma grande área da superfície terrestre, sendo aproximadamente de 20 km² na escala 1:20.000 e de 33 km² na escala 1:25.000;

b) Os pares estereoscópicos proporcionam imagens tridimensionais da superfície terrestre e dos objetos sobre ela localizados;

c) As fotografias aéreas proporcionam um caráter permanente das imagens, possibilitando medições e melhores condições de trabalho.

Segundo RABBEN (1960), há duas maneiras para se estudar imagens aerofotográficas. Uma totalmente empírica, que consiste no exame minucioso de todo material fotográfico existente, sem se omitir nada. Outra maneira, é utilizar-se de probabilidades, isto é, o intérprete pesquisa somente as áreas nas quais os objetos de interesse podem ser encontrados, desprezando grande número de fotografias que não têm probabilidades de conter as informações desejadas. Isto é "pesquisa lógica", uma combinação de visão geral e estudo intensivo, que exige maior experiência, já que o intérprete deve decidir onde os estudos terão melhores resultados, mas é mais produtiva em relação ao tempo e esforços dispendidos. Comenta ainda que, para identificar objetos nunca vistos anteriormente, ou para entender o significado de objetos já identificados, o intérprete utiliza o "princípio da convergência de evidências", desenvolvido por Colwell:

"podem existir vários indícios sobre a identidade de um objeto desconhecido; nenhum destes indícios é infalível, mas se todos, ou a maioria dos indícios apontar para a mesma conclusão, esta será provavelmente correta". Assim, RABBEH (1960) acredita que a fotointerpretação é na realidade uma arte de probabilidades e refere-se ao termo "chave de interpretação", como auxiliar do intérprete, no sentido de organizar as informações presentes em imagens fotográficas aéreas, guiando-o para a identificação correta dos objetos desconhecidos.

Para FROST (1960), a interpretação de solos em fotografias aéreas pode ser feita utilizando-se três importantes princípios:

- a) solos semelhantes ocorrem com padrões semelhantes;
- b) solos diferentes apresentam padrões diferentes;
- c) correlações de características da imagem fotográfica com propriedades do solo observadas no campo e no laboratório, podem ser inferidas por fotointerpretação.

Ainda FROST (1960) salienta a importância do estudo de aspectos regionais mostrados em mosaicos fotográficos, antes de examinar o detalhe, a fim de que grandes feições regionais possam ser relacionadas aos fatores ambientais como fisiografia, geologia e clima. Acredita que o estudo de solos no contexto regional habilita o cientista de solo à posterior interpretação de fotografias de

regiões desconhecidas.

O estudo de fotografias aéreas é geralmente feito em duas etapas, conforme sugere RABEN (1960), RAY (1963), RICCI e PERTI (1965). A primeira consiste na observação, coleta de dados, medição e identificação das imagens tridimensionais das fotografias aéreas. A segunda consiste na indução e ou dedução de fenômenos ou de relações, incluindo a aplicação de informações obtidas na solução de problemas.

Shultz e Cleaves, citados por RAY (1963), afirmam ser a forma fisiográfica o elemento mais importante da fotopedologia, contudo, a drenagem e o relevo podem fornecer informações de mesma importância.

Segundo LUEDER (1959), com exceção da forma fisiográfica, o mais seguro indicador das condições do terreno é a drenagem superficial, sendo porém imprescindível a experiência do fotointérprete no estabelecimento das correlações entre imagem fotográfica e aspectos do terreno.

DUNBAR (1959), ao discutir alguns aspectos fotointerpretativos em solos de regiões tropicais, referiu-se particularmente a certas áreas do Brasil onde alguns latossolos argilosos têm aparência de solos com textura areno-barrenta nas fotografias aéreas, apresentando: porosidade relativamente elevada, ângulo de repouso moderadamente íngreme e padrão de drenagem esparso, pouco integrado. E associou este fato à ação severa do intemperismo e erosão.

Para BURINGH (1960), em levantamento de solos sem fotointerpretação, aproximadamente 20% das observações de campo são gastas para identificação e classificação dos solos e o restante do tempo para localizar os limites dos solos, com auxílio de fotointerpretação, grande parte destes limites seriam demarcados nas fotografias, sendo necessário apenas algumas verificações de limites no campo.

Para a fotointerpretação empregada em levantamentos de solos, existem três métodos preconizados por GOOSEN (1968):

a) "Análise de padrões" de FROST (1960), que consiste no estudo dos padrões indicativos das condições superficiais e de subsuperfície, como a fisiografia, drenagem, aspectos de erosão, vegetação, tonalidade fotográfica e uso da terra. Após conhecimento das condições ambientais dos solos estudados, o fotointérprete divide as unidades principais da paisagem em unidades menores e examina os padrões locais, em estereoscopia.

b) "Análise fisiográfica", citada por BURINGH (1960), que necessita de conhecimento profundo de processos fisiográficos e seus reflexos na interpretação das fotografias aéreas. O terreno é classificado segundo unidades fisiográficas, as quais correspondem a uma associação única de solos.

c) "Análise de elementos", desenvolvida por BURINGH (1960), que apresenta como vantagem, a utilização por pedólogos com pouca expe-

riência em fotointerpretação. Consiste na análise sistemática dos elementos relacionados com as condições de solo de uma região, baseada na relação existente entre características da superfície do terreno e condições do solo. Utilizando-se a convergência de evidências, ~~separam-se~~ as unidades pedológicas identificadas, pela mudança em um ou mais elementos.

GOOSEN (1968) explica que o objetivo da análise de fotografias aéreas em levantamentos de solos, é chegar a uma classificação da superfície do terreno que, através de trabalhos de campo subsequentes e análises de laboratório, possa ser traduzido em unidades de mapeamento.

Comenta ainda que a diferenciação entre os métodos e sua utilização é relativamente artificial, pois na prática pode ocorrer uma combinação dos três métodos, dependendo da maneira como é feito o levantamento. Em um trabalho generalizado pode ser necessária uma ampla análise fisiográfica preliminar para determinar a divisão fisiográfica da paisagem. Feito isto, pode-se estudar em detalhe áreas de amostragem, através da análise dos elementos. Isto resulta no estabelecimento de chaves para mapear as demais partes da área por meio da análise de padrões. Assim, nenhum procedimento sistemático pode ser prescrito, no estado atual dos conhecimentos, aos técnicos de fotointerpretação.

Os princípios propostos pelo método da "análise de elementos" foram utilizados por FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969), FA

DEL (1972), LEÃO (1972), VASQUES FILHO (1972), GEVAERD (1974), SOUZA (1975), KOFFLER (1976a), FREIRE (1977), DEMÉTRIO (1977), CARVALHO (1977), SILVA (1977), NOGUEIRA (1979) e POLITANO (1980), sobre fotografias aéreas verticais, estabelecendo-se parâmetros para a identificação de algumas unidades de solo nas condições brasileiras.

2.2 - O Padrão de Drenagem Superficial: Tipos, Características e Significado

A análise da rede de drenagem permite a compreensão e elucidação de numerosas questões geomorfológicas, porque os cursos d'água são processos morfogenéticos bastante atuantes na esculturação da paisagem terrestre. A sua importância na geomorfologia clássica e nos estudos cartográficos e aerofotogramétricos pode ser mostrada pelo fato da drenagem encontrar-se intimamente relacionada, como fator analítico, à erosão, outro elemento fisiográfico e geomorfológico de extraordinária importância (CHRISTOFOLETTI, 1969).

Os padrões de drenagem auxiliam na fotointerpretação porque podem ser usados como critérios na identificação de fenômenos geológicos, hidrológicos, geomorfológicos e pedológicos, pois segundo LUEDER (1959), o padrão de drenagem, com exceção do relevo, é o mais consistente e confiável indicador das condições do terreno, disponível ao fotointérprete.

Para PARVIS (1950), a relativa facilidade com que os

Sistemas de drenagem podem ser observados em fotografias aéreas, facilita o reconhecimento de padrões de drenagem, o estudo analítico de seus elementos e a avaliação de sua significância na interpretação de solos e de substratos rochosos.

SOUZA (1975) comenta que as dificuldades para delimitar unidades de solos no campo, devido à falta de acesso, podem ser perfeitamente contornadas, utilizando-se os aspectos visíveis nas fotografias aéreas. Dentre os padrões que permitem a diferenciação de solos, as redes de drenagem, juntamente com o relevo, são os que mais se destacam, com vantagem para as redes de drenagem, que são mais facilmente registradas e medidas em fotografias aéreas.

WEG (1966) subdividiu os padrões de drenagem em: (1) Padrões erosionais, que são formados por algum processo degradante de erosão, e cujos modelos se repetem com frequência; (2) Padrões de posicionais, os desenvolvidos por processos construcionais de deposição, estando muito relacionados ao padrão do canal; (3) Padrões especiais, todos aqueles que não são classificados pelos critérios anteriores.

Para BLOOM (1970), padrão de drenagem diz respeito aos aspectos específicos do arrançamento bidimensional e casualizado assumido pela imagem fotográfica da rede de drenagem e estabelece cinco tipos de arrançamento: caótico, dendrítico, retangular, treliça e radial.

PARVIS (1950) classifica os padrões de drenagem em

dois grupos: básicos e modificados. Apresenta seis padrões de drenagem básicos: dendrítico, treliça, radial, paralelo, anular e retangular. Utilizando de algumas modificações destes seis padrões básicos, classificou e descreveu cerca de trinta tipos ou modelos.

Segundo HORTON (1945), o desenvolvimento de bacias hidrográficas e de suas redes de drenagem deve ser discutido em termos de infiltração, deflúvio e erosão, em terrenos recentemente expostos. No entanto, pode haver interferência de estruturas geológicas ou distúrbios geológicos, posteriormente. Deste modo, quando ocorrem afastamentos das leis dos números e dos comprimentos de rios em condições normais de topografia, clima, geologia, solo, etc., esses afastamentos podem estar condicionados ao controle de estruturas geológicas.

Para FRANÇA (1968), o termo padrão de drenagem tem sido usado na literatura para expressar a maneira pela qual os cursos d'água se arranjam ou se distribuem numa determinada área de drenagem, segundo um modelo ou a configuração de um objeto familiar, que empresta o nome para a classificação do padrão. Se os rios se distribuem à semelhança de tronco, galhos e ramos de uma árvore, o padrão é chamado dendrítico ou arborecente; se pode ser comparado aos ramos de uma videira é denominado padrão em treliça, e assim por diante.

Segundo LUEDER (1959), a diferenciação dos padrões de drenagem com base exclusiva em termos designativos, terá valor limi

tado se a classificação do padrão não for completada com a descrição de certas características, variáveis dentro de cada padrão, e que podem indicar aspectos significativos. Assim, sugere as seguintes características para descrever o padrão drenagem: grau de integração, densidade, grau de uniformidade, orientação, grau de controle, ângulos de confluência, angularidade, tipo ou modelo.

O termo anomalia foi acrescentado por RICCI e PETRI (1965), na lista de características descritivas, para representar qualquer configuração que não se adapta àquela dominante, apresentada por todos os outros rios da área. LUEDER (1959) recomenda que os termos descritivos sejam aplicados somente à drenagem destrutiva, isto é, cujo padrão é criado por erosão hídrica.

Para LUEDER (1959), a justificativa principal da análise da drenagem superficial é que fornece indicações sobre a razão infiltração/deflúvio, capacidade de infiltração, permeabilidade e textura dos materiais que ocorrem em uma área. Em geral, um padrão de drenagem bem desenvolvido indica a ocorrência de baixa infiltração e materiais relativamente impermeáveis, enquanto que uma drenagem superficial escassa indica infiltração e permeabilidade altas. Como sempre, existem exceções e casos especiais, mas como regra geral é muito eficiente. Esclarece também que o padrão de drenagem não é influenciado apenas pela composição do material, havendo outros fatores, como a topografia do terreno.

Os padrões de drenagem, segundo RAY (1963), podem ser

aplicados na interpretação geológica. Áreas onde a resistência à erosão é mais ou menos uniforme, como em muitos depósitos sedimentares ou mantos de intemperismo sobre embasamentos sem estrutura pronunciada, o padrão de drenagem é comumente dendrítico ou dendrítico modificado. Onde existe maior controle estrutural, desenvolvem-se padrões em treliça, anular, retangular, etc. Também comenta que, sendo pronunciada a sensibilidade da drenagem à direção geral e direções de mergulho, as mudanças num padrão de drenagem, os desvios de uma norma estabelecida, podem fornecer informações muito importantes.

Ainda segundo RAY (1963), a densidade de drenagem em um dado ambiente climático está relacionada principalmente com a resistência à erosão dos materiais presentes, aumentando a densidade à medida que diminui a resistência à erosão. Examinando fotografias aéreas, afirma que folhelhos e outras rochas similares de granulação fina, tendem a apresentar drenagem de textura fina, enquanto que rochas sedimentares de granulação grossa, como arenitos, tendem a apresentar drenagem de textura grosseira. Entretanto, admite que podem existir muitas exceções. FRANÇA (1968) afirma que muitas das exceções são devidas à natureza dos solos que se desenvolvem sobre essas rochas.

ZINKE (1960) considera plausível que o solo derivado de um tipo de rocha relativamente impermeável, conduzirá a maiores proporções de deflúvio e, conseqüentemente, a um maior desenvolvi-

mento de sua rede de drenagem superficial.

DUNBAR (1959), ao discutir os problemas de interpretação fotográfica em regiões tropicais e subtropicais, alertou para o fato que solos latossólicos, com elevado teor de argila, apresentavam redes de drenagem com características semelhantes às que ocorrem em solos de classe textural areia barrenta.

Citando trabalho de Jenkis *et alii*, RAY (1963) esclarece que as fotografias aéreas mostram a drenagem efetiva do perfil, independente da textura ou composição granulométrica do solo. Ainda se reportando a esses autores, lembra que o calcário origina solos de partículas finas, porém agregadas, resultando perfis permeáveis e bem drenados internamente e, conseqüentemente, as fotos aéreas mostram uma rede de drenagem superficial de textura grosseira.

As afirmativas de DUNBAR (1959) e RAY (1963) foram confirmadas por FRANÇA (1968) e FADEL (1972), ao verificarem que solos argilosos dos grandes grupos Latossol Roxo e Latossol Vermelho Escuro, graças à sua estrutura porosa, apresentam-se mais permeáveis que solos arenosos do grande grupo Podzólico Vermelho - Amarelo variação Laras.

Para HORTON (1945), além de outros fatores como precipitação e relevo, dois fatores importantes nos processos de erosão hídrica, responsáveis pela gênese de sistemas hidrográficos e suas bacias de drenagem, são a resistência dos solos à erosão e sua capacidade de infiltração, sendo que, se considerado um longo período

do de tempo, em qualquer área sujeita à erosão por água corrente, acabará prevalecendo a resistência do solo e da rocha subjacente à erosão.

Estudando a erodibilidade dos solos do Estado de São Paulo, FREIRE e PESSOTTI (1974) concluíram que, de maneira geral, os Latossóis são mais resistentes à erosão do que os Solos Podzólicos, e que, dentre estes últimos, a erodibilidade aumenta à medida que aumenta o gradiente textural entre os horizontes A e B. Resultados semelhantes foram obtidos por LOMBARDI NETO e BERTONI (1975).

Segundo STRAHLER (1957), a densidade de drenagem deve ser vista como uma expressão do espaçamento entre os canais. Em geral, baixa densidade de drenagem ocorre em regiões com densa cobertura vegetativa e onde o relevo é pouco pronunciado; em outras condições ocorrerá, provavelmente, alta densidade de drenagem.

Para RAY e FISCHER (1960), as informações quantitativas obtidas de fotografias aéreas proporcionam medidas relativas ou absolutas, úteis para caracterizar formas do terreno em termos objetivos, mais consistentes do que os termos subjetivos comumente utilizados (suavemente ondulado, por exemplo), que podem levar a erros de interpretação.

STRAHLER (1964) afirma que a densidade de drenagem, um importante indicador da escala linear de elementos fisiográficos em topografia de erosão fluvial, foi introduzida na literatura hidrográfica americana por Horton em 1932. A "densidade de drenagem"

(D) foi definida como a razão entre o comprimento total de rios dentro de uma bacia de drenagem e a área dessa bacia, sendo expressa pela equação:

$$D = \frac{LT}{A} ,$$

onde LT é o comprimento de rios e A é a área da bacia.

Ainda segundo STRAHLER (1964), Horton introduziu também o termo frequência de rios (F), para expressar quantitativamente uma rede hidrográfica. A frequência de rios foi definida pela equação:

$$F = \frac{N}{A} ,$$

onde N é o número total de rios e A é a área da bacia.

Citado por STRAHLER (1964), Melton analisou detalhadamente as relações entre densidade de drenagem e frequência de rios, sendo que ambas medem a textura da drenagem, mas cada uma tratando de aspectos distintos. Assim, é perfeitamente possível construir duas bacias de drenagem hipotéticas, apresentando os mesmos valores de densidade de drenagem mas com diferentes frequências de rios; por outro lado, é possível existir duas bacias com mesma frequência e diferentes densidades.

SMITH (1950), estudando a topografia de regiões dissecadas por rios, utilizou um índice semelhante ao da frequência de rios de Horton, ao qual denominou razão de textura, a fim de expres

sar o espaçamento entre os canais de drenagem. Este índice é calculado pela equação:

$$T = \frac{N}{P} ,$$

onde N é o número de crênulas na curva de nível escolhida e P é o comprimento do perímetro da bacia, expresso em milhas. Como trabalhava com mapas topográficos, e considerando que os canais menores geralmente não são representados mesmo em bons mapas, mas apenas indicados por crênulas ou inflexões das curvas de nível, recomendou escolher a curva de nível com o maior número de crênulas, dentro da bacia de drenagem.

O mesmo autor estabeleceu um valor médio ponderado para caracterizar a textura topográfica, tomando-se em consideração o tamanho de cada bacia. A razão de textura média pode ser determinada pela expressão:

$$T_m = \frac{\Sigma(A \times T)}{\Sigma A}$$

onde T_m é o valor médio ponderado da razão de textura, T a razão de textura e A a área de cada bacia. Propôs também o estabelecimento de limites para os valores da textura média, para classificar a textura topográfica em classes - grosseira, fina e média - sendo respectivamente: menos de 4,0; entre 4,0 e 10,0; e mais de 10,0. Além disso, estudou comparativamente razão de textura e densidade de drenagem, concluindo que existe um relacionamento em função logarítmica

ca entre essas características quantitativas.

Para FRANÇA (1968), os sistemas de drenagem podem ser melhor estudados em mapas básicos de drenagem obtidos de fotografias aéreas, e introduziu modificações na razão de textura (T) e razão de textura média (Tm), considerando o valor N das equações como sendo o número total de rios da bacia e adaptou a classificação da textura topográfica de Smith ao sistema métrico, transformando o perímetro para quilômetros. Os valores obtidos são: Tm menor que 2,5 km, Tm entre 2,5 e 6,2 km e Tm maior que 6,2 km para as classes grossa, média e fina, respectivamente.

STRAHLER (1957) propõe como requisito para que duas bacias de drenagem sejam comparáveis, que elas devam ser geometricamente semelhantes. Se existir a similaridade geométrica, todos os correspondentes números adimensionais, como ângulos e razões entre medidas de comprimento, serão iguais; ainda assim existirão várias diferenças significativas entre elas.

FRANÇA (1968) aplicou os princípios da análise quantitativa de Strahler a solos e chegou às seguintes conclusões:

- 1) A composição e as características de padrão de drenagem variavam, em primeiro lugar, com a natureza do solo e depois, com a posição topográfica e com a natureza e profundidade do substrato rochoso;

- 2) A análise e a interpretação do padrão de drenagem permitiram a distinção entre os solos estudados; entretanto, os outros pa

drões devem ser considerados;

3) A relação entre razão de textura média e densidade de drenagem de amostras circulares demonstrou ser o mais consistente e de grande utilidade na fotointerpretação de solos;

4) As características quantitativas baseadas em medições simples, exatas e reproduzíveis, podem ser utilizadas na descrição do padrão de drenagem, permitindo comparações e interpretações mais concretas desde que sejam superadas certas dificuldades na amostragem.

5) Uma descrição de características do padrão, por mais detalhada que seja, sempre permanecerá um tanto vaga para permitir a identificação e delimitação de solos por fotointerpretação, a não ser em trabalhos conduzidos a um nível de generalização muito grande.

RAY e FISCHER (1960) estudaram a significância da densidade de drenagem com respeito à litologia, utilizando fotografias aéreas. Os comprimentos dos rios foram relacionados com as áreas de bacias hidrográficas e aéreas circulares de 10 km^2 . Concluíram que amostras circulares fornecem determinações de densidade de drenagem mais consistentes, para qualquer tipo de rocha, do que as amostras representadas por pequenas bacias. Quanto à significância geológica da densidade de drenagem, consideraram os dados ainda insuficientes, porém ficando claro que a permeabilidade do solo e da rocha subjacente tem influência fundamental, quanto mais alta for a permeabilidade, tanto mais baixa será a densidade de drenagem.

FRANÇA (1968) aplicou a metodologia de Ray e Fischer em estudo de solos, obtendo resultados mais significativos para densidade de drenagem determinada em amostras circulares. As seguintes vantagens foram verificadas para amostras circulares:

- 1) elimina a influência da área, uma vez que todas as medições de comprimento de rios são referidas à mesma área circular de 10 km^2 ;
- 2) a área circular de amostragem pode ser deslocada, dentro da área de ocorrência de uma unidade de solo, sem consideração dos limites de bacias hidrográficas, procurando abranger unicamente a maior proporção e a maior homogeneidade possíveis da unidade que está sendo amostrada.

O trabalho de FRANÇA (1968) foi comprovado por diversos pesquisadores como MARCHETTI (1969), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), LEÃO (1972), GEVAERD (1974), que estabeleceram índices caracterizando diversos solos brasileiros. Todos estes autores utilizaram o método de amostragem circular de 10 km^2 apenas para densidade de drenagem. SOUZA (1975), KOFFLER (1976), FREIRE (1977), DEMÉTRIO (1977), CARVALHO (1977), SILVA (1977), NOGUEIRA (1979) e POLITANO (1980) estenderam esse método para os outros índices relacionados com área e perímetro (densidade de drenagem, frequência de rios, razão de textura e textura topográfica), tendo concluído que podem ser utilizados para evidenciar diferenças entre solos.

RAY e FISCHER (1960) demonstraram que as medidas de densidade de drenagem podem tornar-se inconsistentes se são compara

das fotografias de escalas diferentes. Isto se deve à perda gradativa na habilidade de se detectar pequenos cursos d'água quando a escala torna-se menor. Observaram que a relação entre a variação da escala e a diminuição na densidade de drenagem é uma função linear, sugerindo que um simples fator de conversão pode permitir a determinação da densidade de drenagem a partir de diferentes escalas.

KOFFLER (1976a), utilizando imagens aerofotográficas (escalas 1:25.000 e 1:60.000) e orbitais (SKYLAB e LANDSAT-1) no estudo de padrões de drenagem de três tipos de solos, verificou que os resultados concordam com os obtidos por SOUZA (1975). Concluiu que em imagens do LANDSAT outros padrões de interpretação convencional podem assumir maior importância, como feições tonais e texturais; e que as características dos padrões de drenagem foram condicionadas, principalmente, pela natureza e propriedade dos solos, existindo uma tendência de aproximação dos valores de cada característica quantitativa, reduzindo a separabilidade dos três tipos de solo, à medida que a escala das fotografias diminui.

Ainda KOFFLER (1976b), utilizando-se de amostras circulares com áreas que variam de 10 a 100 km², como sugere BURINGH (1960), sobre fotografias aéreas verticais de escala 1:60.000, analisou o efeito do tamanho da amostra na caracterização quantitativa de um padrão de drenagem e a sua comparação com outros, podendo ser efetuadas através dos índices de densidade de drenagem, frequência de rios e comprimento médio dos canais, independentemente do tamanho das amostras circulares, desde que sejam representativas.

DEMÉTRIO (1977), trabalhando com solos do Município de Piracicaba, sobre fotografias aéreas, utilizou-se de amostras circulares de áreas de 3 km^2 , 10 km^2 e 20 km^2 , respectivamente, para fotografias aéreas de escalas 1:8.000, 1:25.000 e 1:60.000, e concluiu que o sistema de amostragem circular mostrou-se eficiente e prático para a análise quantitativa do padrão de drenagem nas três escalas de fotografias aéreas consideradas. Este autor concluiu que existe uma tendência de aproximação dos valores das características quantitativas, à medida que a escala das fotografias diminui, mas a densidade de drenagem, frequência de rios e razão de textura, diferem entre si nas escalas extremas, ou seja, 1:8.000 e 1:60.000.

2.3 - Influência da Cobertura Vegetal e Uso da Terra na Definição da Paisagem

Para BELCHER (1945), os principais elementos indicadores das diferenças em solos e formações geológicas, obtidos em fotografias aéreas são: 1) geologia; 2) declividade; 3) drenagem superficial; 4) cor e tonalidade dos solos; 5) cobertura vegetal; 6) erosão; e 7) uso da terra.

Segundo AVERY (1977), os fatores mais importantes a serem considerados na evolução da paisagem, associados aos solos são: 1) topografia; 2) padrões de drenagem; 3) erosão local; 4) vegetação natural; e 5) trabalho do homem.

Confirmando a importância da vegetação e uso da ter-

ra, WAY (1973) afirma que, o padrão vegetação, como está distribuído pela paisagem, é muito utilizado como um indicador das condições do solo. Pois a presença ou falta de vegetação ajuda a distinguir a textura, permeabilidade e avaliar a umidade dos solos. Portanto, diferentes espécies de vegetação indicam diferentes condições em um mesmo solo, apesar de que mesmas espécies de vegetal poderão ocorrer em diferentes condições de solos.

Para reforçar o que foi dito, WAY (1973) afirma que os diferentes usos da terra também são um indicador de condições de solos diferentes.

Segundo VIEIRA (1975), o homem com sua agricultura modifica efetivamente os fatores de formação do solo. Esta ação de introduzir diferentes culturas e técnicas pode ser constatada na região de Piracicaba, hoje tipicamente canavieira, mas que teve no passado seus solos cobertos pelas mais diversas culturas.

NEME (1939) assevera que, apesar da cana-de-açúcar ter sido sempre um fator de preponderância na estabilidade e desenvolvimento da economia municipal, não era elemento indispensável, dada a situação privilegiada de Piracicaba como núcleo agrícola, cuja base residia na policultura bem orientada.

Segundo AMARAL (1958), o cultivo da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, que vinha crescendo, passando de 6º colocado no quinquênio 1852 a 1856 para o 1º colocado na década de 1920, sofreu uma profunda alteração com o incentivo da produção para o nordeste

do País; desta forma, a policultura voltou a dominar a região de Piracicaba.

LOMBARDO (1978) confirma que o período que se inicia em 1920 e termina em torno de 1950 é caracterizado pela policultura, acrescentando, ainda, que o período que se segue, ou seja, de 1950 a 1977, marca o predomínio da agro-indústria-açucareira nas terras da região.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Material

3.1.1 - Descrição e localização da área de estudo

A área estudada se encontra no Município de Piracicaba, que se localiza na região fisiográfica denominada "Depressão Periférica Paulista", sub-região Médio Tietê, entre os paralelos $22^{\circ}30'$ e $23^{\circ}00'S$ e entre os meridianos $47^{\circ}30'$ e $48^{\circ}10'$ W.G., conforme ilustram as Figuras 1 e 2.

Segundo RANZANI (1976), isso significa que a área possui os atributos gerais dessa região, descrita por MORAES REGO (1932).

É uma região deprimida, rebaixada por erosão e situada entre as terras altas do Planalto Atlântico e as escarpas elevadas das "cuestas" basálticas do Planalto Ocidental.

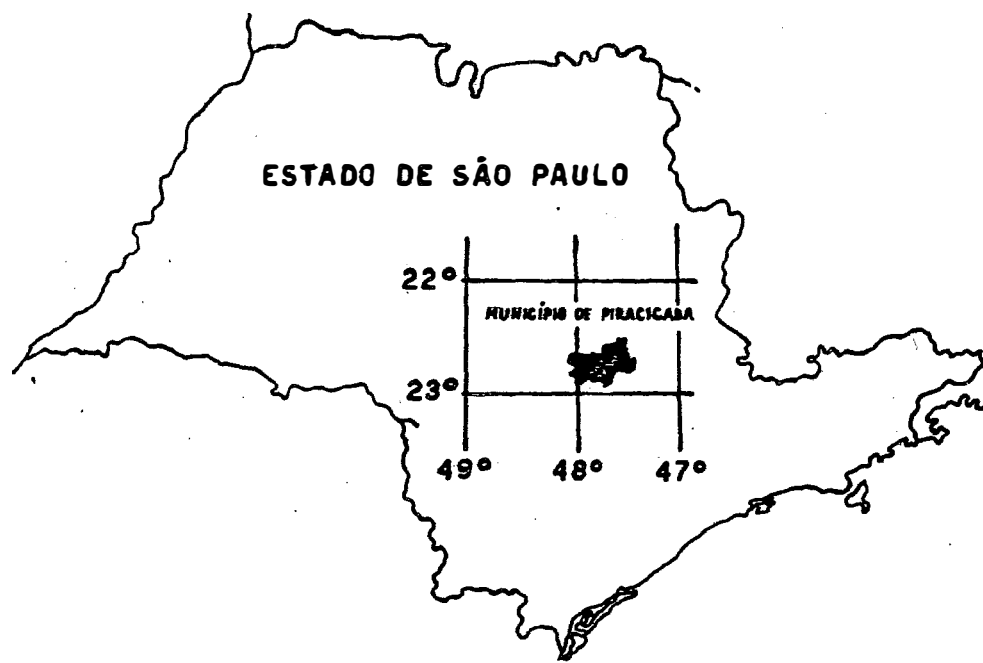


Figura 1 - Localização do Município de Piracicaba no Estado de São Paulo.

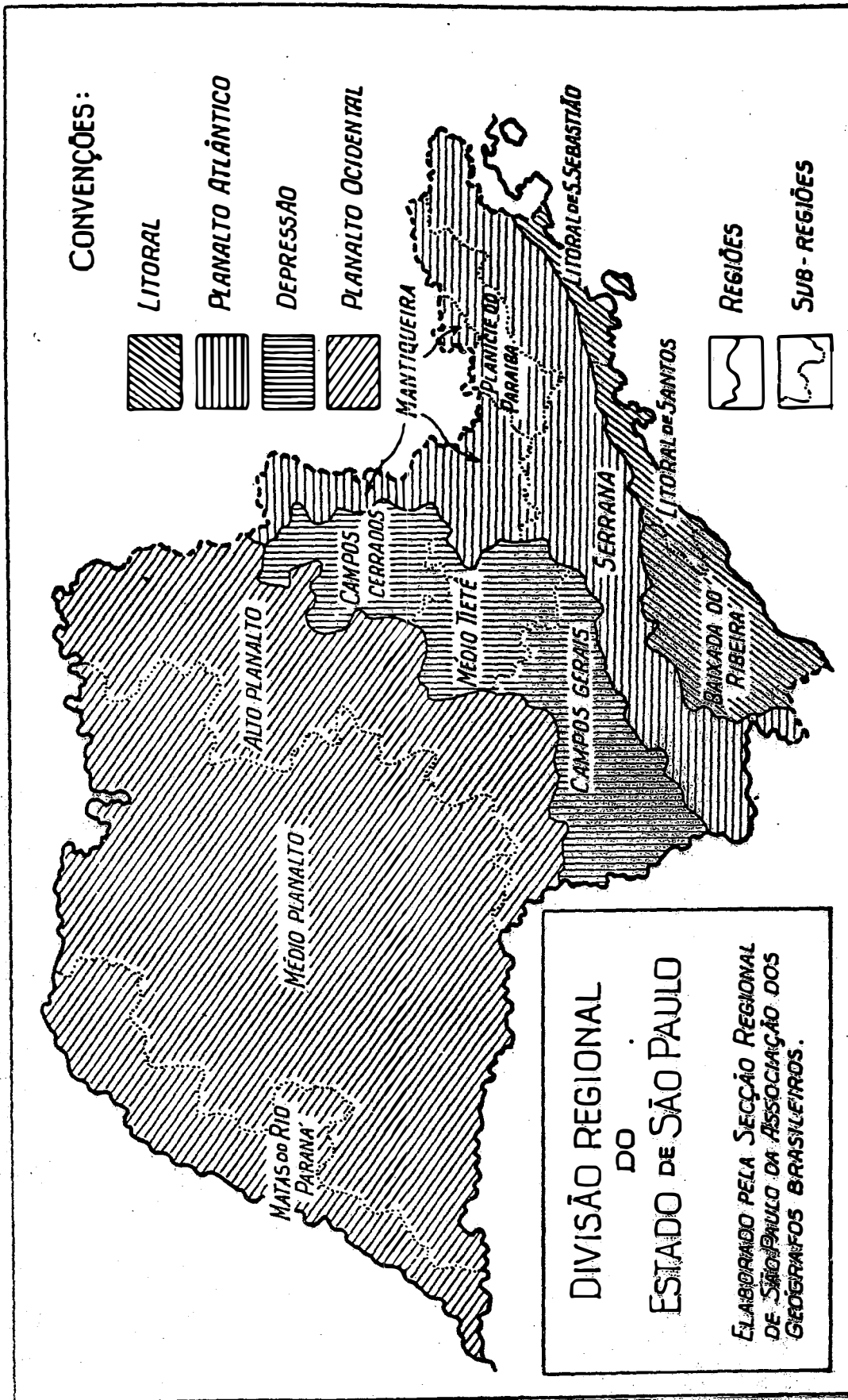


Figura 2 - Divisão Regional Fisiográfica do Estado de São Paulo.

O mapa geológico do Estado de São Paulo, representado pela Figura 3, mostra que a área do Município de Piracicaba é, em sua maior parte, constituída de sedimentos, e apresenta zonas de intrusão de rochas básicas que marcam acentuadamente a topografia e que originam solos adequados para a agricultura.

As camadas rochosas mergulham em direção à noroeste, com inclinações maiores, cerca de 15-20 m/km nas do grupo Tubarão (bairros Tupi, Taquaral e Quebradente) e apenas 3 m/km nos arenitos da Formação Botucatu, sobre os quais repousam os derrames basálticos (bairros Anhumas, Jibóia, Pinga e Paredão Vermelho).

Devido ao mergulho das camadas, as rochas mais resistentes à erosão destacam-se na topografia, constituindo pequenas "cuestas" que, no Município de Piracicaba, são mantidas por tilitos e "drifts" do Grupo Tubarão.

A topografia da região caracteriza-se por desníveis da ordem 50-100 m entre interflúvios e os vales, sendo que a altitude varia entre 450 m na várzea do Tietê à sudoeste, até 750 m nos topos mantidos pelos "sills" de diabásio, no divisor Tietê-Piracicaba (Morros São Joaquim, Monte Branco, Pau D'Alho, Boa Esperança e Pico Alto).

O clima da região, segundo o sistema Köppen, é do tipo Cwa, isto é, temperado quente com estiagem no inverno. A pluviosidade anual oscila entre 1.200 a 1.300 mm, porém no alto da serra do Itaqueri pode chegar a 1.450 mm, assim como desce a 1.100 mm, no canto SW da folha de Piracicaba (SETZER, 1946).

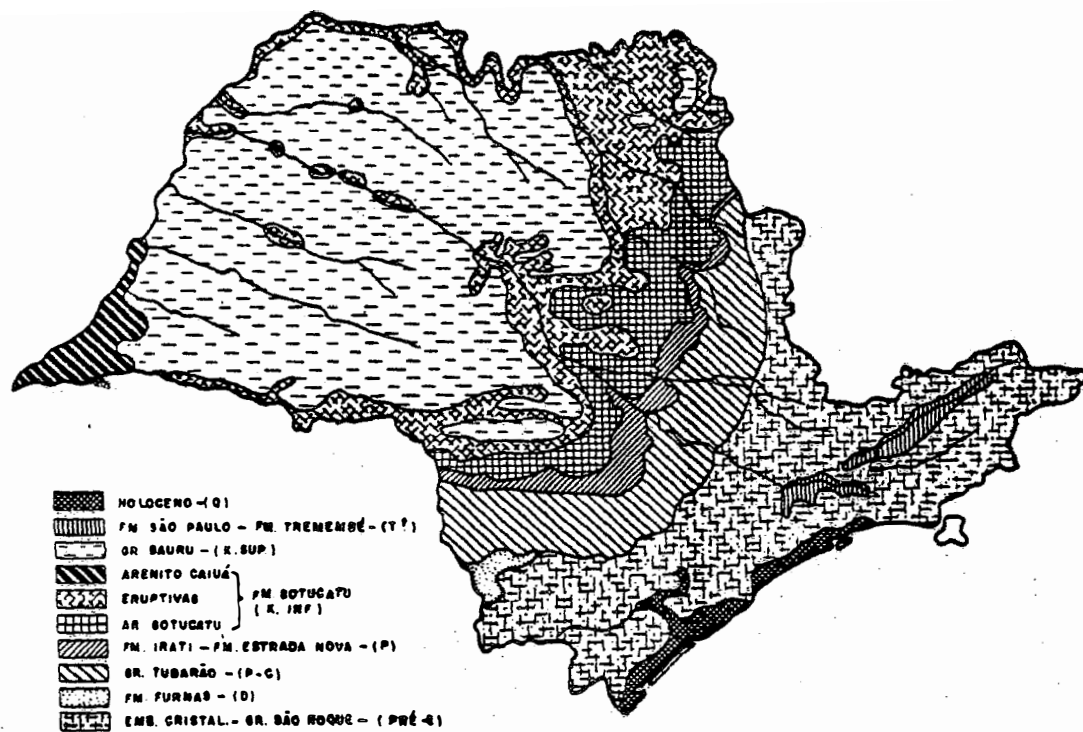


Figura 3 - Mapa geológico esquemático do Estado de São Paulo. (ROTTA, 1972).



Figura 4 - Rede de drenagem do Município de Piracicaba (RANZANI, 1976).

A temperatura média do mês mais quente oscila entre 23 e 24 °C.

Segundo RANZANI (1976), a rede de drenagem do Município, representada pela Figura 4, é bem organizada, em sua maior parte de caráter dendrítico nas bacias de 3.^a e 4.^a ordens e, em muitos casos, nitidamente controlada pelas estruturas geológicas, como revelado por segmentos retilíneos nos principais rios.

Na porção nordeste do Município, observa-se que a rede é menos densa e menos ramificada, tendendo para os tipos paralelo e sub-paralelo, características estas peculiares das áreas de ocorrência de latossolos (FRANÇA, 1968).

3.1.2 - Solos

Para a realização deste estudo, foram escolhidas duas áreas apresentando solos com características morfogênicas diferentes, e, portanto, com comportamentos hidrológicos diferentes, que se refletem em diferenças na composição e nas características das respectivas redes de drenagem.

A primeira área é constituída de solos que possuem horizonte "B" textural (horizonte argílico). Segundo DEMATTE (1976), os solos desta classe são bem drenados, com sequência de horizontes A-B-C, e diferenciação entre os horizontes de moderada a marcante. O horizonte "B", considerado o mais importante, sob o ponto de vis-

ta de classificação, apresenta, dentre outras características, as seguintes:

- a) profundidade mais frequentemente entre 0,40 a 1,20 m;
- b) conteúdo de argila superior ao do horizonte A;
- c) pode ocorrer a presença de minerais primários;
- d) estrutura em blocos, moderada ou fortemente desenvolvida, com cerosidade;
- e) relação molecular K_i (SiO_2/Al_2O_3) superior a 1,8.

A esta classe de solos correspondem, nas amostras em estudo (P_1 , P_2 e P_3), segundo a COMISSÃO DE SOLOS DO SERV. NAC. DE PESQ. AGRON. (1960), às seguintes unidades de mapeamento: Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos variação Laras nas amostras P_1 e P_3 , e Podzólicos Vermelho-Amarelos variação Piracicaba na amostra P_2 . A Tabela 1 apresenta as principais características destes solos, e a Figura 5 mostra a distribuição esquemática dos mesmos, no Estado de São Paulo.

A segunda área é constituída de solos que têm horizonte "B" latossólico (horizonte óxico). De acordo com DEMATTÉ (1976), os solos desta classe são bem drenados com sequência de horizontes A-B-C, com pequena diferenciação entre horizontes. O horizonte B, considerado o mais importante sob o ponto de vista de classificação, apresenta as seguintes características:

Tabela 1 - Principais características dos solos das duas áreas de estudo.

CARACTERÍSTICAS	A R E A A		A R E A B		
	PVA-Laras	PVA-Piracicaba	LR	LVE	TRE
Material de origem	arenitos	argilitos e fo- lhelhos	erupt.básicas	argilitos e siltitos	erupt.básicas
Relevo	ondulado	ondulado	plano a suave- mente ondulado	plano a suave- mente ondulado	suavemente on- dulado a ond.
Profundidade	moderadamente profundo	moderadamente profundo	muito profun- do	muito profun- do	profundo a mui- to profundo
Natureza do horizonte B	textural	textural	latossólico	latossólico	textural
Drenagem interna	moderada	moderada	boa	boa	boa
Relação inf./defl.	baixa	baixa	alta	alta	média
Textura do horizonte A	areia barrenta	barro siltoso	argila	argila	barro-argiloso
Textura do horizonte B	barro arenoso	argila	argila	argila	argila
Retenção de água (perfil)	baixa	média	alta	média	alta
Resist. à erosão	muito baixa	baixa	alta	alta	média
Intens. de uso agríc.	média	alta	muito alta	alta	muito alta

FONTE: COMISSÃO DE SOLOS DO SERV. NAC. DE PESQ. AGRON. (1960).

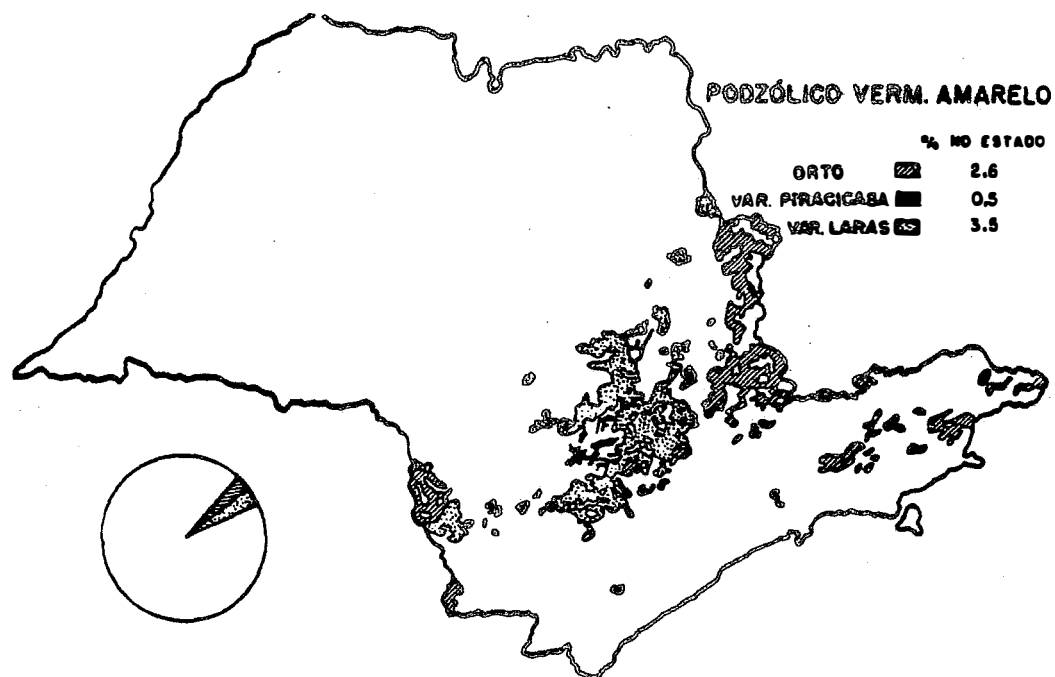


Figura 5 - Mapa esquemático mostrando a localização dos Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos no Estado de São Paulo, segundo COMISSÃO DE SOLOS DO SERV. NAC. DE PESQ. AGRON. (1960).

- a) profundidade variando mais frequentemente entre 1,50 m a 4,0 m;
- b) teor de argila semelhante ou apenas ligeiramente maior que o do horizonte A;
- c) minerais pouco resistentes ao intemperismo são ausentes;
- d) estrutura granular pequena ou muito pequena, formando os grãos uma massa homogênea, muito porosa e muito pouco coesa;
- e) ausência de cerosidade;
- f) relação molecular K_i (SiO_2/Al_2O_3) normalmente inferior a 1,5.

Nas amostras em estudo (L_1 , L_2 e L_3), correspondem a esta classe de solos, segundo a COMISSÃO DE SOLOS DO SERV. NAC. DE PESQ. AGRON. (1960), às seguintes unidades de mapeamento: Latossol Roxo com inclusão de Terra Roxa Estruturada na amostra L_1 , predominância de Latossol Roxo na amostra L_2 e Latossol Vermelho Escuro-orto na amostra L_3 . A Tabela 1 apresenta as principais características destes solos, e as Figuras 6, 7 e 8 mostram a localização dos mesmos no Estado de São Paulo.

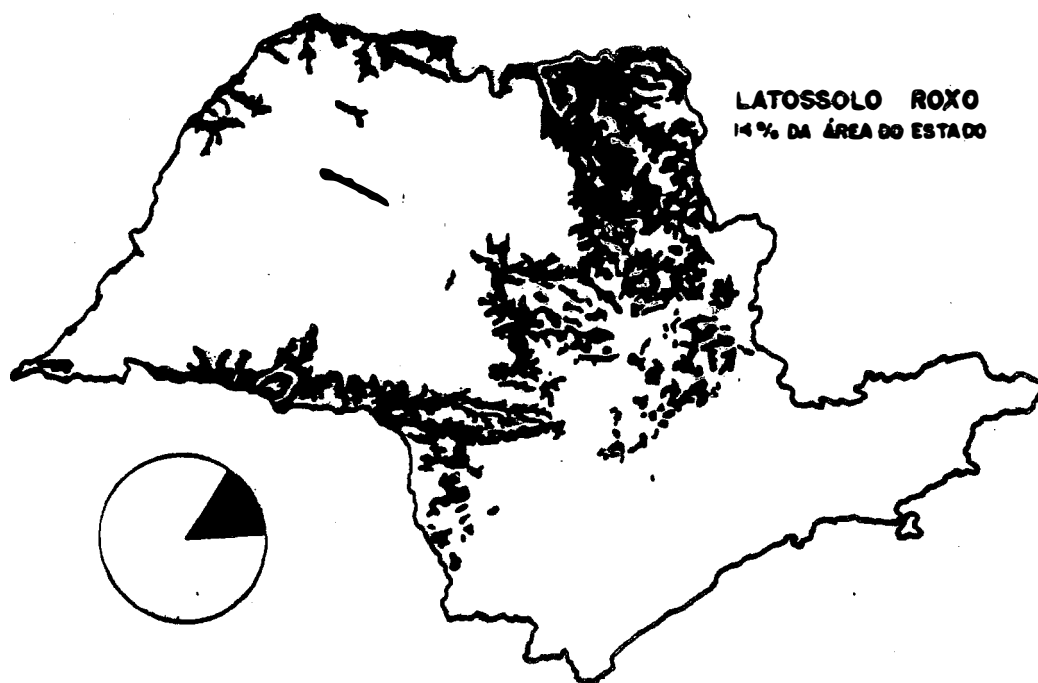


Figura 6 - Mapa esquemático mostrando a localização do Latossolo Roxo no Estado de São Paulo, segundo COMISSÃO DE SOLOS DO SERV. NAC. DE PESQ. AGR. (1960).

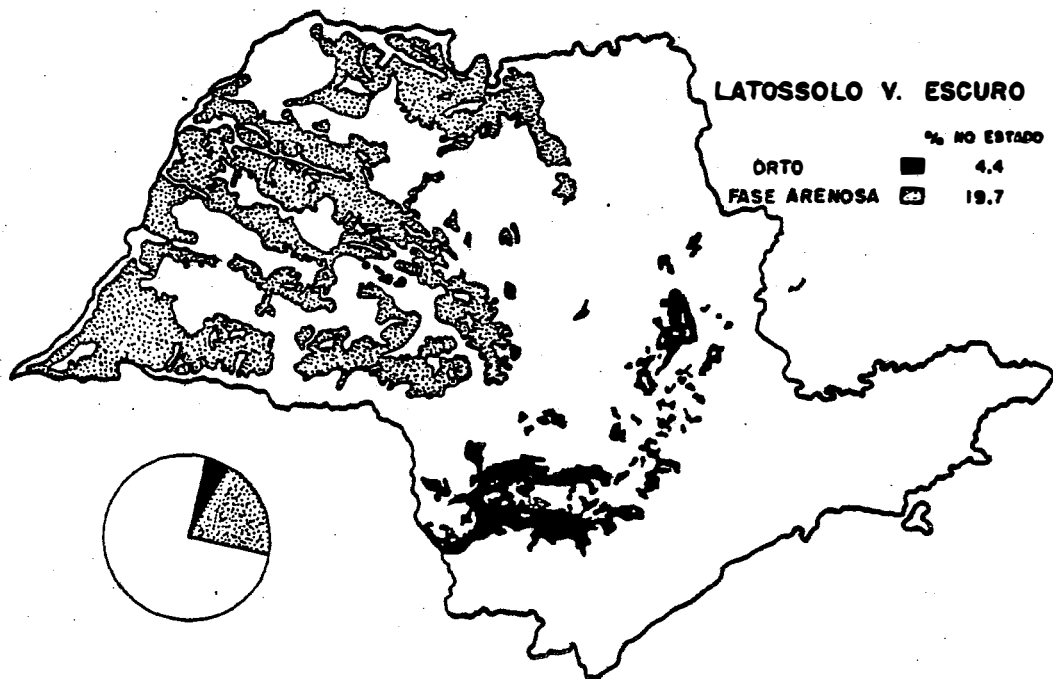


Figura 7 - Mapa esquemático mostrando a localização do Latossolo Vermelho Escuro no Estado de São Paulo, segundo COMISSÃO DE SOLOS DO SERV. NAC. DE PESQ. AGRON. (1960).

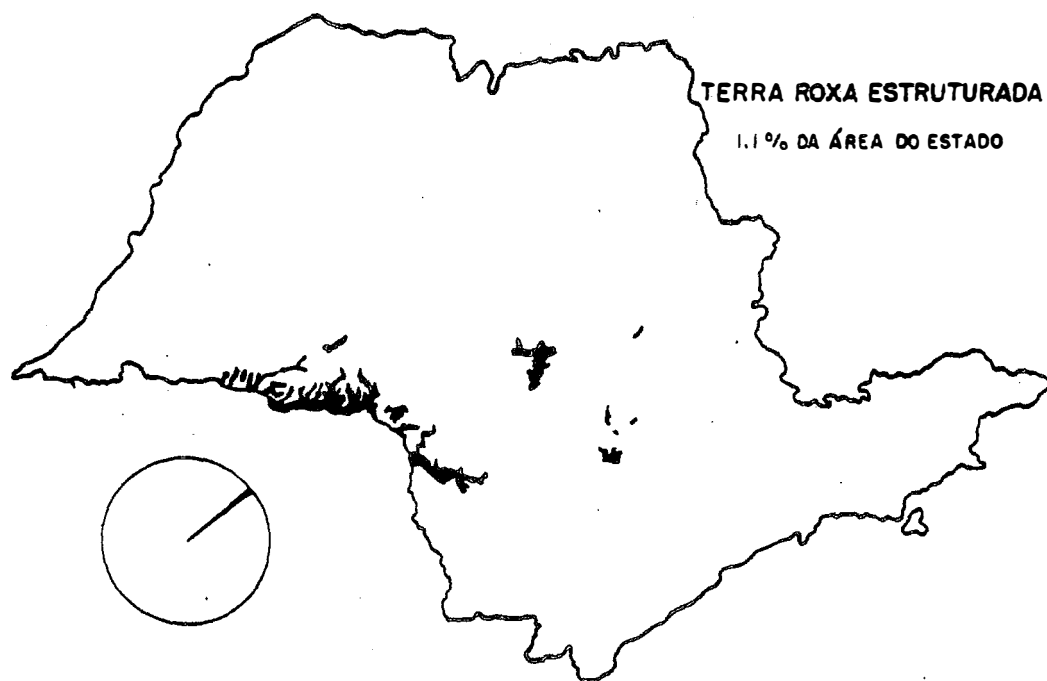


Figura 8 - Mapa esquemático mostrando a localização da Terra Roxa Estruturada no Estado de São Paulo, segundo a COMISSÃO DE SOLOS DO SERV. NAC. DE PESQ. AGRON. (1960).

3.1.3 - Material fotográfico

3.1.3.1 - Fotografias aéreas - ano 1940

Foram utilizadas fotografias aéreas verticais provenientes do recobrimento realizada pela Cruzeiro do Sul. Estas fotografias se encontram à disposição na Secretaria do Planejamento do Estado de São Paulo (SEPLAN). Apresentam as seguintes características:

- a) escala aproximada 1:20.000;
- b) formato 18 cm x 18 cm;
- c) área coberta por fotografia: cerca de 12,96 km²;
- d) base: papel fotográfico preto e branco;
- e) recobrimento longitudinal: 60% (na faixa de vôo);
- f) recobrimento lateral: 30% (entre faixas adjacentes).

3.1.3.2 - Fotografias aéreas - ano 1962

Foram utilizadas fotografias aéreas verticais provenientes do levantamento executado pela Cruzeiro do Sul, para o Instituto Agrônomo de Campinas. Apresentam as seguintes características:

- a) escala aproximada 1:25.000;
- b) formato 23 cm x 23 cm;
- c) área coberta por fotografia: cerca de 33 km²;

As demais características são as mesmas já descritas

no item anterior.

3.1.3.3 - Fotografias aéreas - ano 1972

A terceira cobertura utilizada, foi executada pela VASP Aerofotogrametria S.A., hoje Terra-Foto Atividades de Aerolevantamentos S.A., para o IBC-GERCA (Instituto Brasileiro do Café, Grupo Executivo de Racionalização da Cafeicultura).

Estas fotografias apresentam as mesmas características descritas no item anterior para o levantamento de 1962.

3.1.3.4 - Fotografias aéreas - ano 1978

Estas fotografias pertencem ao levantamento fotográfico mais recente da região, e foi executado pela Terra-Foto Atividades de Aerolevantamentos S.A. para a Secretaria do Planejamento do Estado de São Paulo. Suas características são:

- a) escala aproximada 1:35.000;
- b) formato 23 cm x 23 cm;
- c) área coberta por fotografia: cerca de 64,8 km².

As demais características são as mesmas já descritas anteriormente.

3.1.4 - Material de escritório

A visão estereoscópica foi obtida através de um estereoscópio de espelho ZEISS com ocular de três aumentos.

Foram utilizados equipamentos simples de medição e desenho como escalímetro, curvímetro e compasso.

O traçado de informações das diversas imagens foi efetuado sobre folhas transparentes de poliéster estável ("ultra-phan").

3.2 - Métodos

3.2.1 - Seleção das áreas de estudo

Após exame dos mapas pedológicos e selecionadas as classes de solos que seriam estudadas, com auxílio de fotoíndices da região, foram escolhidas as fotografias aéreas de ocorrência das respectivas unidades de solos, e que deveriam, portanto, conter as informações desejadas, segundo o método de "pesquisa lógica" sugerido por RABBEN (1960) e que consta de duas etapas: na primeira é efetuada a observação, coleta de dados, medição e identificação dos objetos registrados nas fotografias aéreas. A segunda envolve indução e ou dedução de informações, que são aplicadas na solução do problema.

3.2.2 - Obtenção dos mapas básicos de drenagem

Por meio de exames estereoscópicos das fotografias selecionadas, foram traçados, sobre papel transparente, os canais de drenagem bem definidos, quer fossem cursos d'água permanentes ou temporários, conforme sugerem STRAHLER (1957), LUEDER (1959) e RAY (1963), e as depressões úmidas, indicadoras do grau de integração segundo LUEDER (1959). Cada conjunto de fotografias foi montado de acordo com o método de "matchlines", descrito pelo SOIL SURVEY STAFF (1962).

Os decalques das redes de drenagem foram feitos conforme a sugestão de RAY (1963), para facilitar certas características da drenagem, como tendências ou modificações do padrão, número e comprimento de rios e tributários, com a eliminação da exuberância de detalhes proporcionada pelas fotografias aéreas.

3.2.3 - Análise das redes de drenagem

De acordo com BURINGH (1960), o estudo realizado foi do tipo "análise de elementos". Os elementos analisados referem-se às características descritivas e quantitativas 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 da amos-

tra e de seu perímetro, foram calculados os valores de densidade de drenagem, frequência de rios, razão de textura e textura topográfica.

A caracterização quantitativa dos padrões de drenagem foi restringida aos elementos disponíveis em amostras circulares, conforme método desenvolvido por RAY e FISCHER (1960) e ampliado por SOUZA (1975).

A densidade de drenagem (D_c) de cada amostra circular, foi obtida segundo adaptação da fórmula de HORTON (1945) por RAY e FISCHER (1960), e é a seguinte:

$$D_c = \frac{L_t}{A} ,$$

onde L_t é o comprimento total de rios e A é a área da amostra circular.

A frequência de rios (F_c) foi calculada segundo a adaptação de SOUZA (1975) da fórmula de HORTON (1945):

$$F_c = \frac{N}{A} ,$$

onde N é o número total de rios e A é a área da amostra circular.

A razão de textura (T_c) também foi calculada por SOUZA (1975), que adaptou a definição de SMITH (1950) modificada por FRANÇA (1968):

$$T_c = \frac{N}{P} ,$$

onde N é o número total de rios e P é o perímetro da amostra circular.

Com base na razão de textura das amostras circulares, as unidades de solo estudadas foram classificadas quanto à textura topográfica, segundo a proposição de SMITH (1950), adaptada por FRANÇA (1968) e indicada na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros para classificação da textura topográfica com base nos valores de textura média (FRANÇA, 1968).

CLASSE DE TEXTURA TOPOGRÁFICA	T_m (SMITH, 1950) PERÍMETRO EM MILHAS	T_m (FRANÇA, 1968) PERÍMETRO EM km
Grosseira	abaixo de 4	abaixo de 2,5
Média	4 a 10	2,5 a 6,2
Fina	acima de 10	acima de 6,2

Devido à pequena diferença entre as escalas das fotografias utilizadas, a amostragem das redes de drenagem foi executada utilizando-se círculos de área de 10 km^2 , de acordo com FRANÇA (1968) e DEMÉTRIO (1977).

Neste trabalho, nas fotografias aéreas selecionadas, foram estudadas 3 amostras circulares dentro de cada época, representativas das redes de drenagem de duas classes de solo.

Para estabelecer a integração das informações fornecidas pelas fotografias aéreas nas diferentes épocas, tomou-se como

base a área abrangida pelo levantamento de 1940, a qual limitou a tomada das amostras circulares nas épocas sucessivas.

3.2.4 - Análise estatística

3.2.4.1 - Teste de Friedman

Os dados obtidos foram analisados segundo o teste de Friedman, não paramétrico, com o objetivo de se comparar as fotografias aéreas obtidas em épocas diferentes, utilizadas neste trabalho.

Este teste, segundo CAMPOS (1976), é um competidor direto da análise de variância para o delineamento em blocos casualizados, do campo paramétrico, onde o modelo matemático exige determinadas hipóteses como a normalidade dos dados, homogeneidade de variâncias de tratamentos, erros independentes e efeitos aditivos, que nem sempre são satisfeitos. Quando estas exigências são satisfeitas os testes paramétricos serão mais eficientes que os não paramétricos.

O teste de Friedman é aplicado às ordens de k observações dentro de cada bloco (amostra) onde se admite que os k tratamentos (fotografias de anos diferentes) estão sujeitos às mesmas condições. Através deste teste pode-se verificar se k tratamentos são provenientes de uma mesma população ou de populações análogas, ou se provêm de populações distintas.

As hipóteses deste teste são:

- os n grupos de k observações são independentes entre si;
- as k populações são aproximadamente da mesma forma e contínuas.

No caso de populações não contínuas, o teste é apenas aproximado.

Os dados obtidos foram analisados segundo este teste, pois, satisfazem as duas pressuposições do mesmo.

As hipóteses consideradas foram:

$$H_0: A_1 = A_2 = A_3 = A_4 \quad ,$$

onde: A_1 = fotografias obtidas em 1940;

A_2 = fotografias obtidas em 1962;

A_3 = fotografias obtidas em 1972;

A_4 = fotografias obtidas em 1978.

H_a : As fotografias aéreas obtidas em pelo menos duas épocas diferentes, diferem entre si quanto aos índices de drenagem.

Em cada região considerada, para cada característica procedeu-se à classificação conjunta das quatro observações, dando ordem 1 ao menor valor e ordem 4 ao maior deles.

Em seguida, para a aplicação do teste calculou-se a estatística:

$$\chi^2_r = \frac{12}{nk(k+1)} \sum_{i=1}^k R_i^2 - 3n(k+1) \quad ,$$

onde: $n = 3$;

$k = 4$;

R_i = soma das ordens atribuídas aos dados do tratamento i , nos 3 blocos (regiões).

Se o valor χ_r^2 for maior ou igual a um valor χ_0^2 (vide Tabela 22, p. 333, CAMPOS, 1976), a um nível α de significância, rejeita-se H_0 (hipótese de nulidade) em favor de H_a (hipótese alternativa).

3.2.4.2 - Comparações múltiplas

No teste de Friedman, quando a hipótese H_0 é rejeitada em favor de H_a , admite-se que pelo menos dois tratamentos diferem entre si. A finalidade das comparações múltiplas é localizar onde existem as diferenças significativas entre pares de tratamentos.

São considerados os $\frac{k(k-1)}{2}$ pares de tratamentos e determinada, para cada par, a diferença:

$$|R_i - R_j| \quad \begin{array}{l} (i=1,2,\dots,k-1) \\ (j=i+1,\dots,k) \end{array}$$

onde, R_i e R_j representam as somas das ordens atribuídas, respectivamente, aos tratamentos i e j nos n blocos.

A uma taxa de erro experimental α , admite-se:

$$t_i \neq t_j \quad \text{se} \quad |R_i - R_j| \geq \Delta_1$$

ou seja, a diferença mínima significativa, a uma taxa α é Δ_1 , isto é:

$$P\{|R_i - R_j| \geq \Delta_1\} = \alpha \quad ,$$

onde Δ_1 é um valor tabelado (vide tabela 24, p. 335 de CAMPOS, 1976).

3.2.4.3 - Médias, variância e estimativa por intervalo

Além do teste de Friedman, foram determinadas as médias, a variância e estimativa por intervalo, dos índices de drenagem estudados. Isto foi feito como uma complementação da análise estatística.

As fórmulas utilizadas foram:

- média aritmética $\bar{m} = \frac{\sum x}{n}$;
- variância $s^2 = \frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n-1}$;
- erro padrão da média $s(\bar{m}) = \frac{s}{\sqrt{n}}$;
- estimativa por intervalo $\bar{m} \pm \frac{s}{\sqrt{n}}$.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Características Descritivas dos Padrões de Drenagem

A Tabela 3 fornece um resumo das características dos padrões de drenagem das unidades de solos estudadas.

No presente caso, tanto o tipo ou modelo segundo PARVIS (1950), como as características descritivas do padrão, propostas por LUEDER (1959), evidenciaram diferenças entre os solos estudados. Contudo, como já observaram HORTON (1945), SMITH (1950), STRAHLER (1957), e nas condições brasileiras, FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), LEÃO (1972), GEVAERD (1974), SOUZA (1975), KOFFLER (1976a), FREIRE (1977), DEMÉTRIO (1977), CARVALHO (1977), SILVA (1977), NOGUEIRA (1979) e POLITANO (1980), essa caracterização é muito subjetiva, devendo ser completada com índices numéricos, mais consistentes e reproduzíveis.

Tabela 3 - Características descritivas das redes de drenagem das duas classes de solo, segundo LUELER (1959), tipo ou modelo, segundo PARVIS (1950) e anomalias, segundo RICCI e PETRI (1965).

CARACTERÍSTICAS DESCRITIVAS	SOLOS DA ÁREA A (B textural)	SOLOS DA ÁREA B (B latossólico)
Grau de integração	alto	médio com ocorrência de baixadas úmidas
Densidade	alta	baixa
Grau de uniformidade	uniforme	pouco uniforme
Orientação	pouco orientado	pouco orientado
Grau de controle	moderado	baixo
Ângulo de junção	retos e localmente agudos	Aproximadamente retos
Angularidade	moderada	ausente
Tipos ou modelo	dendrítico	subparalelo
Anomalias	variações locais na densidade	variação na frequência de baixadas úmidas

4.2 - Análise das Amostras Circulares das Fotografias Aéreas Verticais Obtidas em 1940

4.2.1 - Características das amostras circulares

As amostras circulares de 10 km^2 na escala 1:20.000, que representam as redes de drenagem das classes de solo estudadas, foram obtidas segundo o trabalho de FRANÇA (1968). As Figuras 9, 10, 11, 12, 13 e 14 reproduzem estas redes e suas características dimensionais estão na Tabela 3.

Como no presente trabalho procurou-se analisar estatisticamente tais diferenças de caracterização, foram aproveitadas as facilidades proporcionadas pela amostragem circular para a obtenção das características quantitativas das redes de drenagem.

A análise da Tabela 4 mostra que existem diferenças marcantes entre os solos da Área A (solos com B textural) e os da Área B (solos com B latossólico), no que tange aos comprimentos das redes e número de rios.

4.2.2 - Características quantitativas dos padrões de drenagem

A Tabela 5 apresenta as características quantitativas obtidas pela relação entre o número e comprimento total de rios e a área das amostras circulares e do número de rios com o perímetro dessas amostras, nas fotografias aéreas de 1940, segundo STRALLER (1964).

Tabela 4 - Características dimensionais das amostras circulares na escala 1:20.000, das fotografias obtidas em 1940, representativas das classes de solo estudadas. Área = 10 km²; Perímetro = 11,21 km.

CLASSES DE SOLO	Amostras circulares	Comprimento da rede (km)	Número de rios	Rios de 1. ^a ordem	Rios de 2. ^a ordem
Solos com B textural	P ₁	40,60	122	122	43
	P ₂	43,60	165	165	50
	P ₃	40,20	188	188	52
Solos com B latossólico	L ₁	25,00	67	67	14
	L ₂	19,60	61	61	19
	L ₃	15,80	40	40	12

Tabela 5 - Características quantitativas do padrão de drenagem das amostras circulares das fotografias obtidas em 1940, representativas das classes de solo estudadas.

CARACTERÍSTICAS QUANTITATIVAS	AMOSTRAS CIRCULARES					
	Solos com B textural		Solos com B latossólico			
	P ₁	P ₂	P ₃	L ₁	L ₂	L ₃
Densidade de drenagem (Dc) média	4,06	4,36	5,02	2,50	1,96	1,58
	4,48 ± 0,28			2,00 ± 0,27		
	s ² = 0,2412			s ² = 0,2137		
Frequência de rios (Fc) média	12,20	16,50	18,80	6,60	6,10	4,00
	15,83 ± 1,93			5,60 ± 0,82		
	s ² = 11,22			s ² = 2,01		
Razão de textura (Tc) média	10,88	14,72	16,77	5,97	5,44	3,57
	14,12 ± 1,73			4,99 ± 0,73		
	s ² = 8,94			s ² = 1,58		

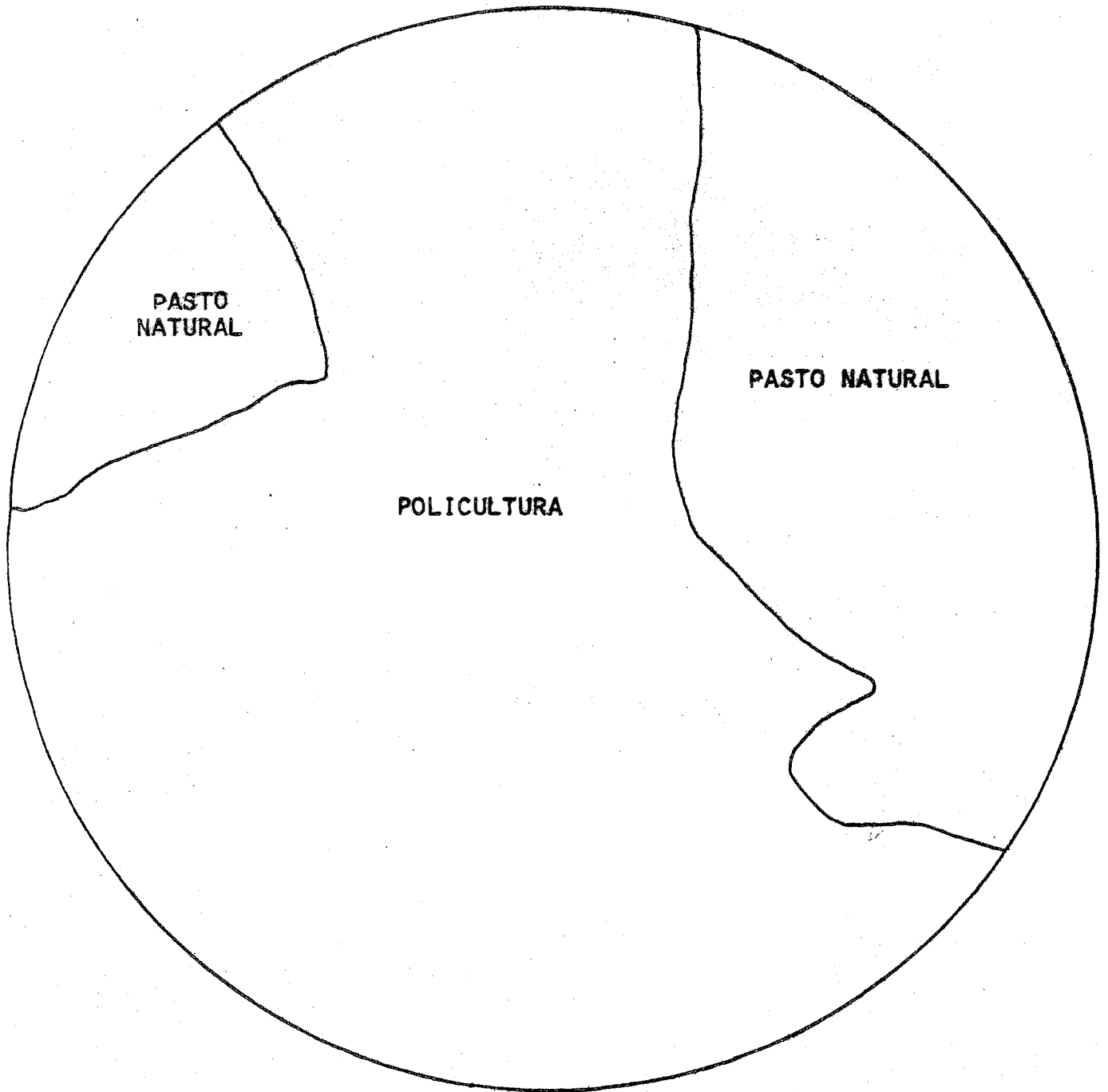


Figura 9a - Uso da terra da amostra circular P_1 , no ano de 1940.

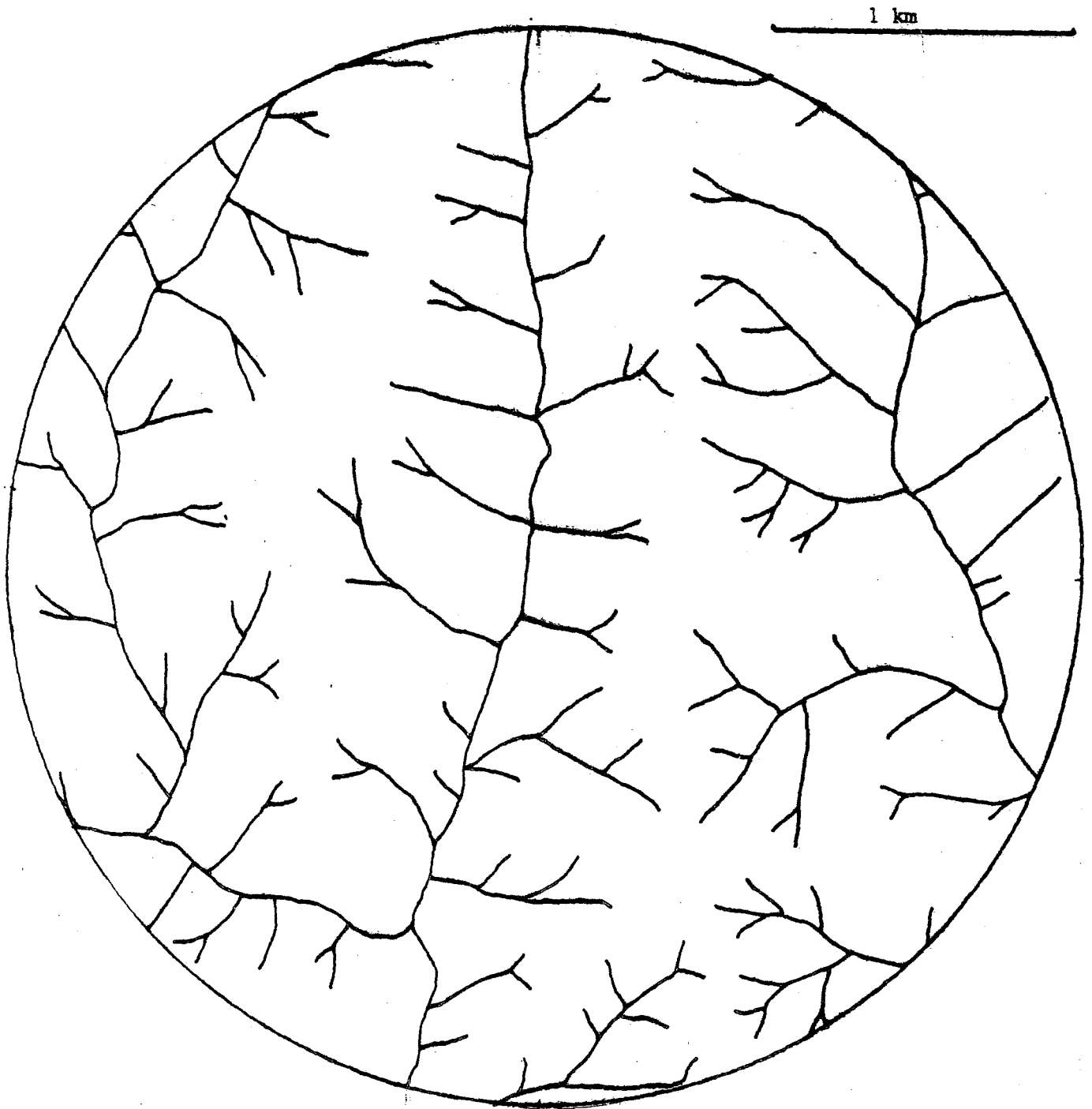


Figura 9 - Amostra circular P_1 de 1940 (10 km^2) da rede de drenagem em solos da área A (horizonte B textural). Escala 1:20.000.

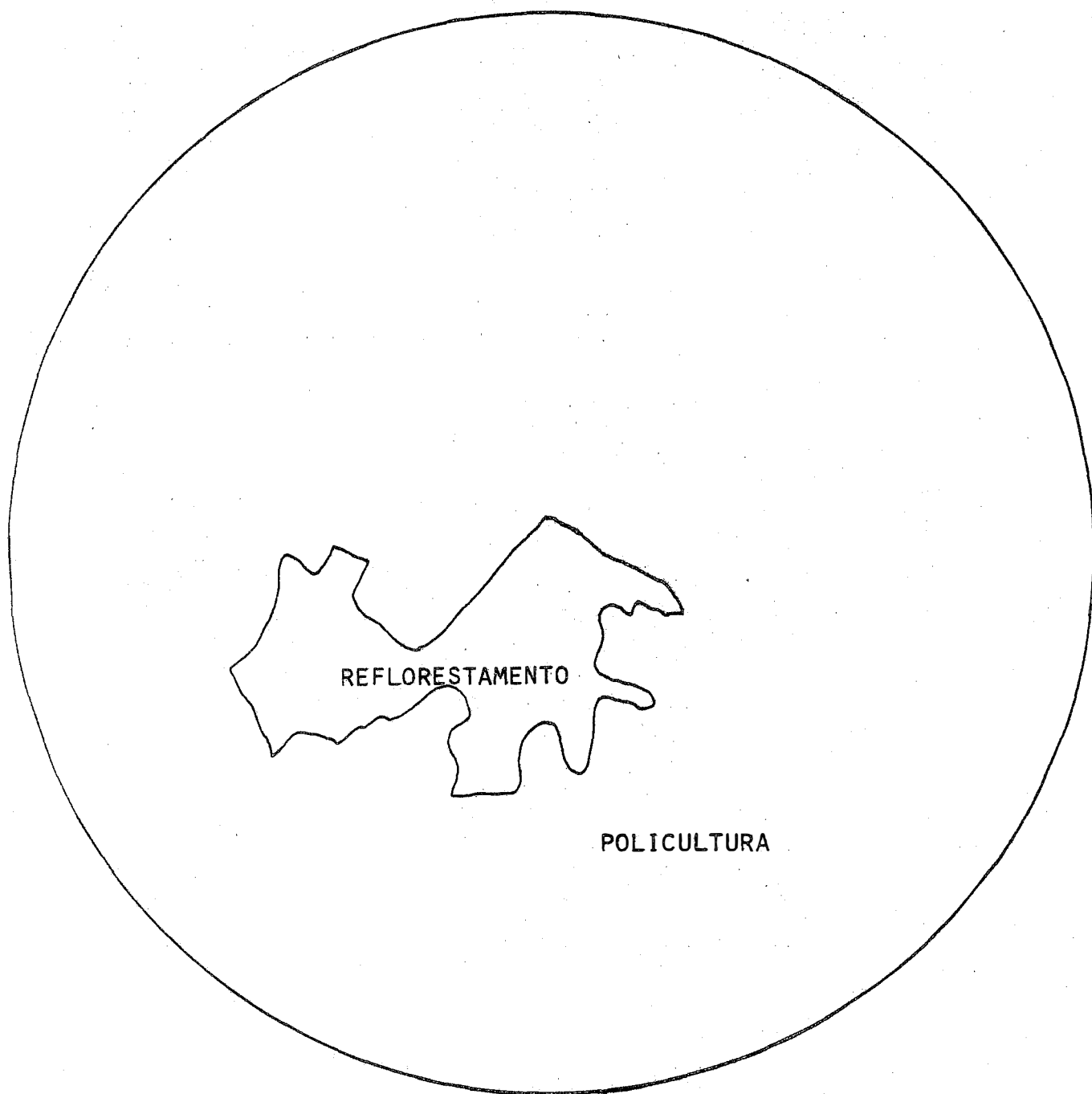


Figura 10a - Uso da terra da amostra circular P_2 , no ano de 1940.

1 km

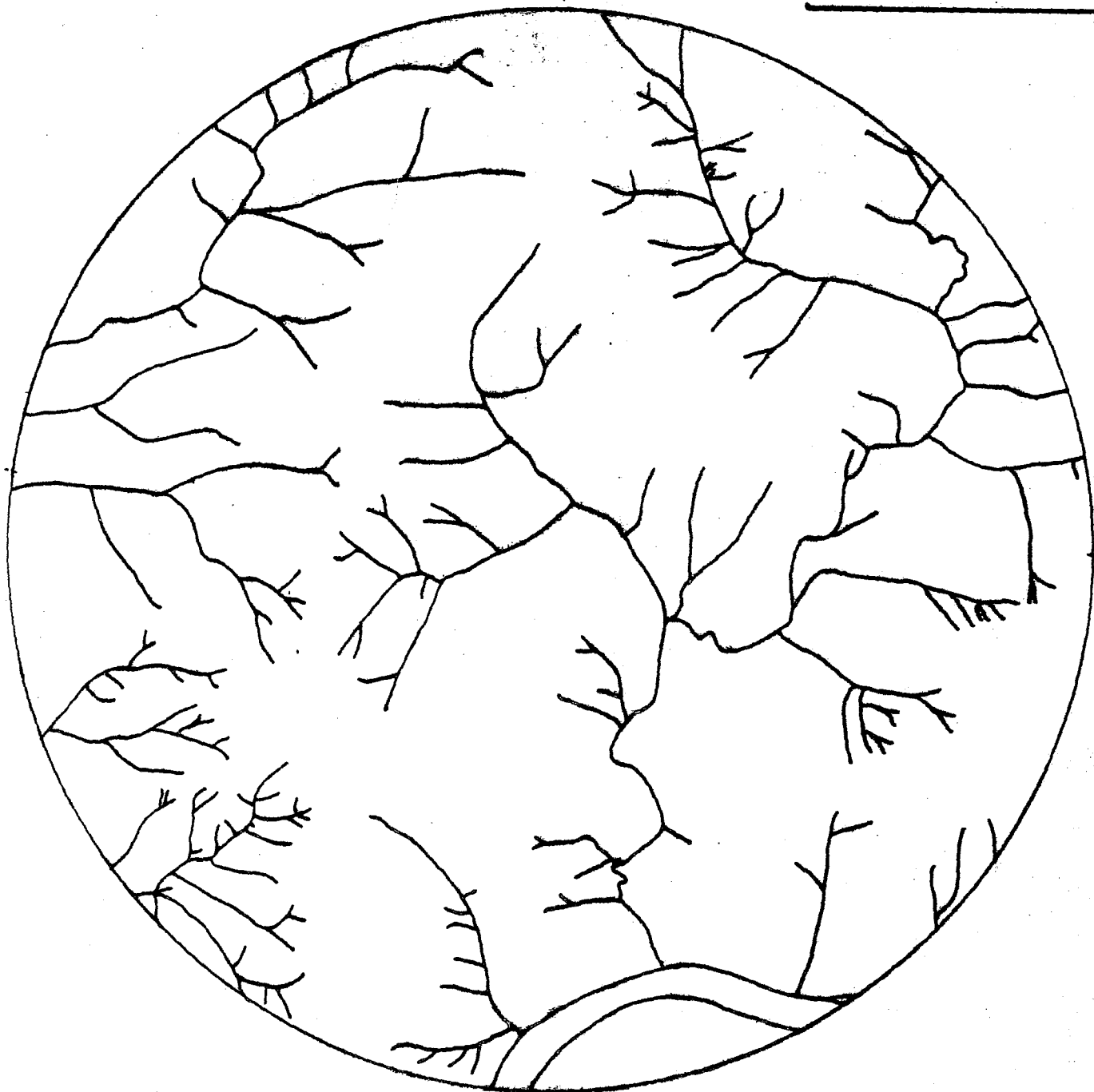


Figura 10 - Amostra circular P_2 de 1940 (10 km^2) da rede de drenagem em solos da área A (horizonte B textural). Escala 1:20.000.

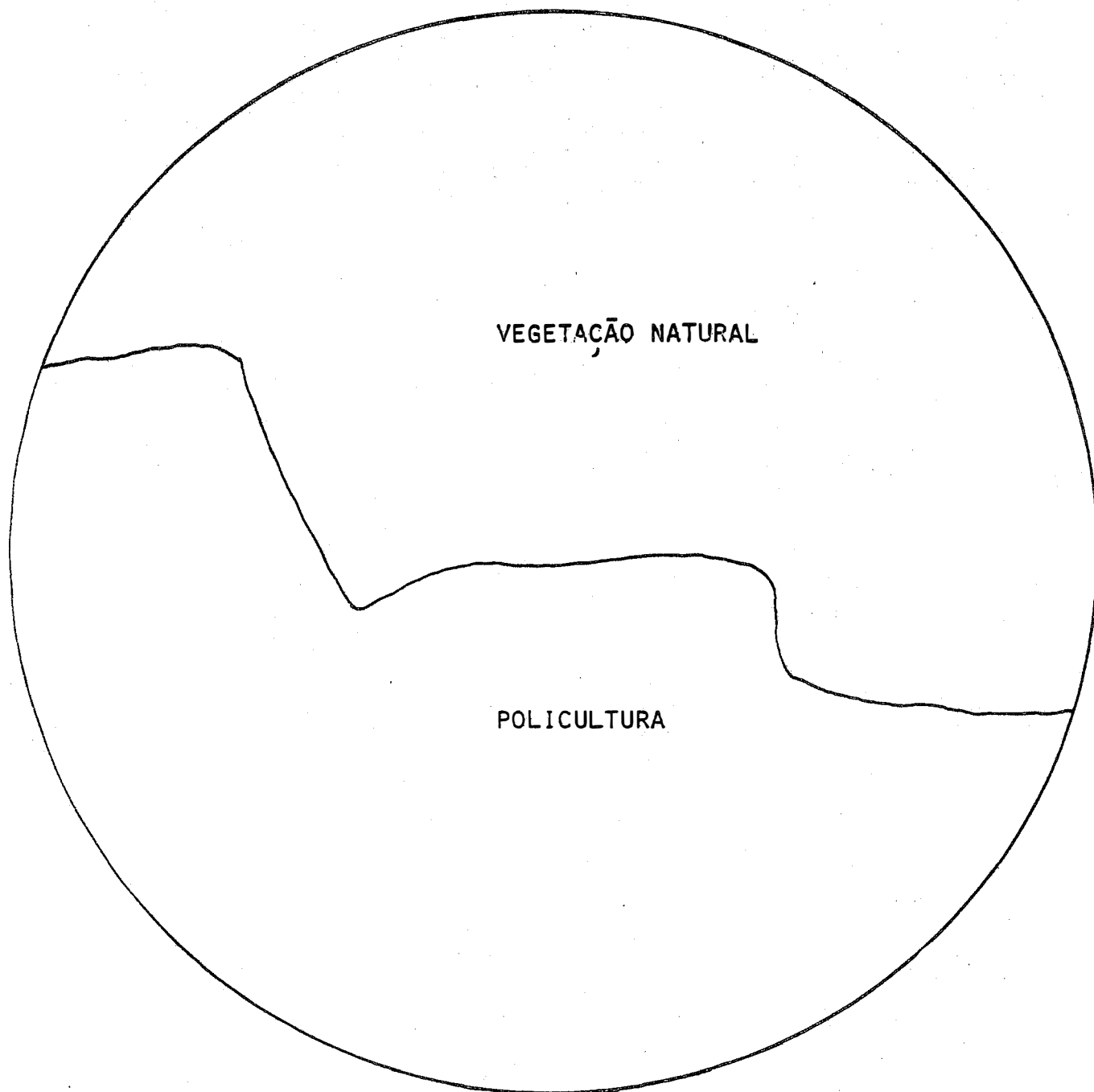


Figura 11a - Uso da terra da amostra circular P_3 , no ano de 1940.

1 km

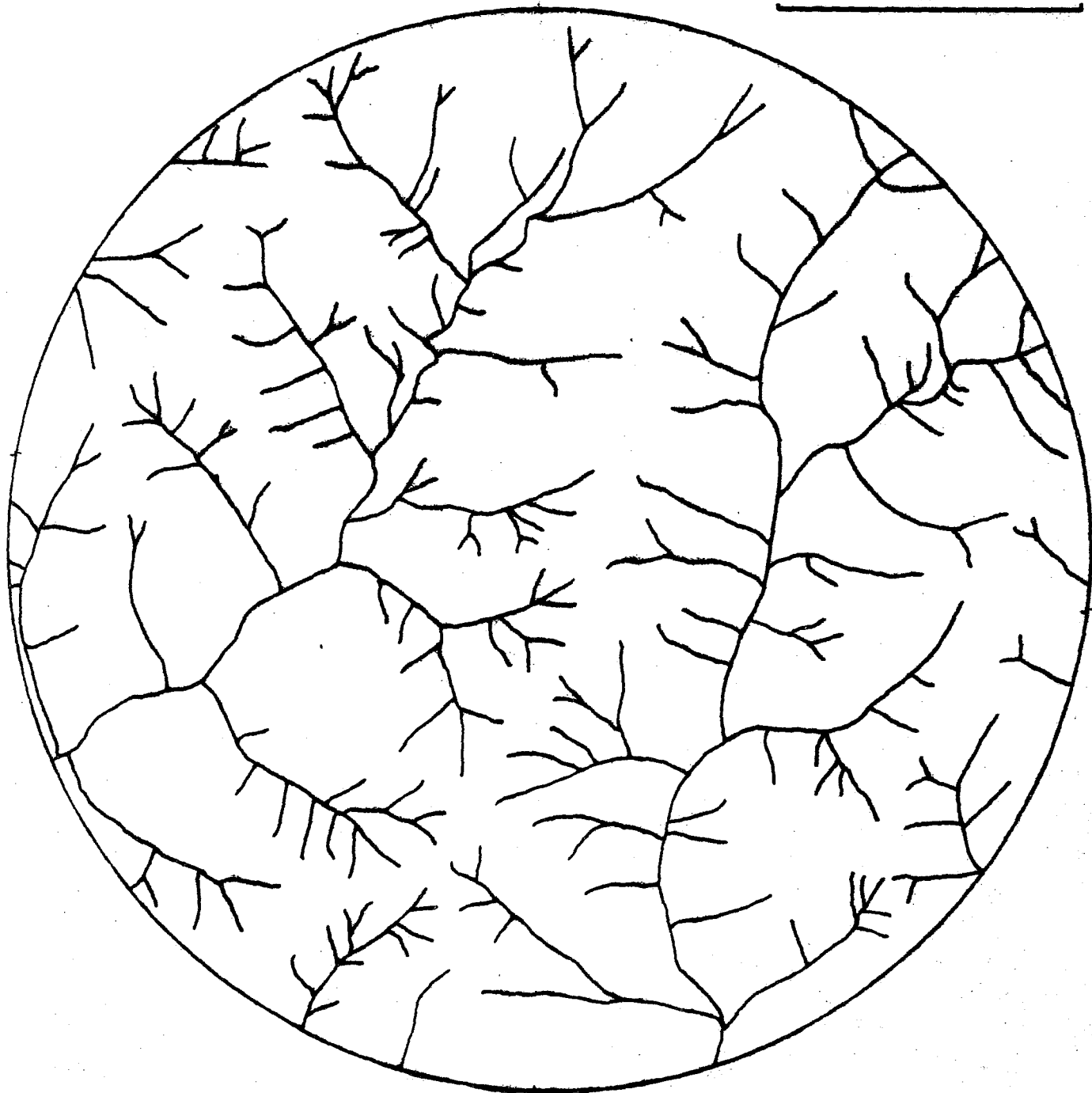


Figura 11 - Amostra circular P_3 de 1940 (10 km^2) da rede de drenagem em solos da área A (horizonte B textural). Escala 1:20.000.

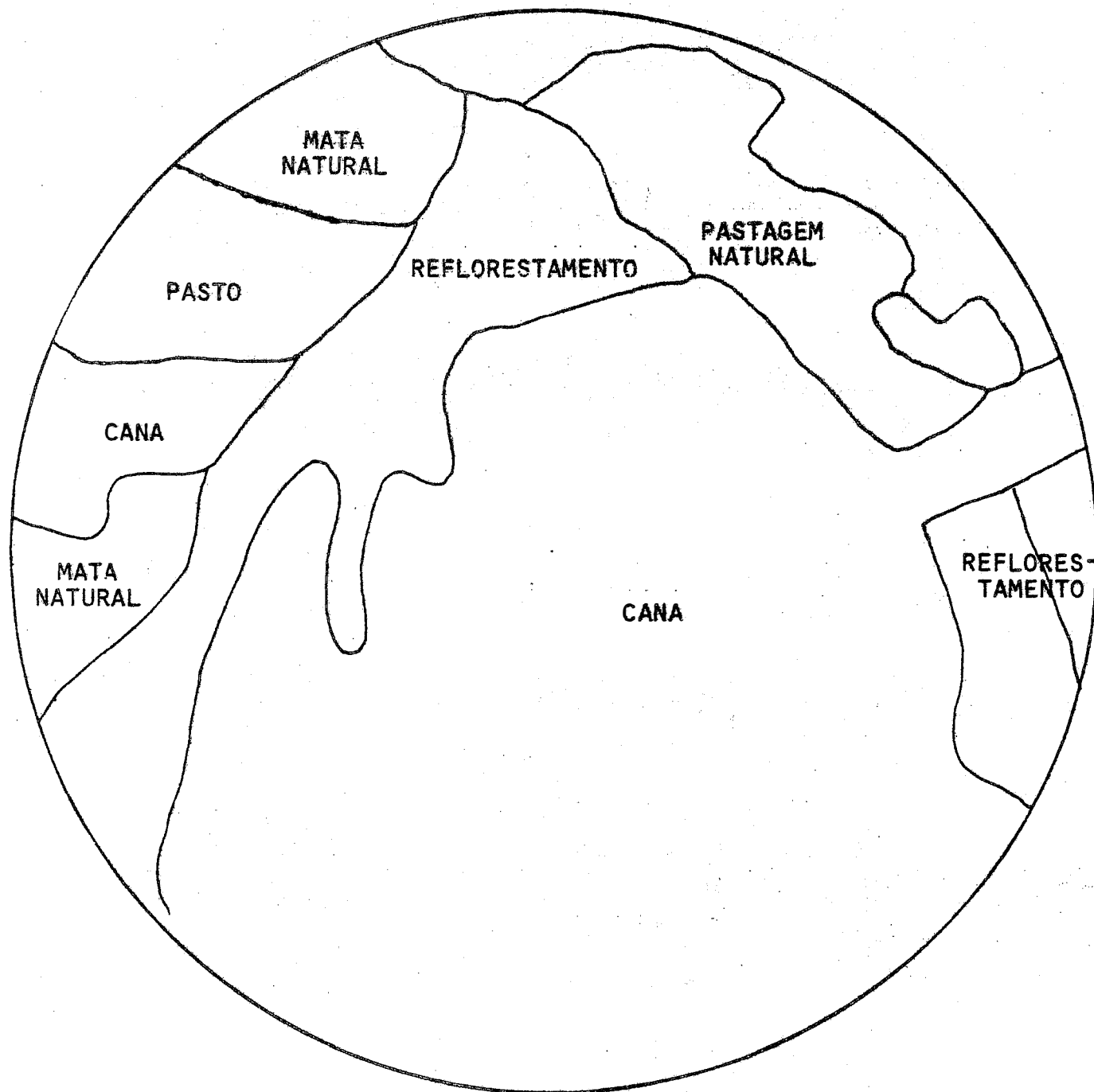


Figura 12a - Uso da terra da amostra circular L_1 , no ano de 1940.

1 km

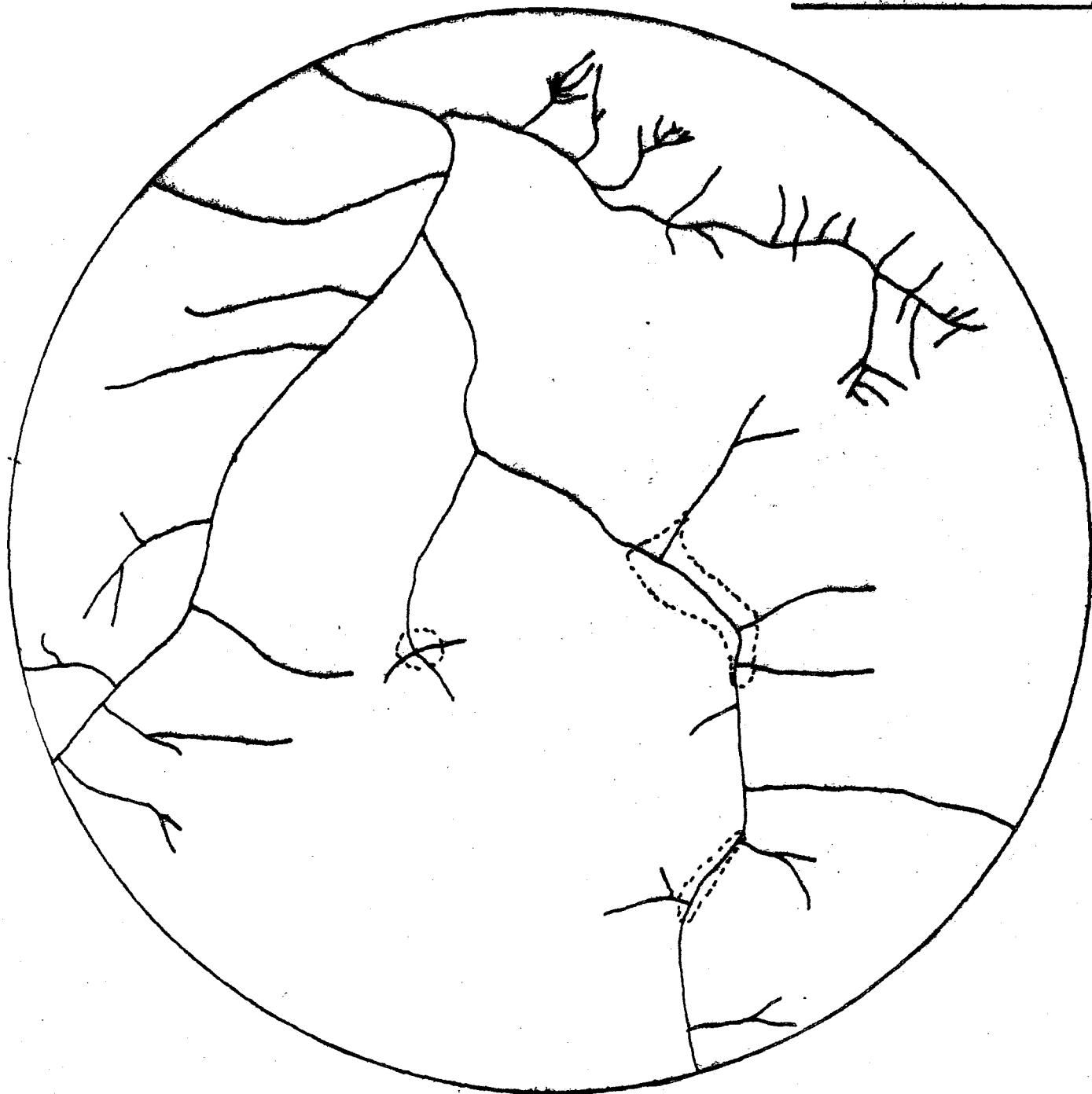


Figura 12 - Amostra circular L_1 de 1940 (10 km^2) da rede de drenagem em solos da área B (horizonte B latossólico). Escala 1:20.000.

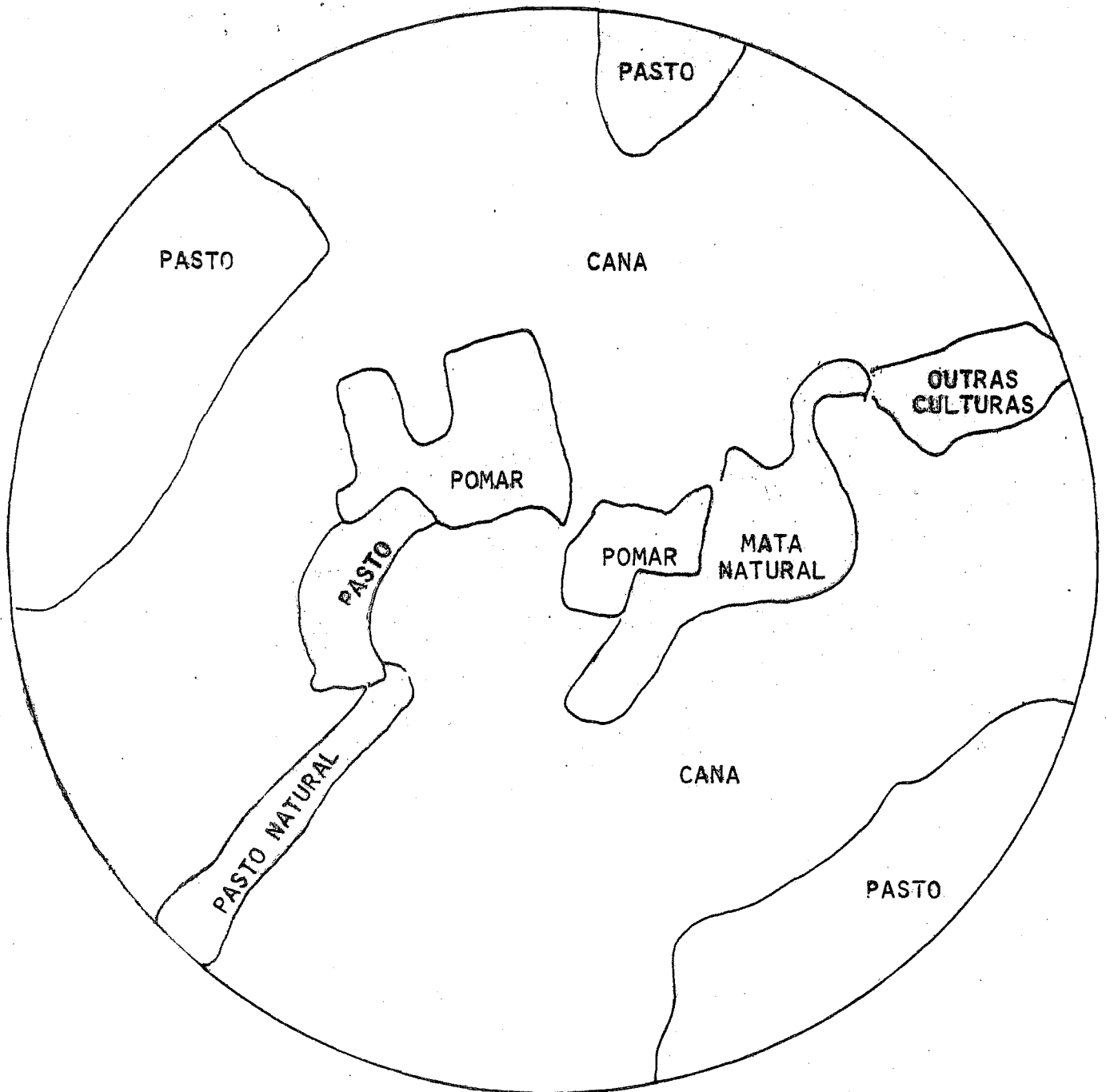


Figura 12a - Uso da terra da amostra circular L₂, no ano de 1940.

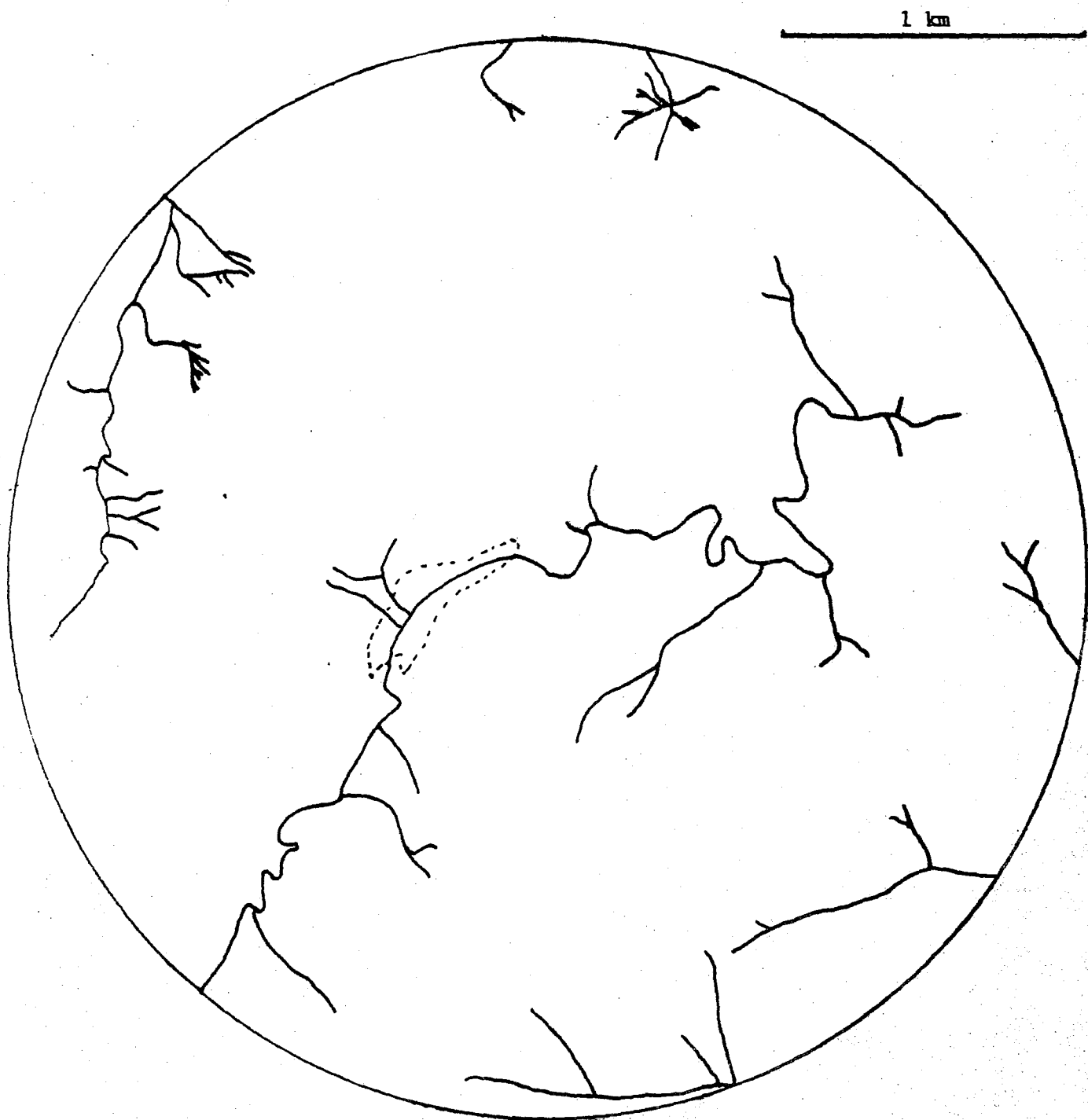


Figura 13 - Amostra circular L_2 de 1940 (10 km^2) da rede de drenagem em solos da área B (horizonte B latossólico). Escala 1:20.000.

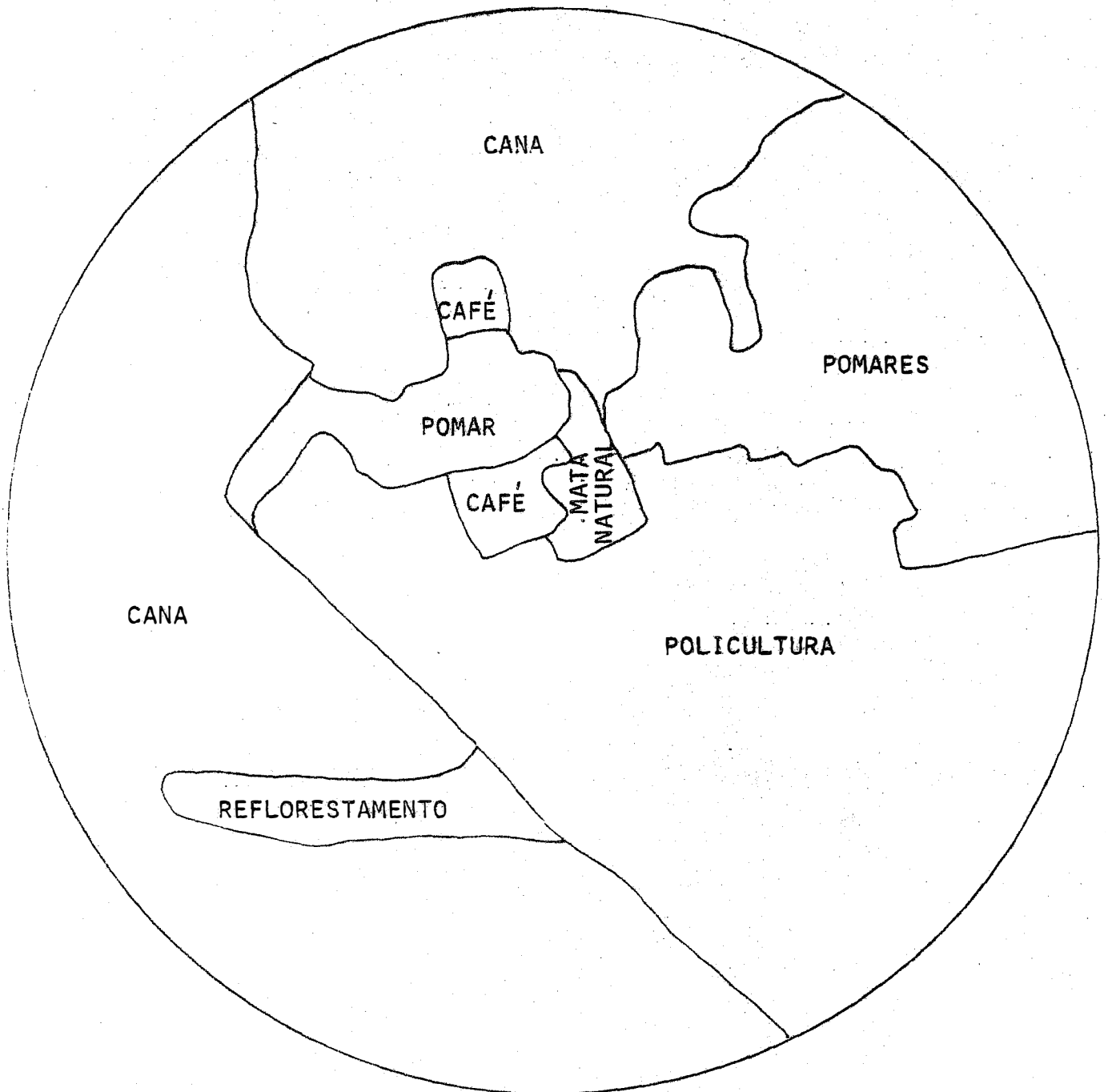


Figura 14a - Uso da terra da amostra circular L₃, no ano de 1940.

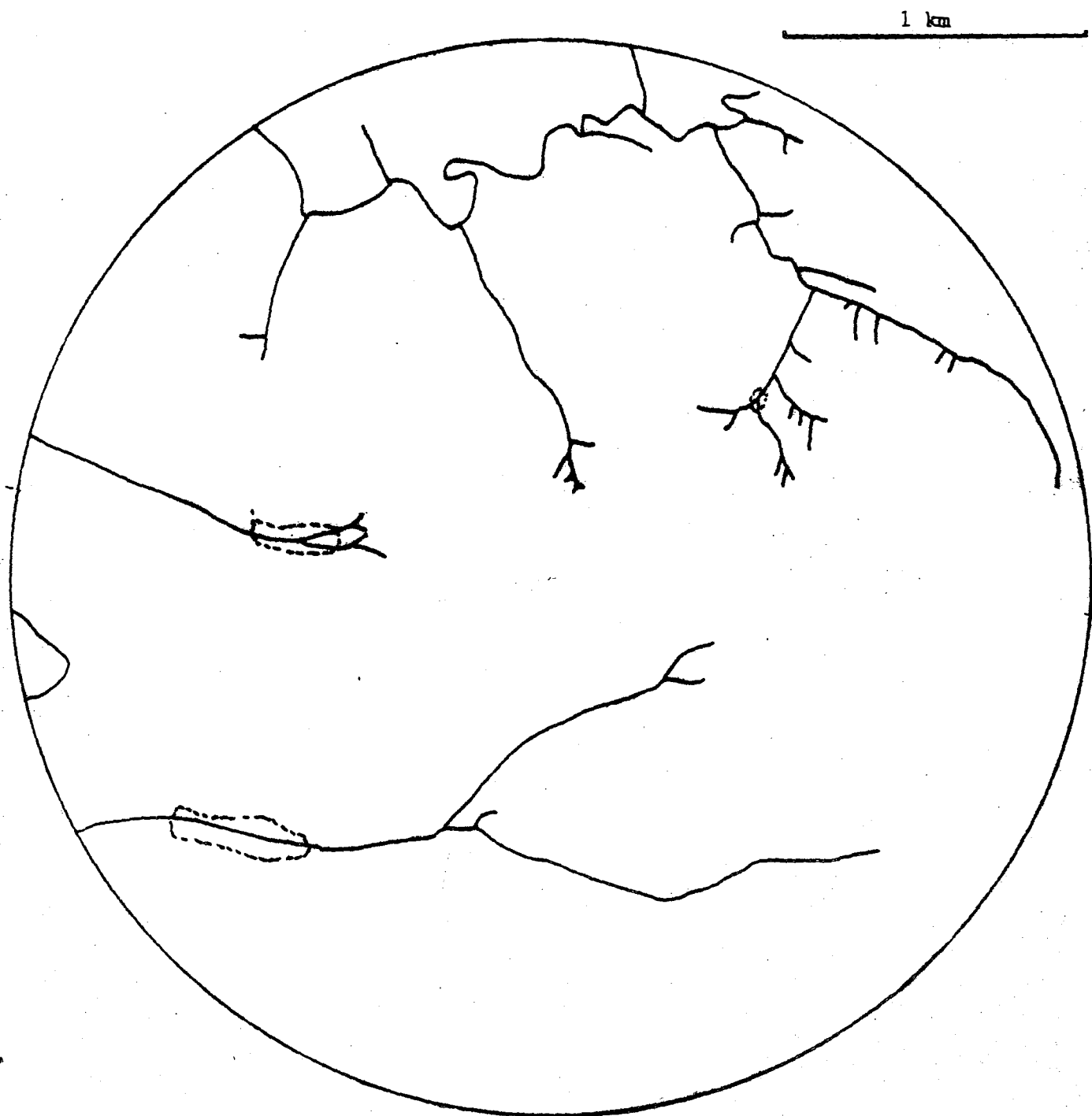


Figura 14 - Amostra circular L_3 de 1940 (10 km^2) da rede de drenagem em solos da área B (horizonte B latossólico). Escala 1:20.000.

Os índices numéricos obtidos em amostras circulares servem para diferenciar os solos estudados, concordando com os resultados de SOUZA (1975).

No entanto, as afirmativas de HORTON (1945) e STRAHLER (1964), de que haveria necessidade de utilizar dois índices, a densidade de drenagem e a frequência de rios conjuntamente, não foi confirmada, pois quaisquer dessas características, tomadas isoladamente, serve para diferenciar os solos estudados.

A razão de textura média mostrou ser um bom índice, concordando com as observações de SOUZA (1975) e KOFFLER (1976a), autores que estenderam a determinação deste índice às amostras circulares, utilizado posteriormente por DEMÉTRIO (1977), NOGUEIRA (1979) e POLITANO (1980).

4.3 - Análise das Amostras Circulares das Fotografias Aéreas Verticais Obtidas em 1962

4.3.1 - Características das amostras circulares

As amostras circulares de 10 km^2 na escala 1:25.000, que representam as redes de drenagem das classes de solo estudadas, estão representadas pelas Figuras 15, 16, 17, 18, 19 e 20 e suas características dimensionais estão na Tabela 6. As mesmas considerações feitas anteriormente para as amostras circulares obtidas das fotografias aéreas de 1940 são válidas também para as amostras de 1962.

Tabela 6 - Características dimensionais das amostras circulares na escala 1:25.000, das fotografias aéreas obtidas em 1962, representativas das classes de solo estudadas.

CLASSES DE SOLO	Amostras circulares	Comprimento da rede (km)	Número de rios	Rios de 1. ^a ordem	Rios de 2. ^a ordem
Solos com B textural	P ₁	40,25	134	134	36
	P ₂	48,50	179	179	53
	P ₃	50,75	194	194	63
Solos com B latossólico	L ₁	16,75	20	20	4
	L ₂	17,25	32	32	9
	L ₃	11,75	12	12	5

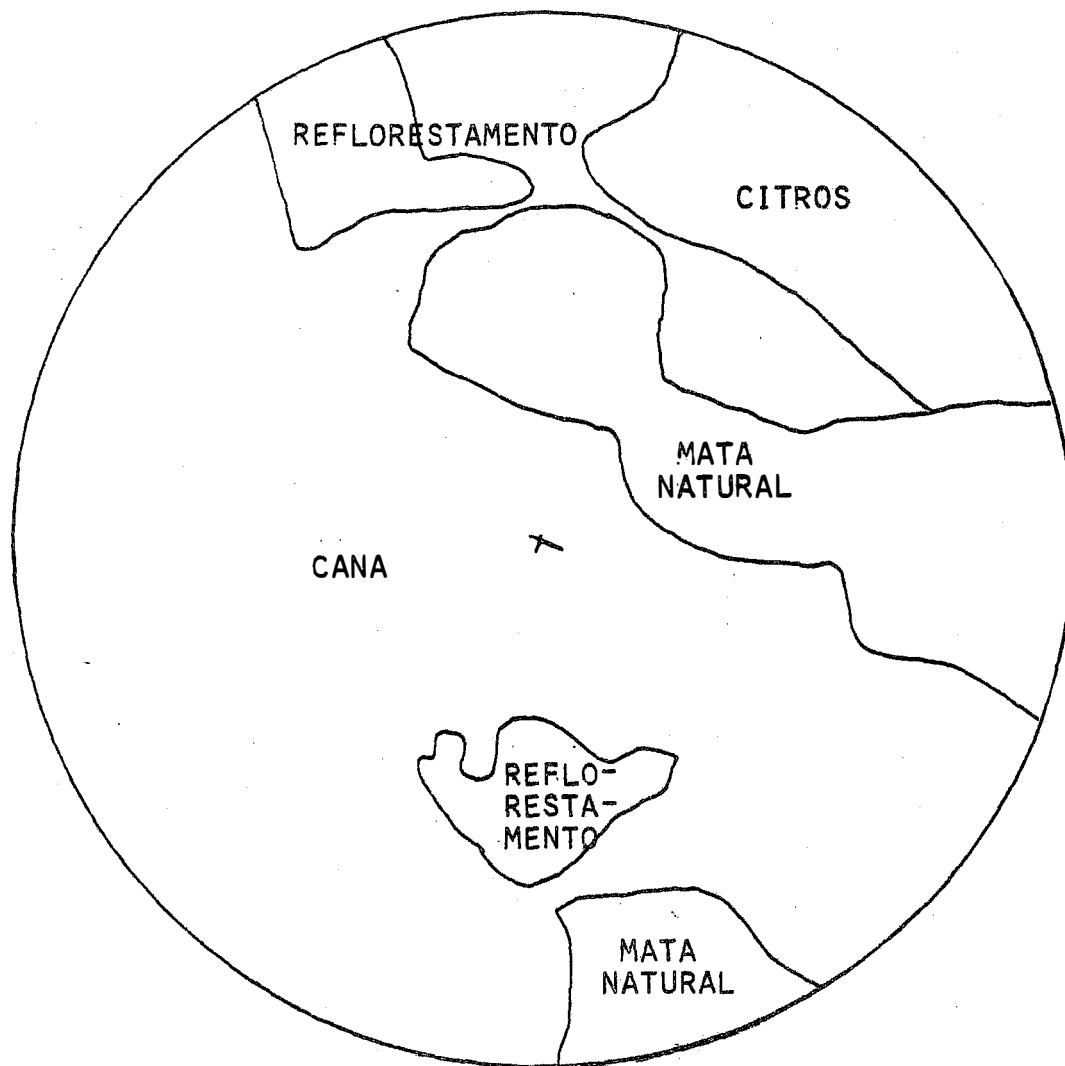


Figura 15a - Uso da terra da amostra circular P_1 , no ano de 1962.

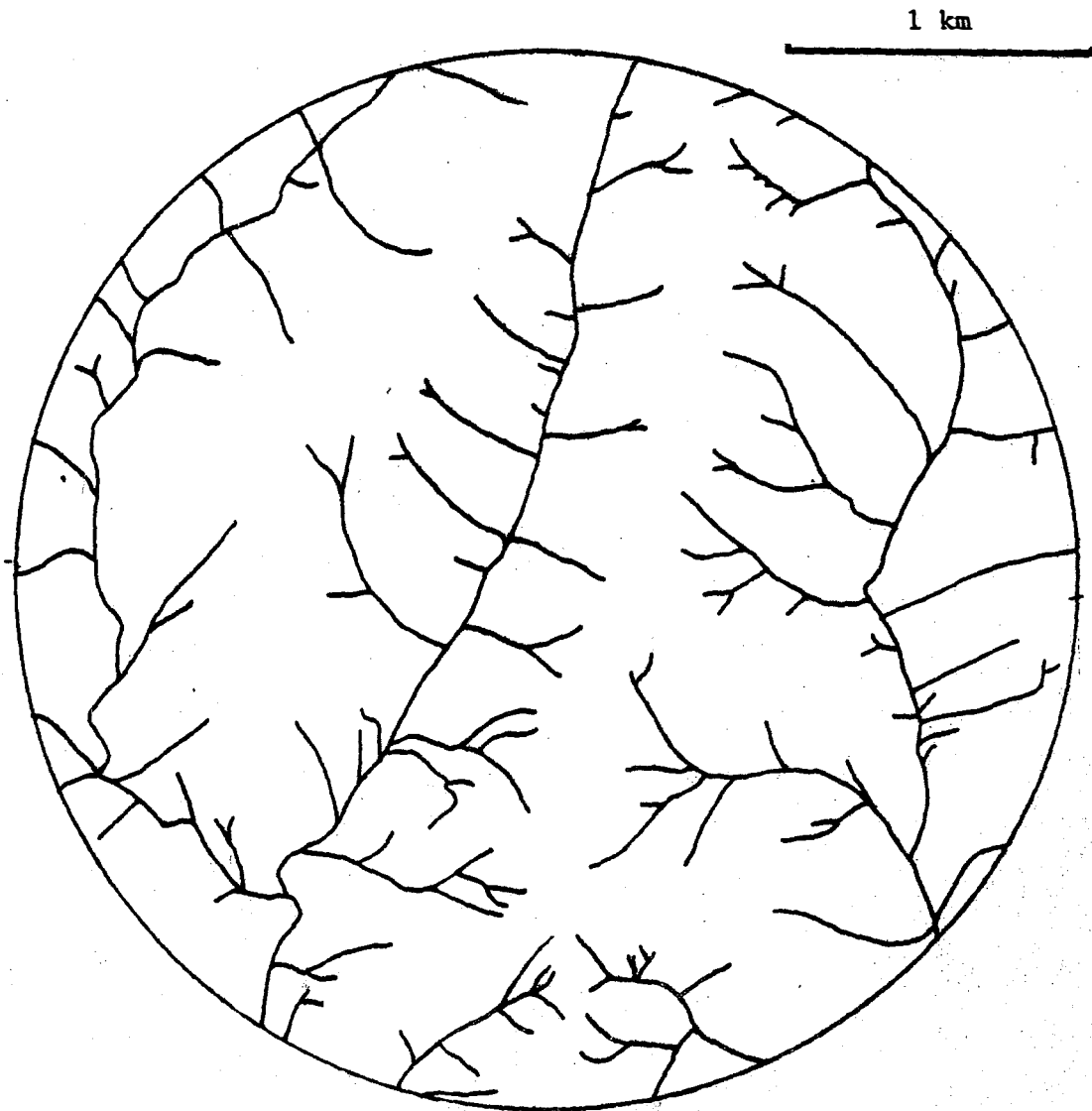


Figura 15 - Amostra circular P_1 de 1962 (10 km^2) da rede de drenagem em solos da área A (horizonte B textural). Escala 1:25.000.

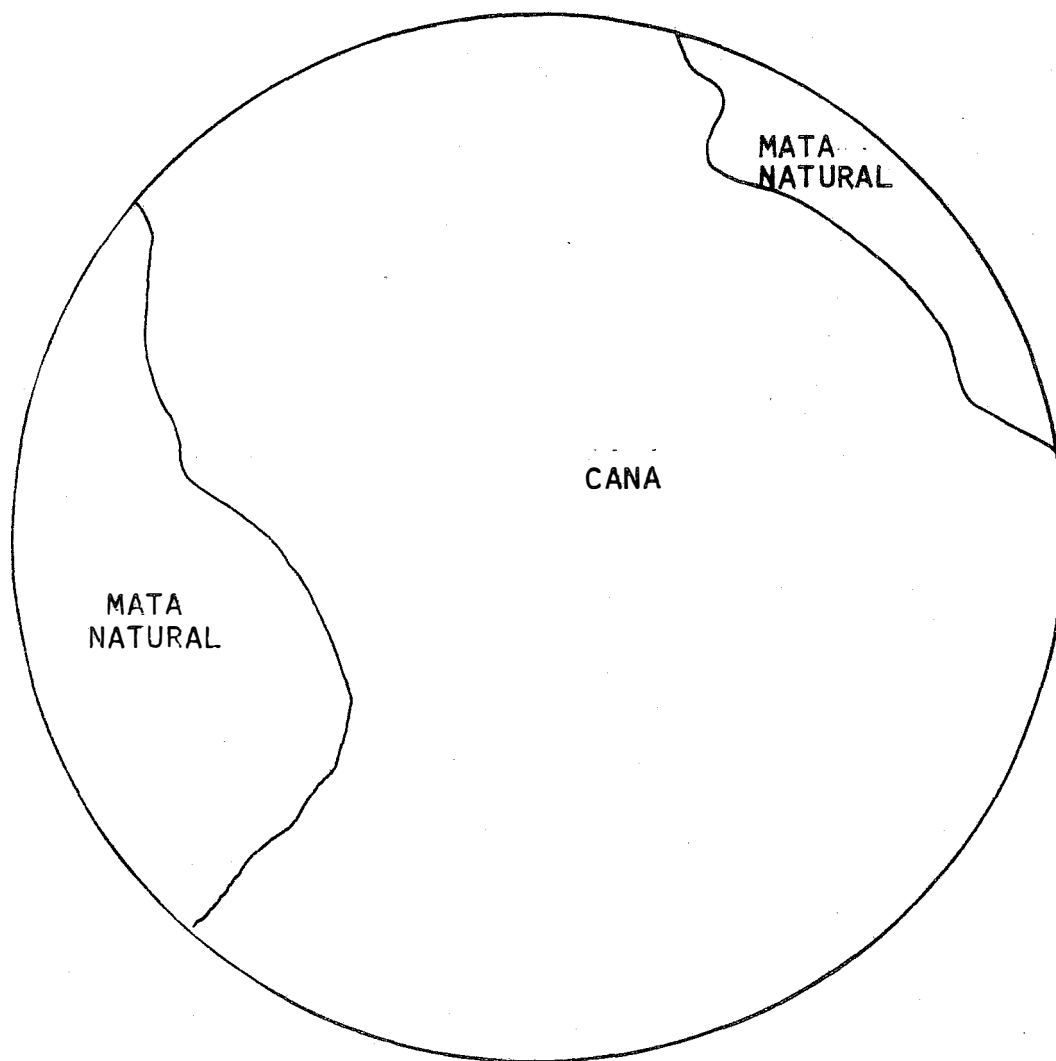


Figura 16a - Uso da terra da amostra circular B_2 , no ano de 1962.

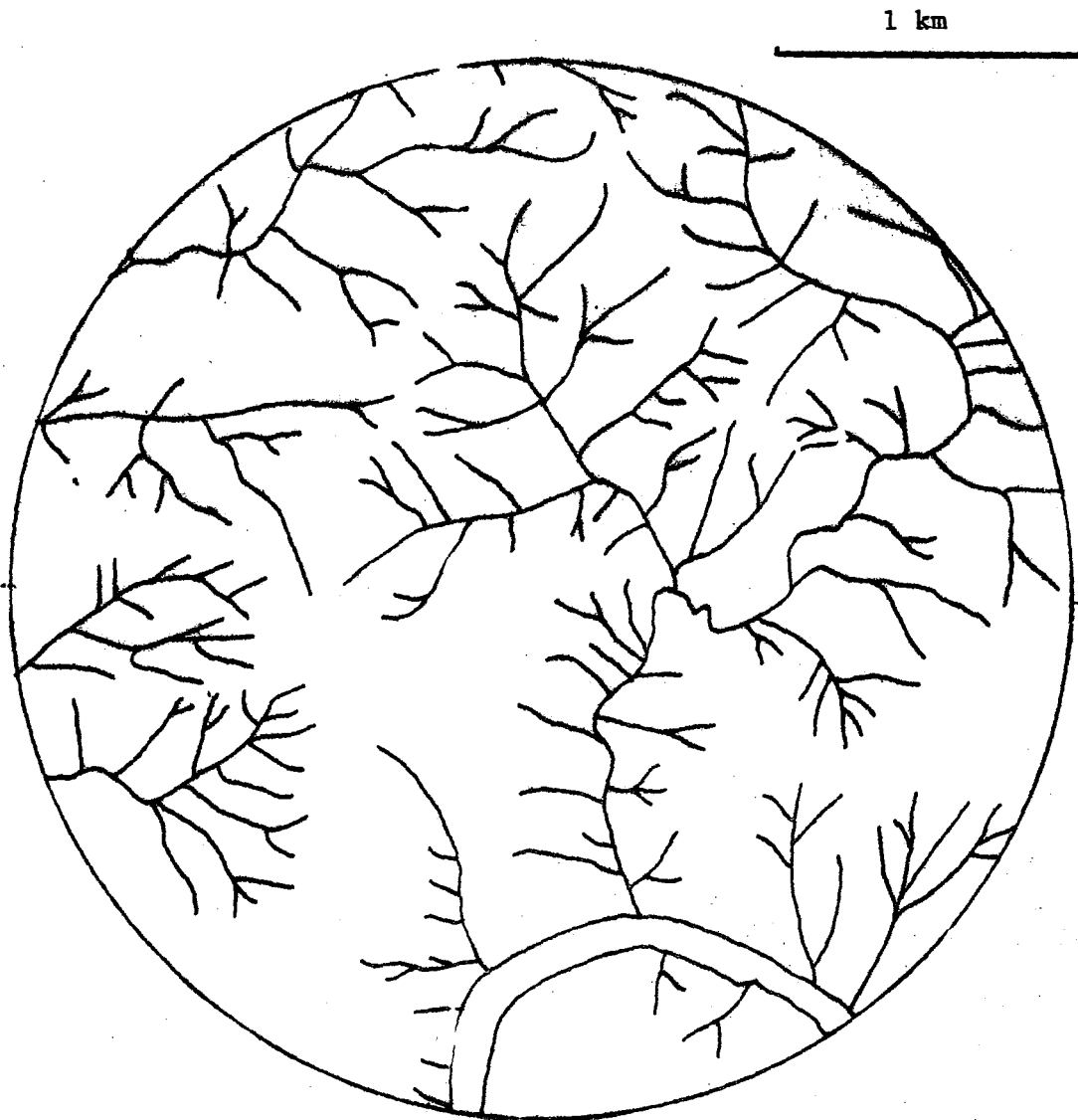


Figura 16 - Amostra circular P_2 de 1962 (10 km^2) da rede de drenagem em solos da Área A (horizonte B textural). Escala 1:25.000.

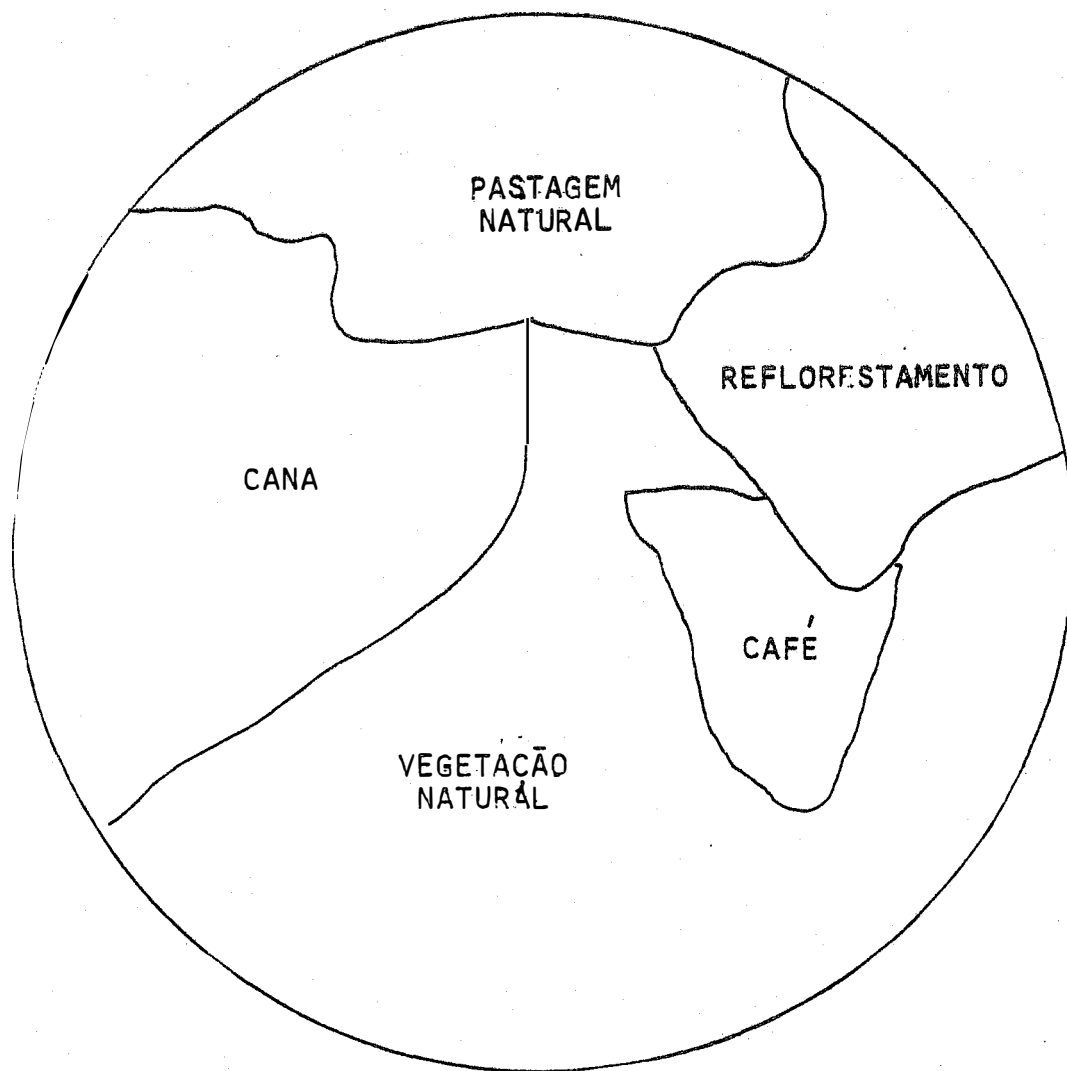


Figura 17a - Uso da terra da amostra circular P_3 , no ano de 1962.

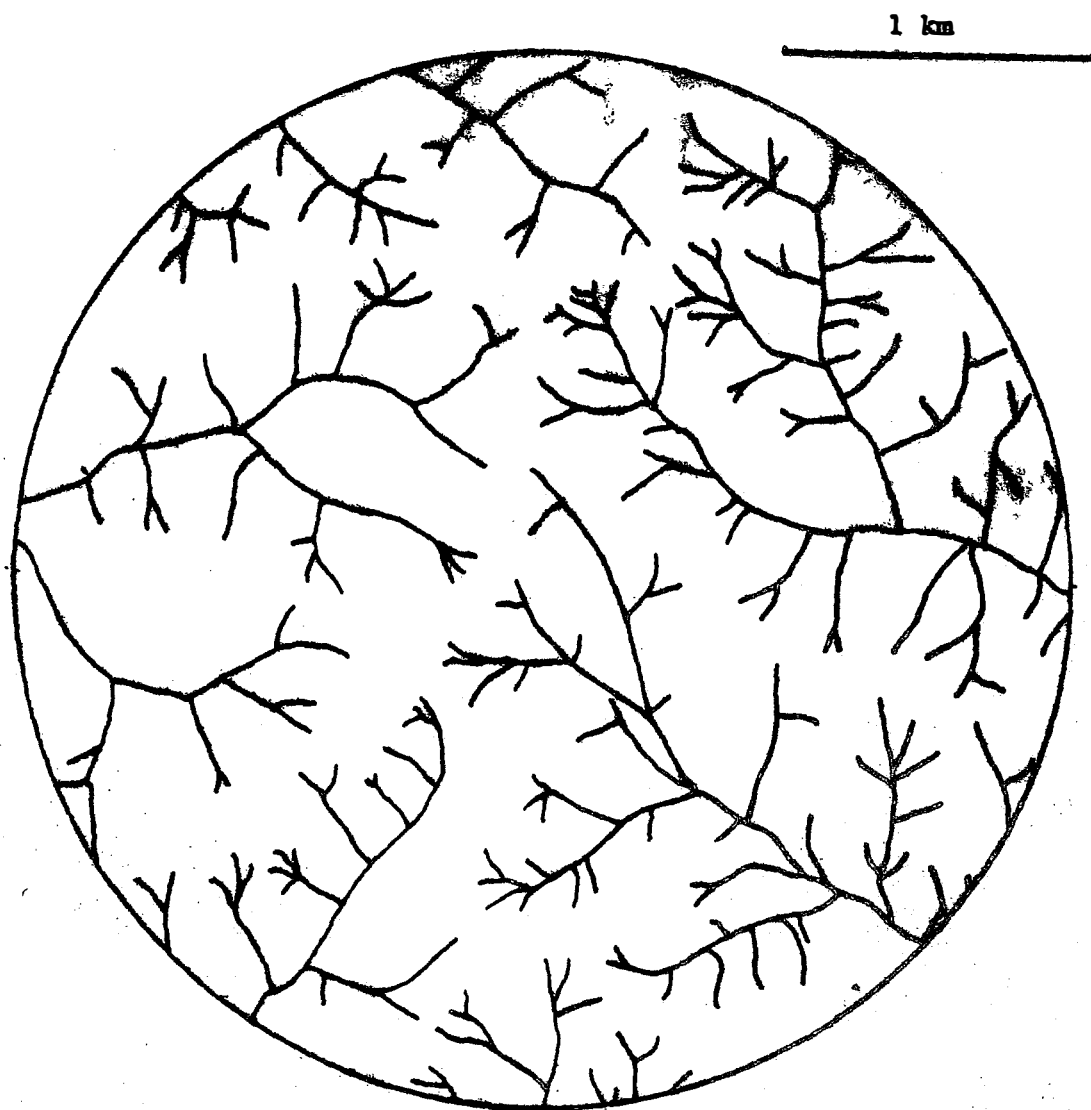


Figura 17 - Amostra circular P_3 de 1962 (10 km^2) da rede de drenagem em solos da Área A (horizonte B textural). Escala 1:25.000.

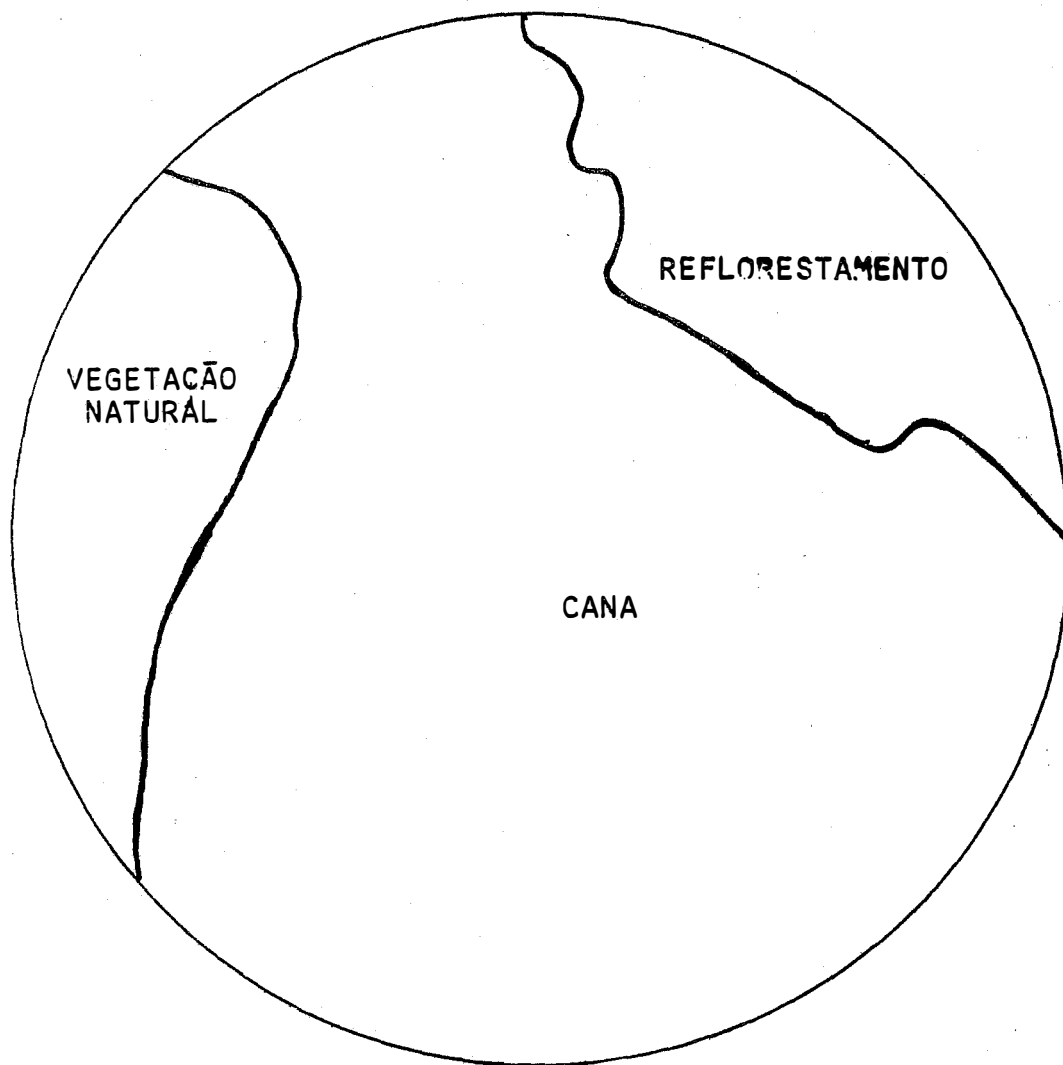


Figura 18a - Uso da terra da amostra circular L_1 , no ano de 1962.

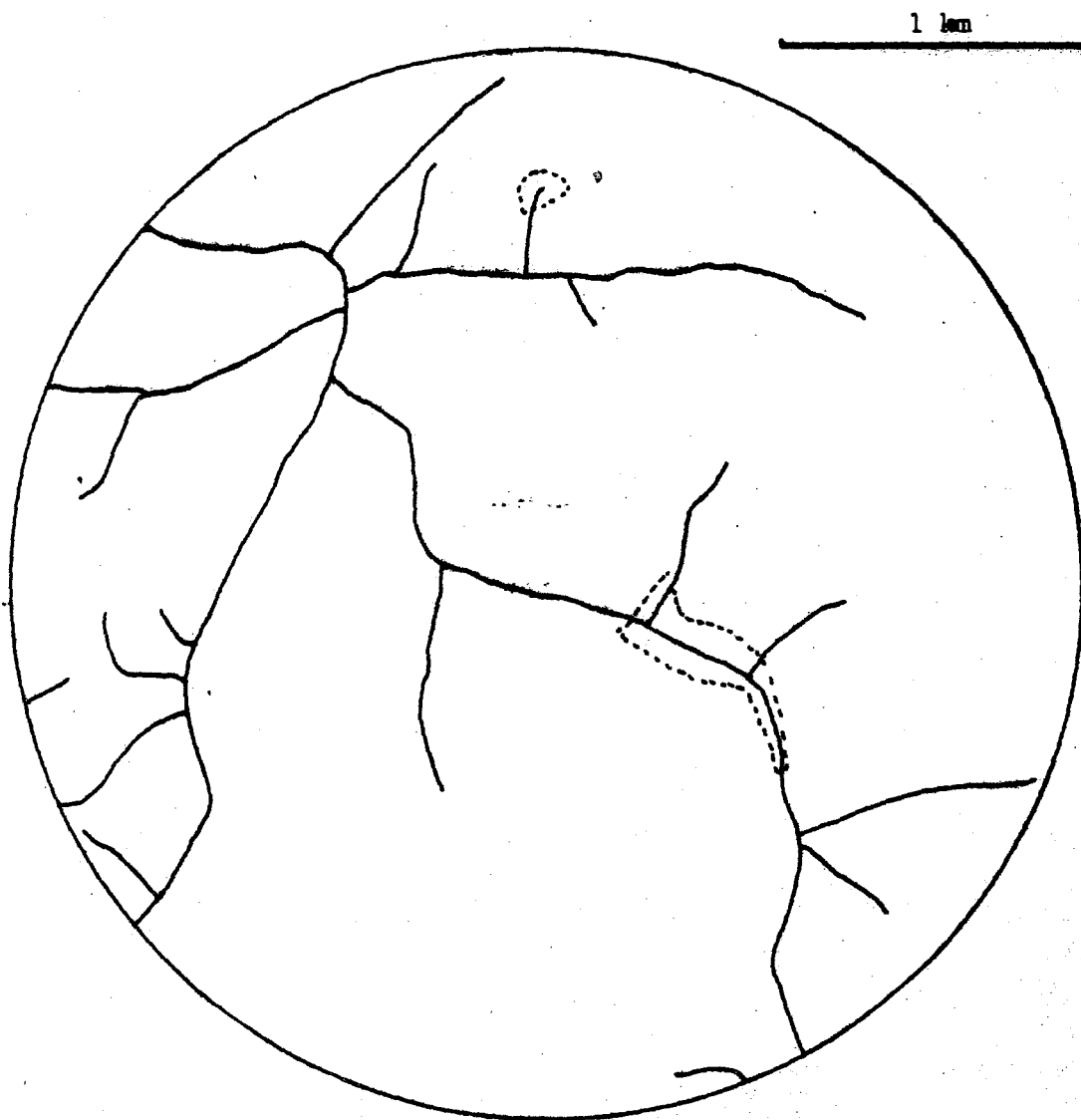


Figura 18 - Amostra circular L_1 de 1962 (10 km^2) da rede de drenagem em solos da área B (horizonte B latossólico). Escala 1:25.000.

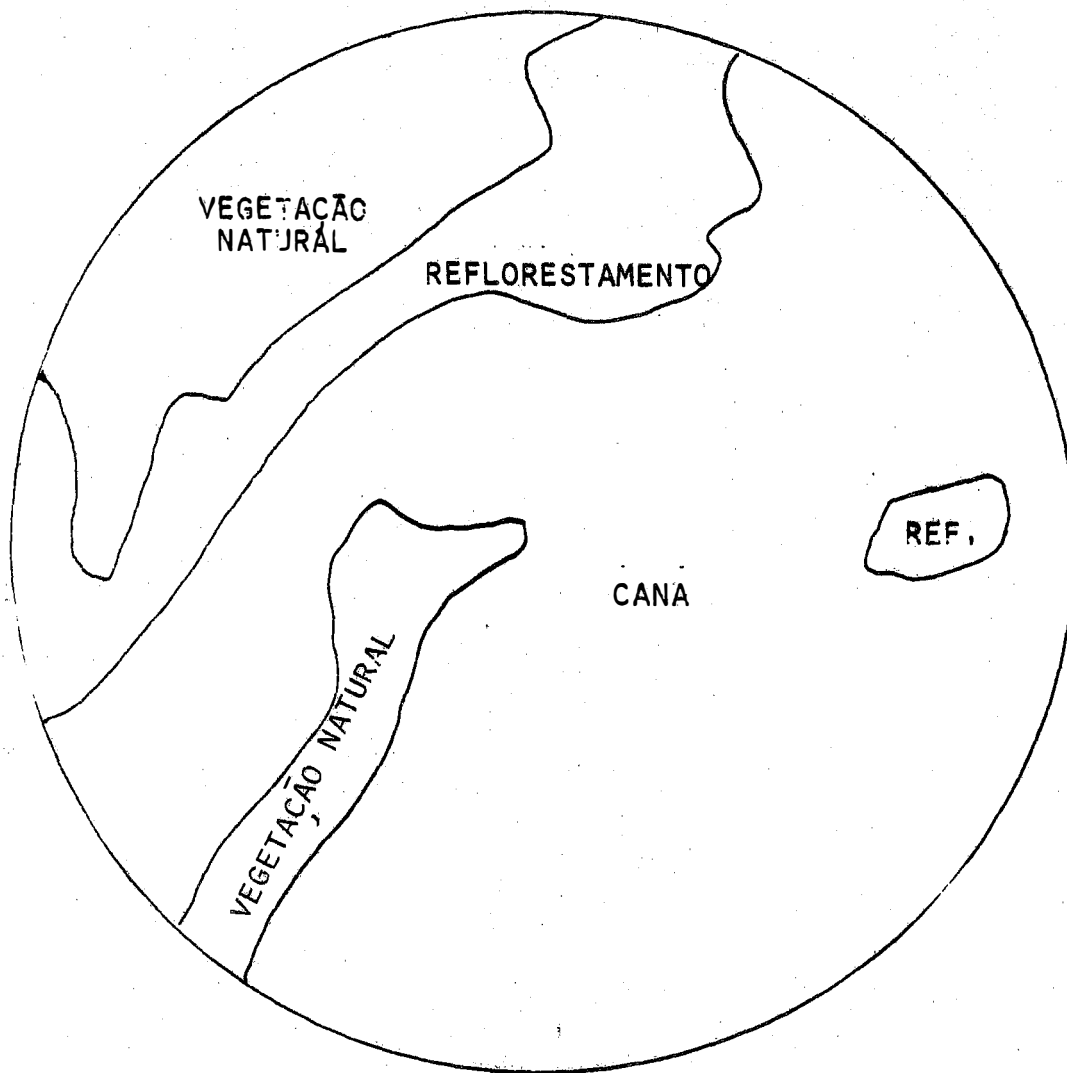


Figura 19a - Uso da terra da amostra circular L_2 , no ano de 1962.

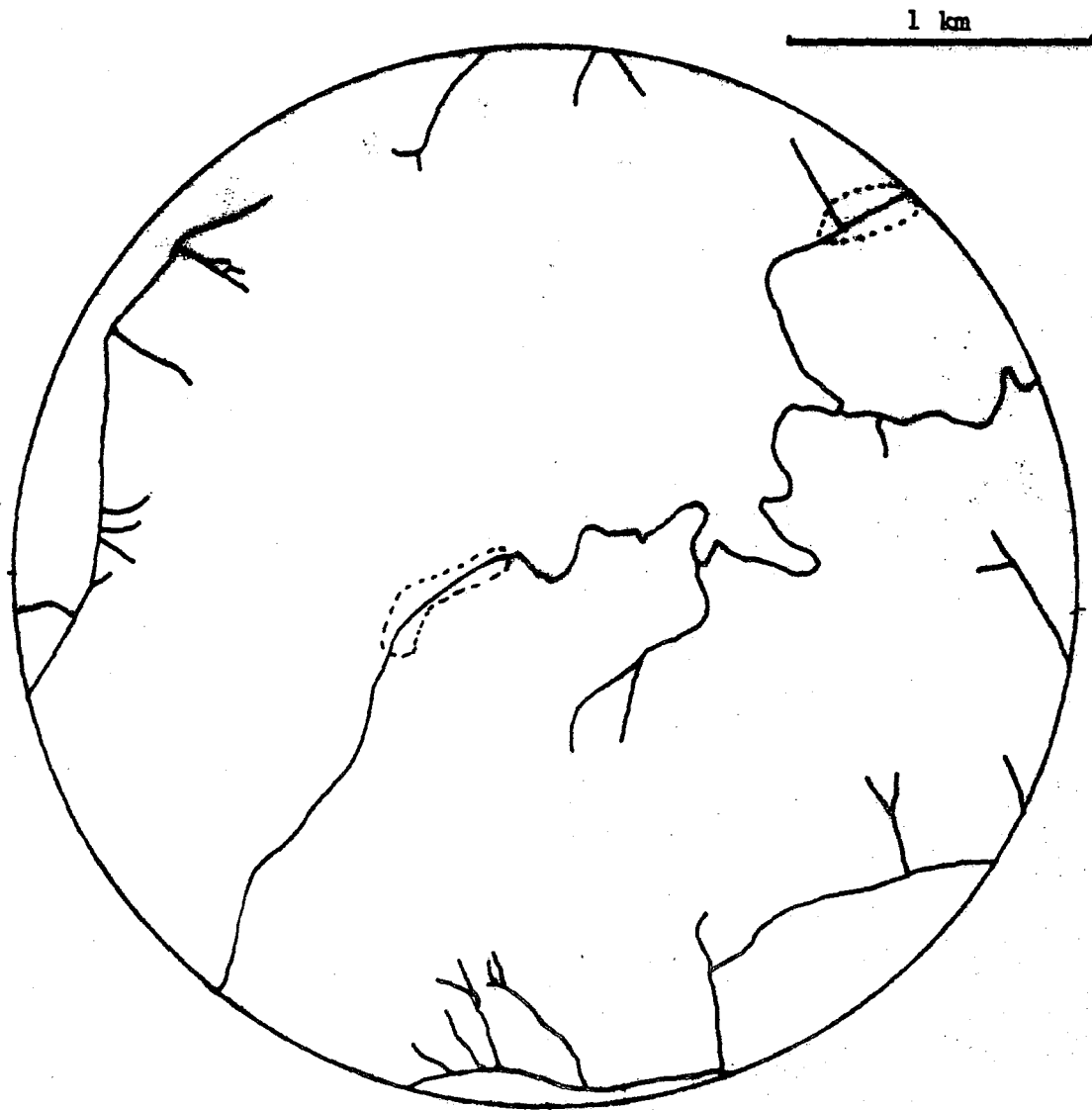


Figura 19 - Amostra circular L_2 de 1962 (10 km^2) da rede de drenagem em solos da área B (horizonte B latossólico). Escala 1:25.000.

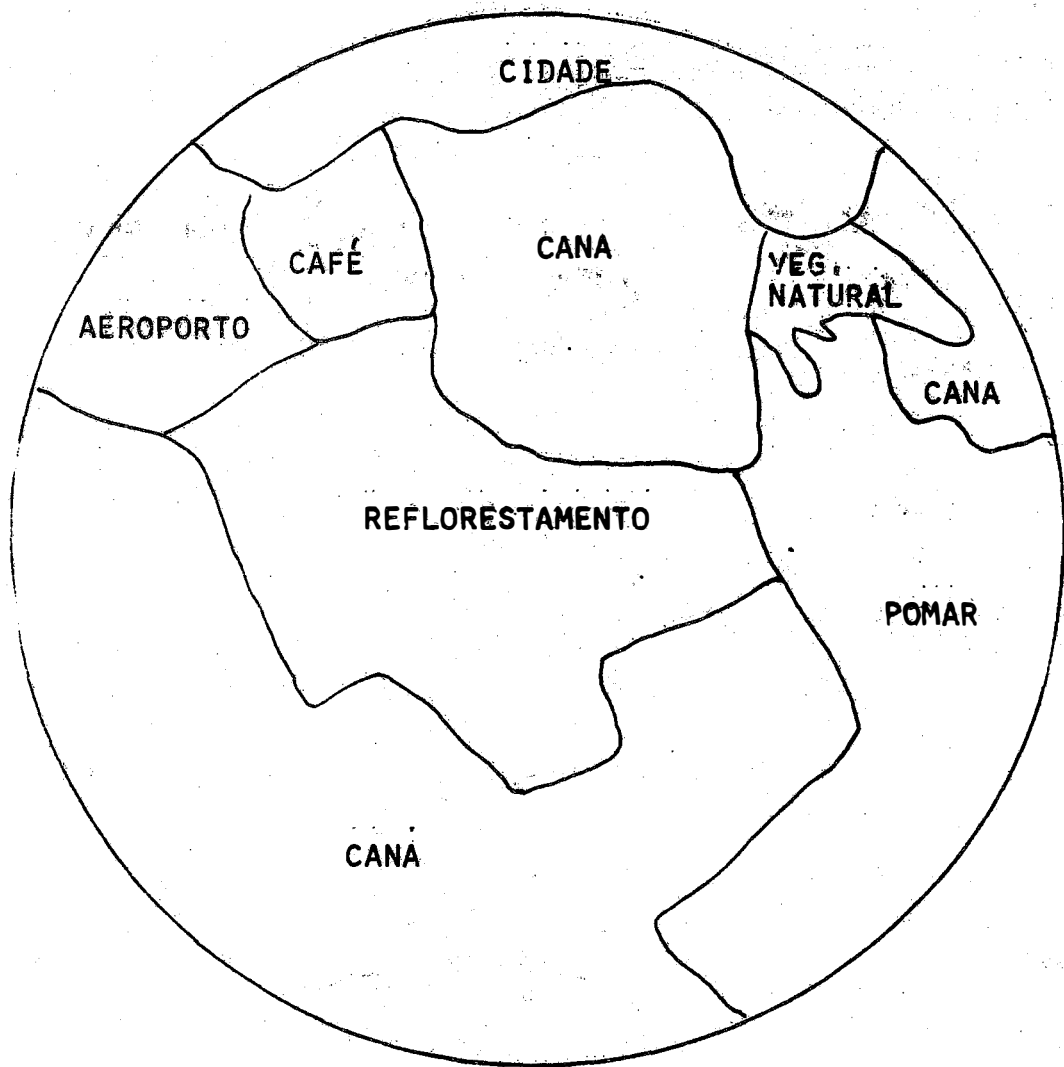


Figura 20a - Uso da terra da amostra circular L_3 , no ano de 1962.

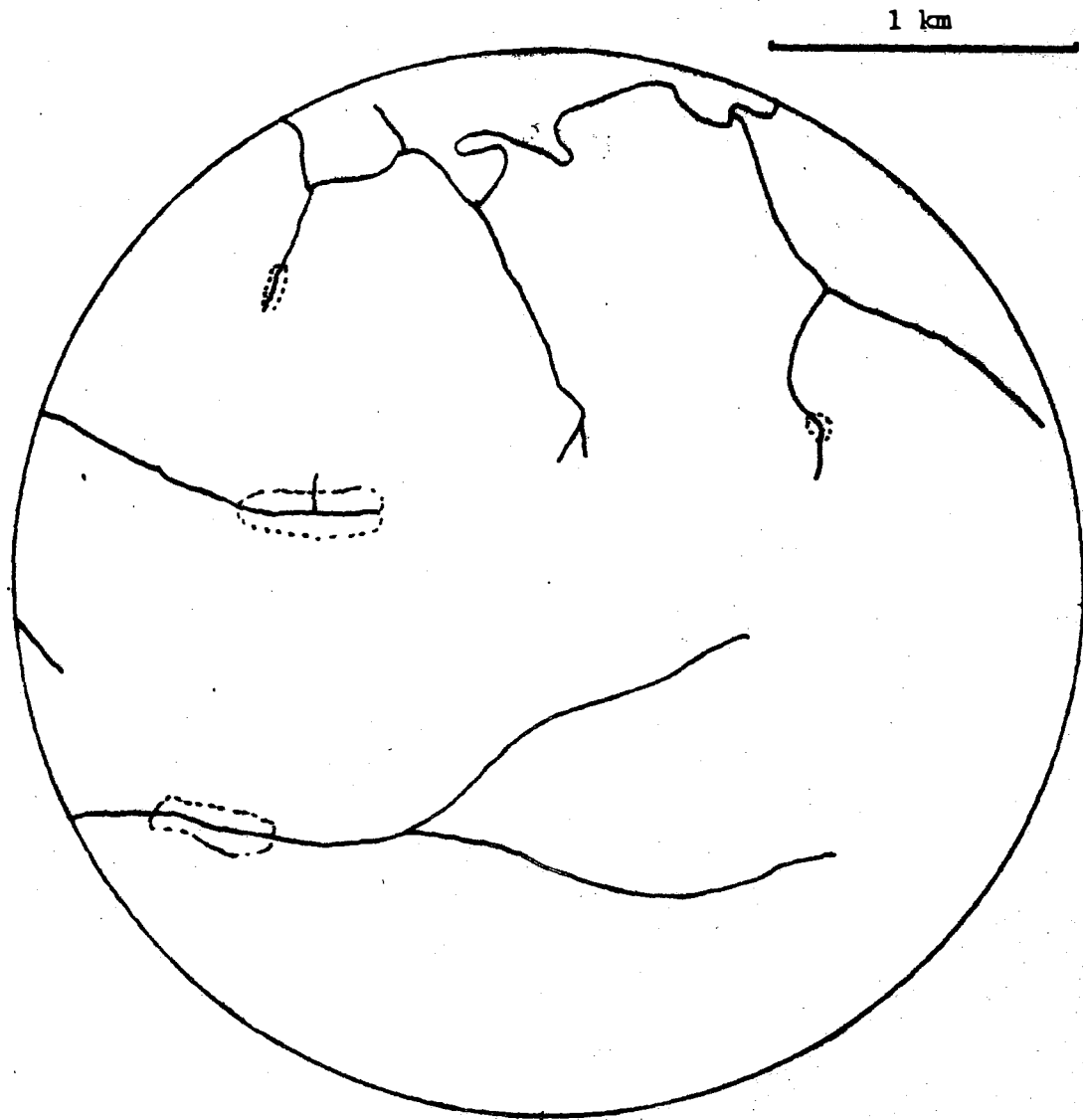


Figura 20 - Amostra circular L_3 de 1962 (10 km^2) da rede de drenagem em solos da área B (horizonte B latossólico). Escala 1:25.000.

A análise da Tabela 6 permite dizer que, para os solos com horizonte B textural ocorreu um pequeno aumento no número de rios; e para os solos da área com horizonte B latossólico ocorreu o oposto, pois tanto o número de rios como o comprimento total de rios sofreram um pequeno decréscimo.

4.3.2 - Características quantitativas dos padrões de drenagem

A Tabela 7 apresenta as características quantitativas obtidas pela relação entre o número e o comprimento total de rios e a área das amostras circulares e do número de rios com o perímetro dessas amostras, nas fotografias obtidas em 1962.

Os resultados obtidos mostram novamente que, isoladamente, qualquer destes índices é suficiente para diferenciar os solos estudados, discordando de HORTON (1945) e STRAHLER (1964) e concordando com autores brasileiros, principalmente SOUZA (1975), KOFFLER (1976a) e DEMÉTRIO (1977).

Tabela 7 - Características quantitativas do padrão de drenagem das amostras circulares das fotografias obtidas em 1962, representativas das classes de solo estudadas.

		AMOSTRAS CIRCULARES					
CARACTERÍSTICAS QUANTITATIVAS		Solos com B textural		Solos com B latossólico			
		P ₁	P ₂	P ₃	L ₁	L ₂	L ₃
Densidade de drenagem (Dc) média		4,03	4,85	5,07	1,68	1,72	1,17
		s ² = 0,3050		s ² = 0,094			
Frequência de rios (Fc) média		13,40	17,90	19,40	2,00	3,20	1,20
		16,90 ± 1,80		2,13 ± 0,58			
		s ² = 9,75		s ² = 1,01			
Razão de textura (Tc) média		11,95	15,97	17,30	1,78	2,85	1,07
		15,07 ± 1,61		1,90 ± 0,51			
		s ² = 7,76		s ² = 0,80			

4.4 - Análise das Amostras Circulares das Fotografias Aéreas Verticais Obtidas em 1972

4.4.1 - Características das amostras circulares

As amostras circulares de 10 km^2 na escala 1:25.000, que representam as redes de drenagem das classes de solo estudadas, estão representadas pelas Figuras 21, 22, 23, 24, 25 e 26 e suas características dimensionais estão na Tabela 8. As considerações feitas anteriormente para as amostras obtidas das fotografias aéreas de 1962, são válidas também para as amostras de 1972.

A análise da Tabela 8 permite dizer que, para os solos com horizonte B textural, continuou havendo uma evolução da rede de drenagem, tanto quanto ao número de rios como o comprimento total da rede; e para os solos com horizonte B latossólico, agora a tendência é também de evolução da rede, ou seja, aumento do número de rios e comprimento total da rede, quando comparamos com as amostras circulares das fotografias obtidas em 1962, apesar desses parâmetros continuarem menores do que aqueles obtidos nas fotografias de 1940.

4.4.2 - Características quantitativas dos padrões de drenagem

A Tabela 9 apresenta as características quantitativas da rede de drenagem das amostras circulares das fotografias aéreas obtidas em 1972.

Tabela 8 - Características dimensionais das amostras circulares na escala 1:25.000, das fotografias obtidas em 1972, representativas das classes de solo estudadas.

CLASSES DE SOLO	Amostras circulares	Comprimento da rede (km)	Número de rios	Rios de 1.ª ordem	Rios de 2.ª ordem
Solos com B textural	P ₁	44,25	177	177	61
	P ₂	50,75	192	192	55
	P ₃	57,25	225	225	69
Solos com B latossólico	L ₁	17,50	22	22	5
	L ₂	18,00	33	33	8
	L ₃	12,50	20	20	6

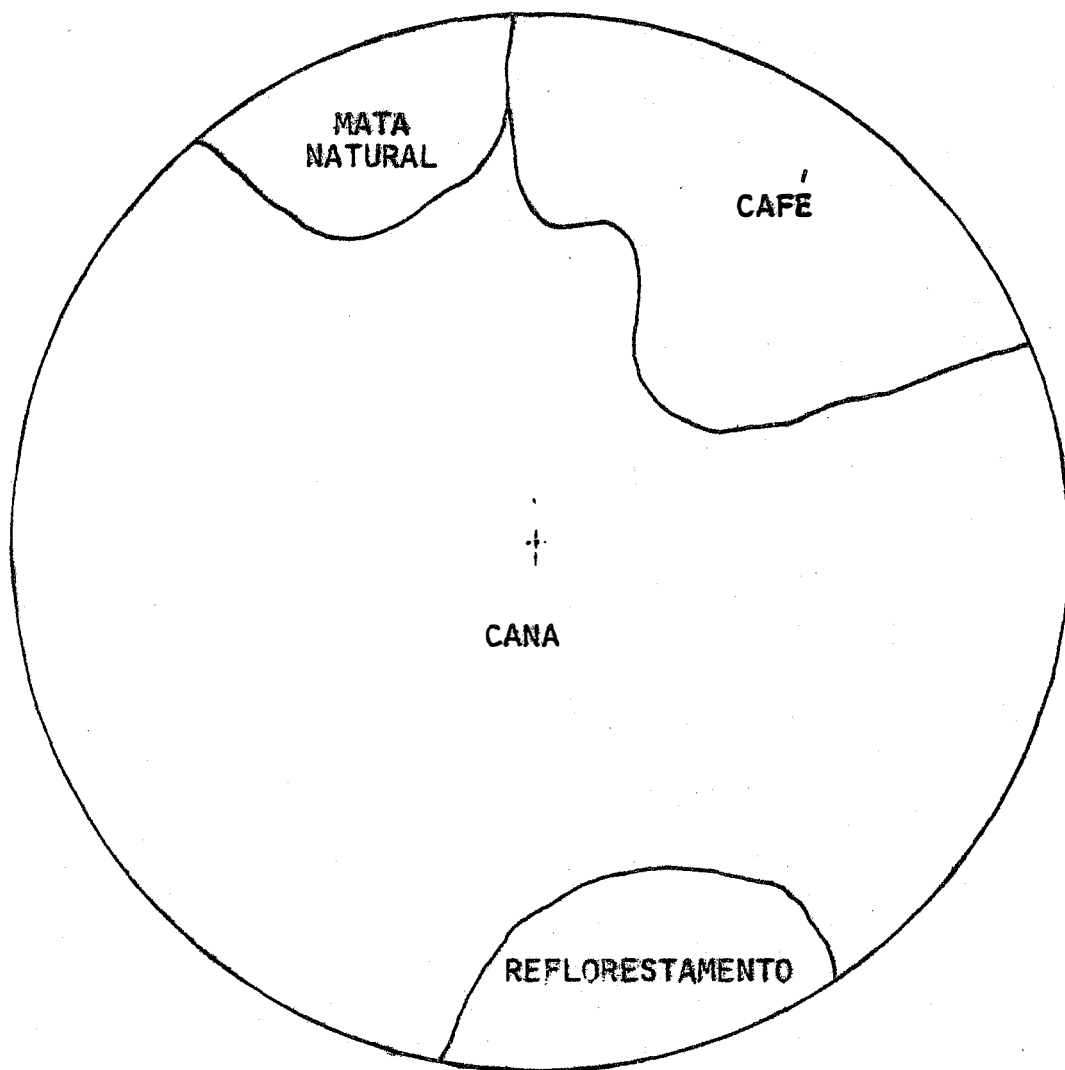


Figura 21a - Uso da terra da amostra circular P_1 , no ano de 1972.

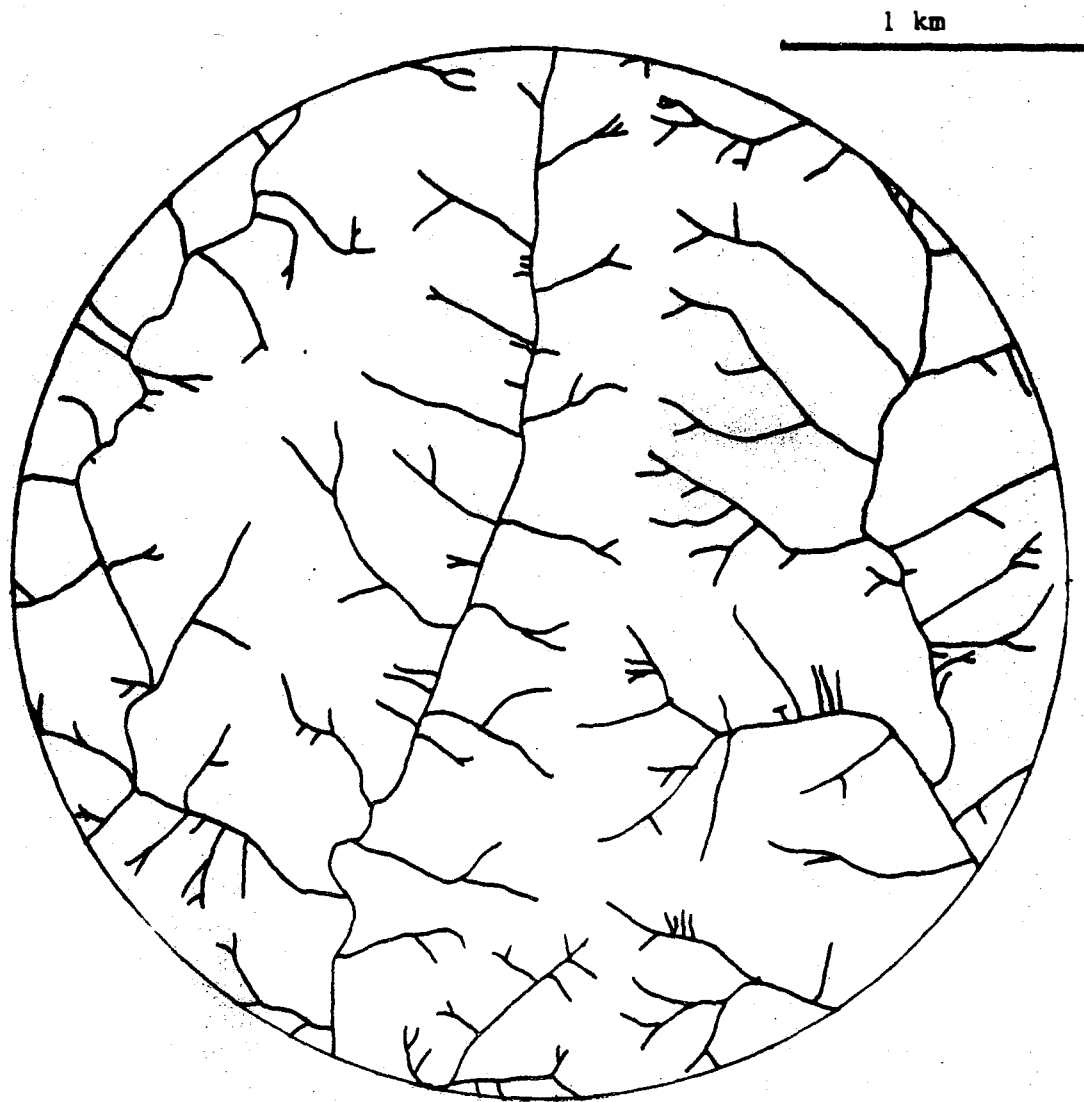


Figura 21 - Amostra circular P₁ de 1972 (10 km²) da rede de drenagem em solos da Área A (horizonte B textural). Escala 1:25.000.

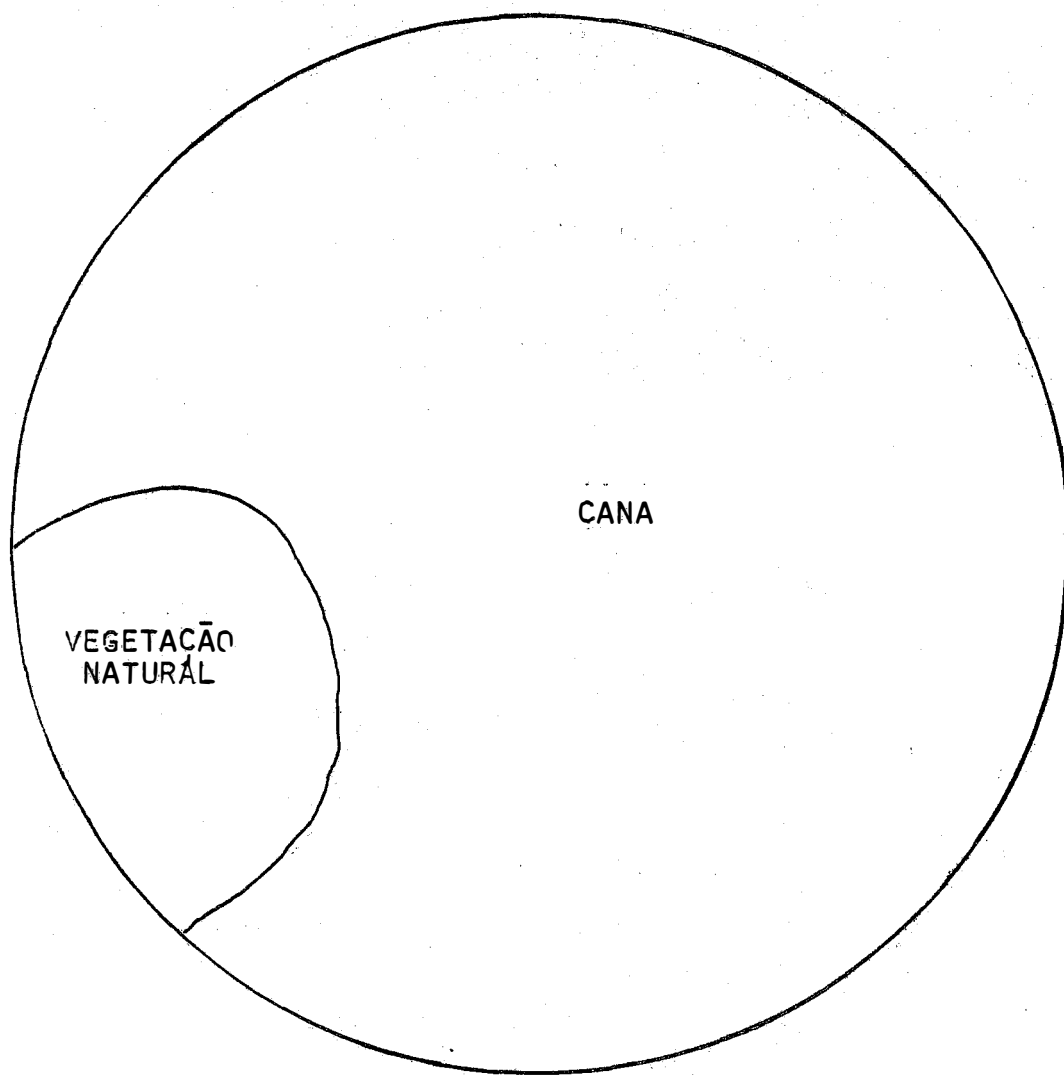


Figura 22a - Uso da terra da amostra circular P_2 , no ano de 1972.

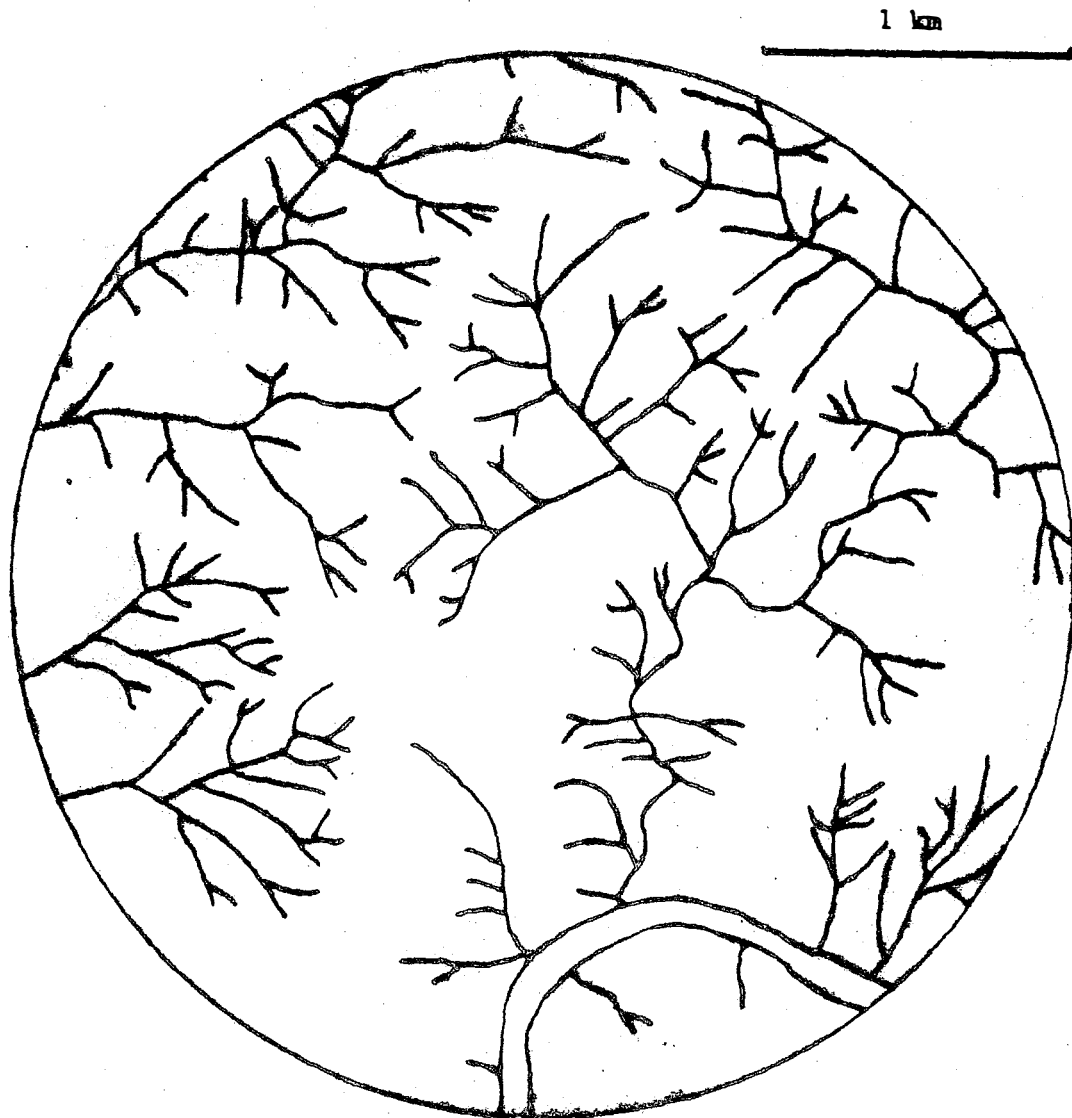


Figura 22 - Amostra circular P_2 de 1972 (10 km^2) da rede de drenagem em solos da área A (horizonte B textural). Escala 1:25.000.

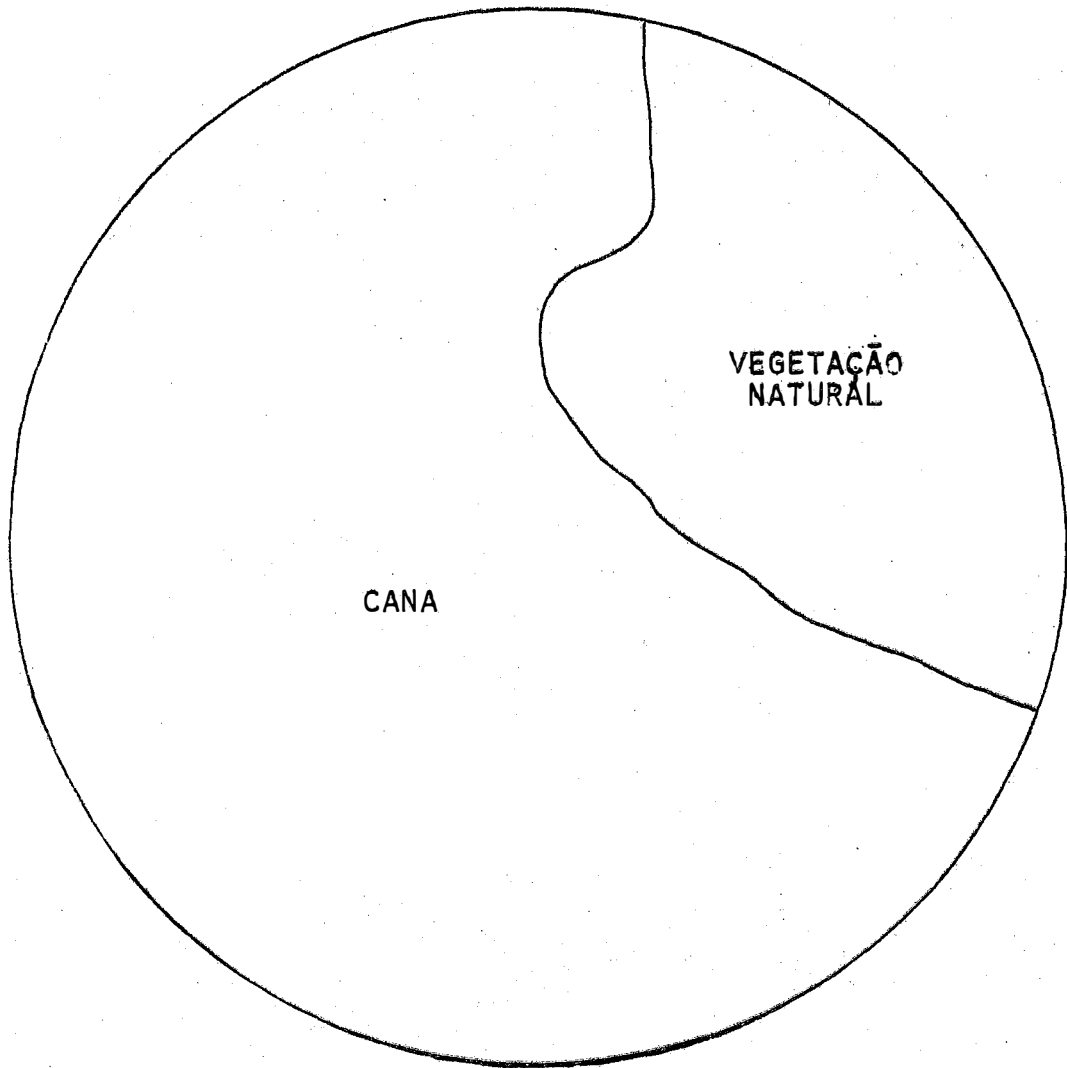


Figura 23a - Use da terra da amostra circular P_3 , no ano de 1972.

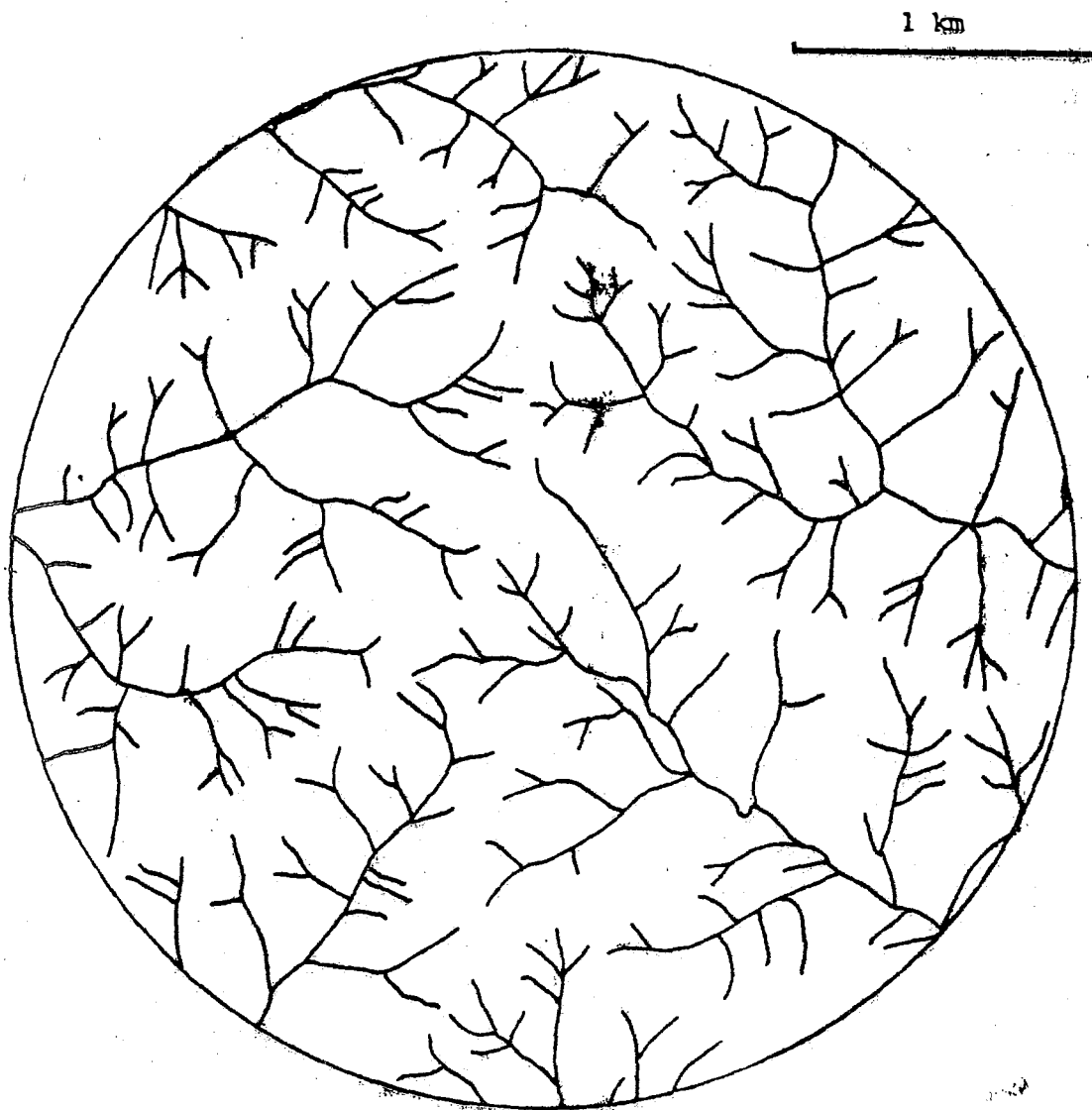


Figura 23 - Amostra circular P_3 de 1972 (10 km^2) da rede de drenagem em solos da área A (horizonte B textural). Escala 1:25.000.

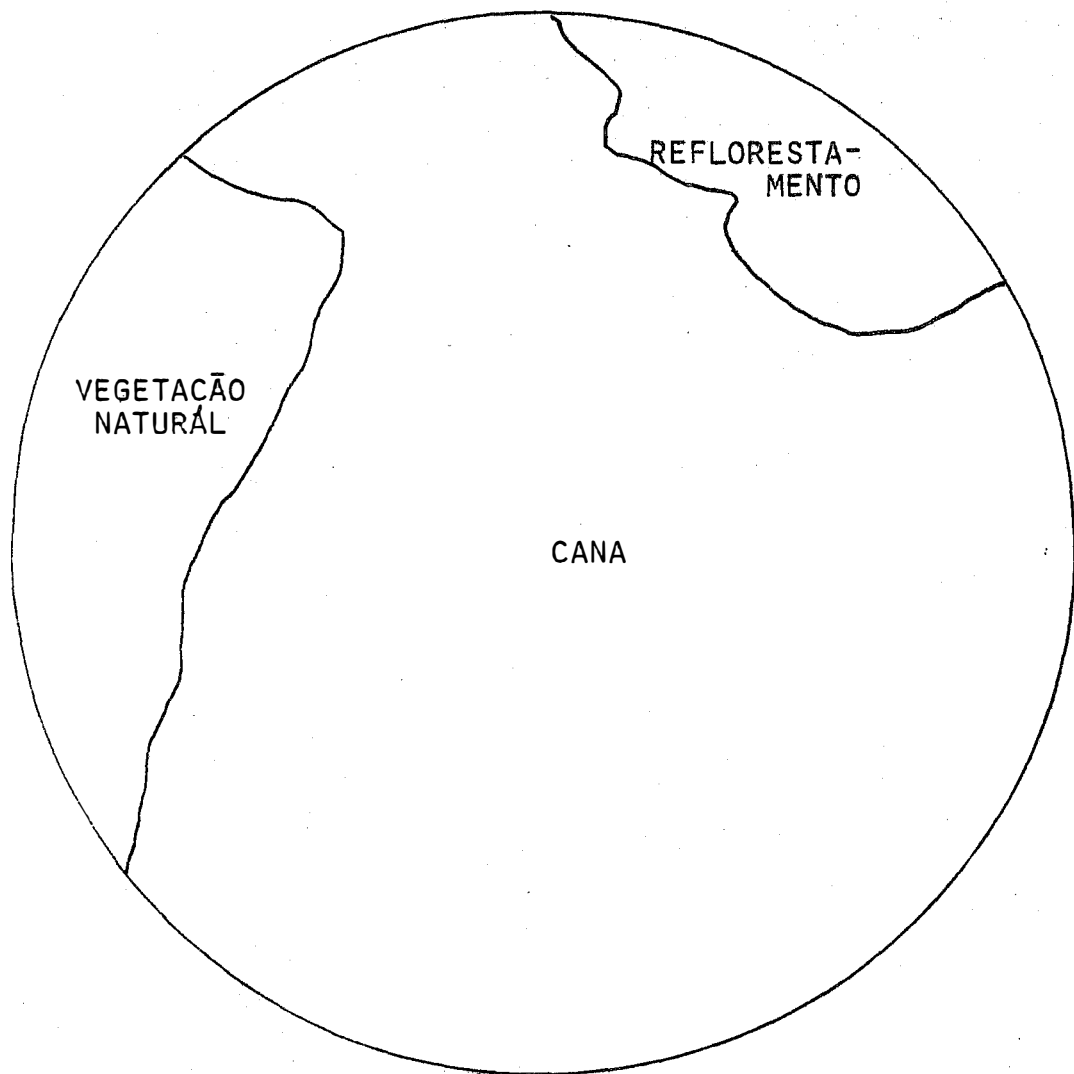


Figura 24a - Uso da terra da amostra circular L_1 , no ano de 1972.

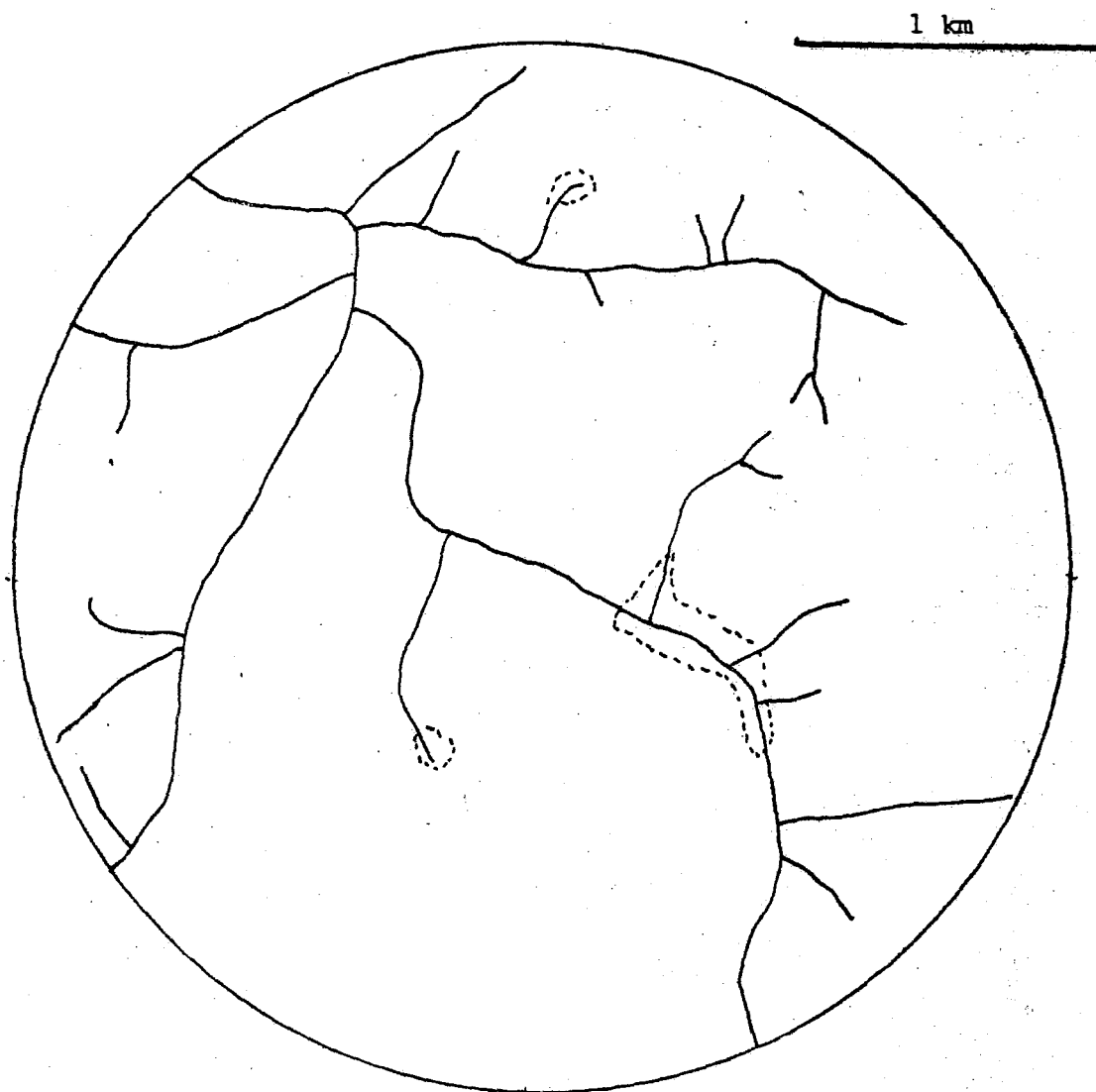


Figura 24 - Amostra circular L_1 de 1972 (10 km^2) da rede de drenagem em solos da área B (horizonte B latossólico). Escala 1:25.000.

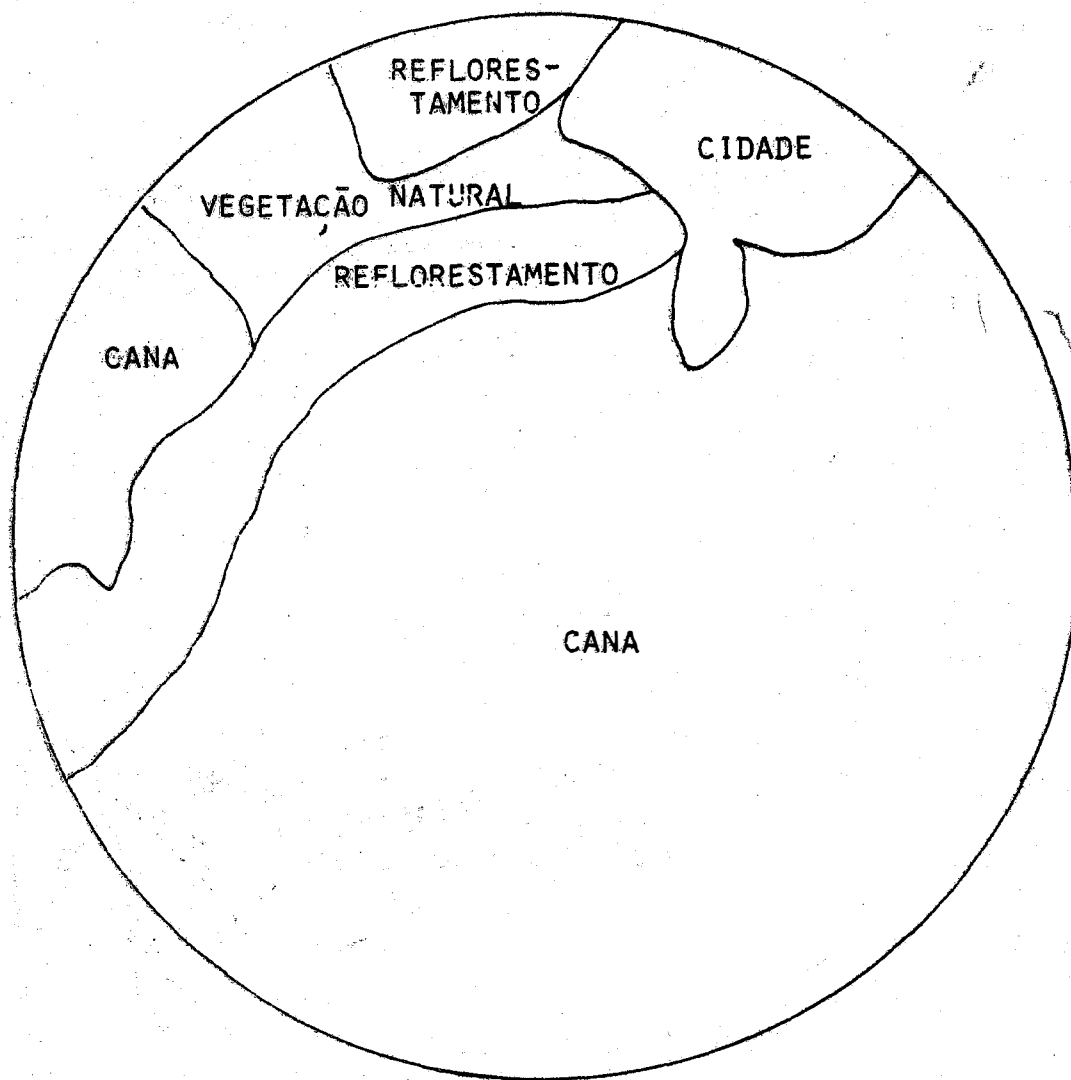


Figura 25a - Uso da terra da amostra circular L₂, no ano de 1972.

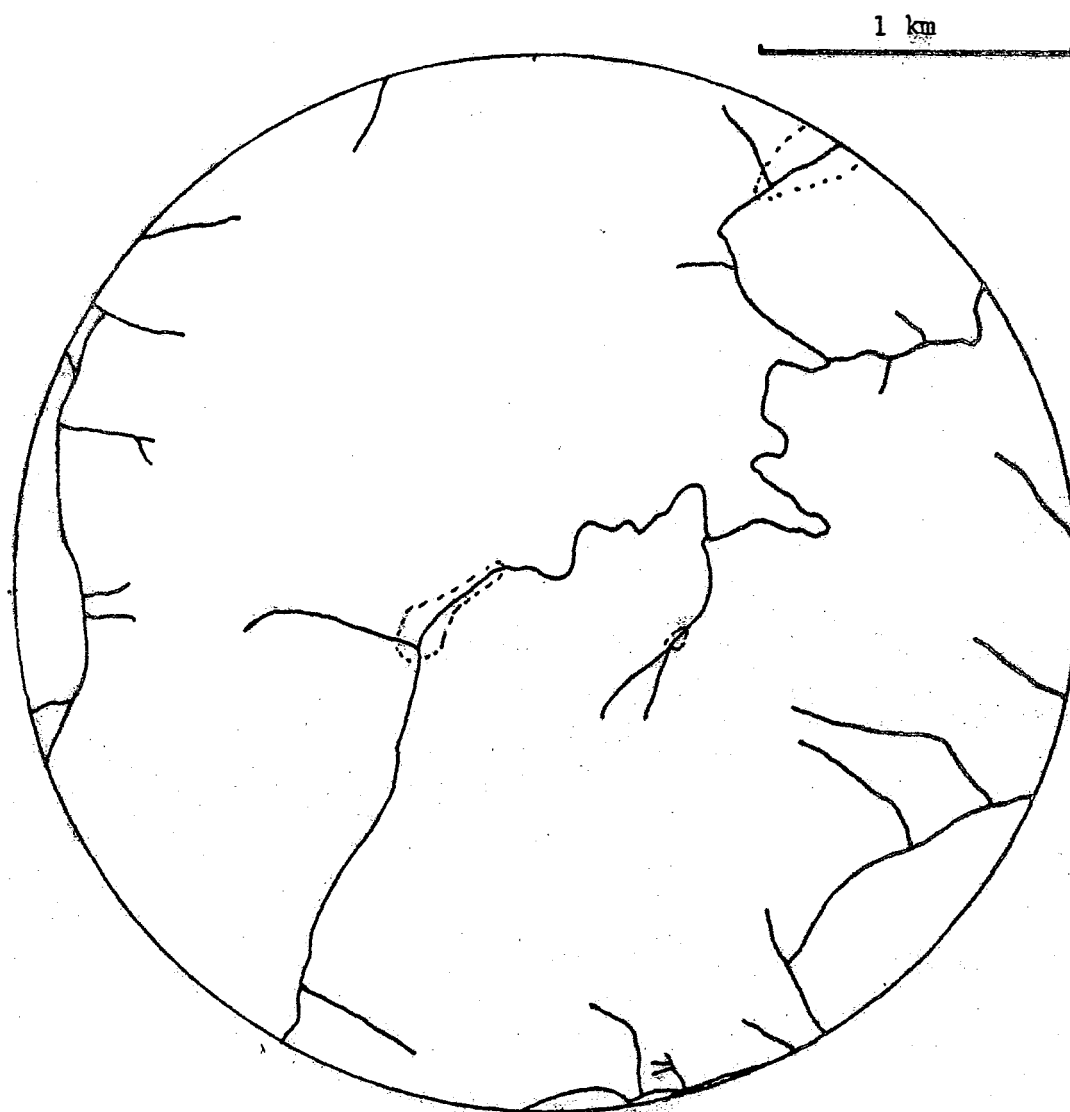


Figura 25 - Amostra circular L₂ de 1972 (10 km²) da rede de drenagem em solos da área B (horizonte B latossólico). Escala 1:25.000.

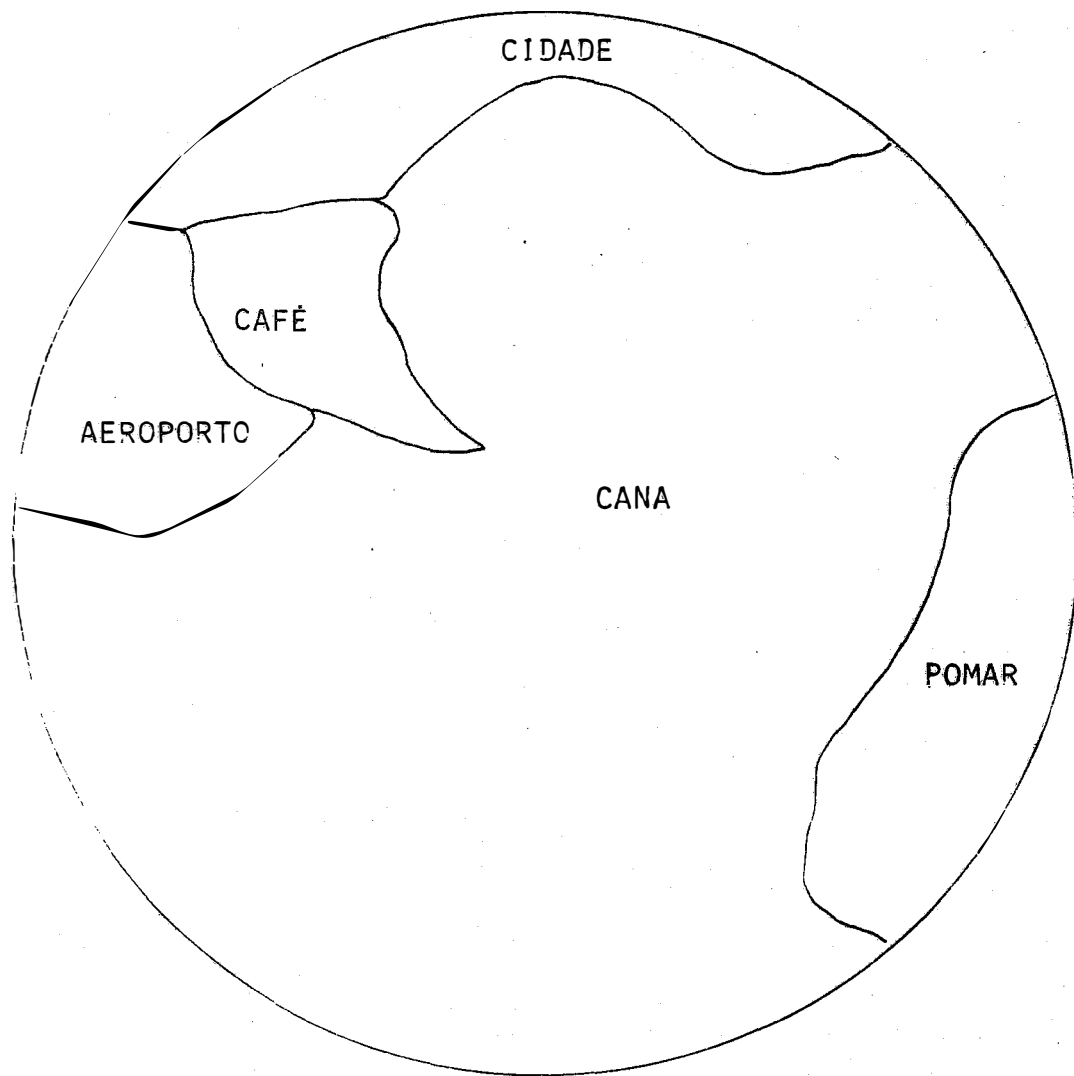


Figura 26a - Uso da terra da amostra circular L_3 , no ano de 1972.

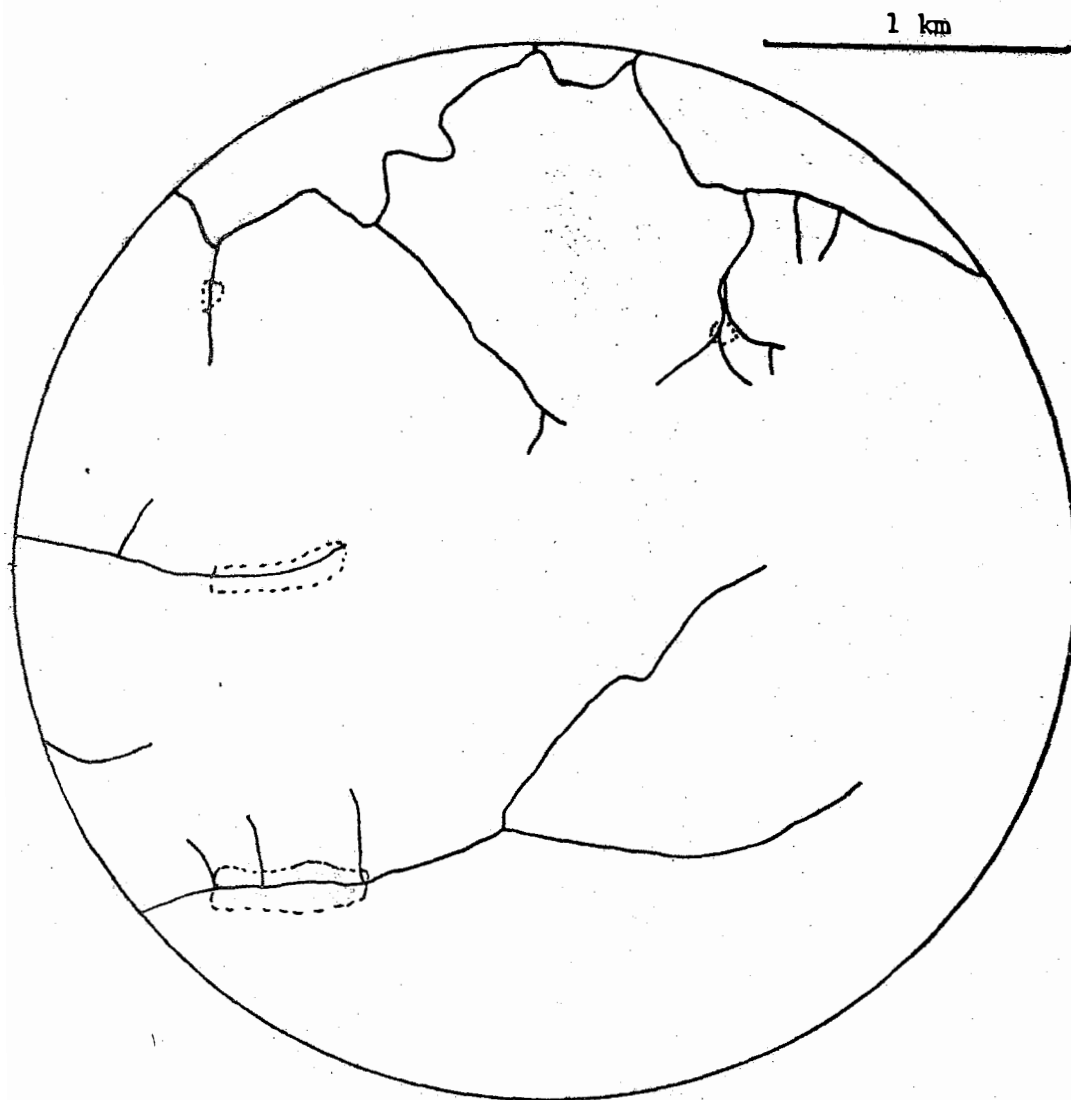


Figura 26 - Amostra circular L_3 de 1972 (10 km^2) da rede de drenagem em solos da área B (horizonte B latossólico). Escala 1:25.000.

Tabela 9 - Características quantitativas do padrão de drenagem das amostras circulares das fotografias aéreas de 1972, representativas das classes de solo estudadas.

CARACTERÍSTICAS QUANTITATIVAS	AMOSTRAS CIRCULARES					
	Solos com B P ₁	P ₂	B textural P ₃	Solos com B L ₁	L ₂	Latossólico L ₃
Densidade de drenagem (Dc) média	4,43	5,07	5,72	1,75	1,80	1,25
	s ² = 0,4220			s ² = 0,0925		
	5,07 ± 0,38			1,60 ± 0,18		
Frequência de rios (Fc) média	17,70	19,20	22,50	2,20	3,30	2,00
	s ² = 6,03			s ² = 0,49		
	19,80 ± 1,42			2,50 ± 0,40		
Razão de textura (Tc) média	15,79	17,13	20,07	1,96	2,94	1,78
	s ² = 4,80			s ² = 0,39		
	17,66 ± 1,26			2,23 ± 0,36		

As considerações feitas para as amostras circulares obtidas das fotografias aéreas de 1940 e 1962, também são válidas para as de 1972.

4.5 - Análise das Amostras Circulares das Fotografias Aéreas Verticais Obtidas em 1978

4.5.1 - Características das amostras circulares

As amostras circulares na escala 1:35.000, referentes às fotografias obtidas em 1978, estão representadas pelas figuras 27 e 28 e suas características dimensionais na Tabela 10. Neste caso, também são válidas as considerações feitas para as fotografias obtidas em 1940, 1962 e 1972.

Analisando-se a Tabela 10 pode-se dizer que prosseguiu a evolução das redes de drenagem dos solos com horizonte B textural, observada nas fotografias aéreas obtidas em 1940, 1962 e 1972, enquanto que nos solos com horizonte B latossólico a tendência de aumento do número de rios e comprimento total da rede continuou, isto é, observado quando comparamos estes resultados com os obtidos em 1962 e 1972, com relação a 1940, o comprimento total da rede é praticamente o mesmo, mas o número de rios continua bem menor.

Tabela 10 - Características dimensionais das amostras circulares na escala 1:35.000, das fotografias obtidas em 1978, representativas das classes de solo estudadas.

CLASSES DE SOLO	Amostras circulares	Comprimento da rede (km)	Número de rios	Rios de 1. ^a ordem	Rios de 2. ^a ordem
Solos com B textural	P ₁	45,15	178	178	47
	P ₂	53,55	205	205	59
	P ₃	60,90	328	328	80
Solos com B latossólico	L ₁	18,55	29	29	8
	L ₂	19,60	42	42	13
	L ₃	15,05	28	28	8

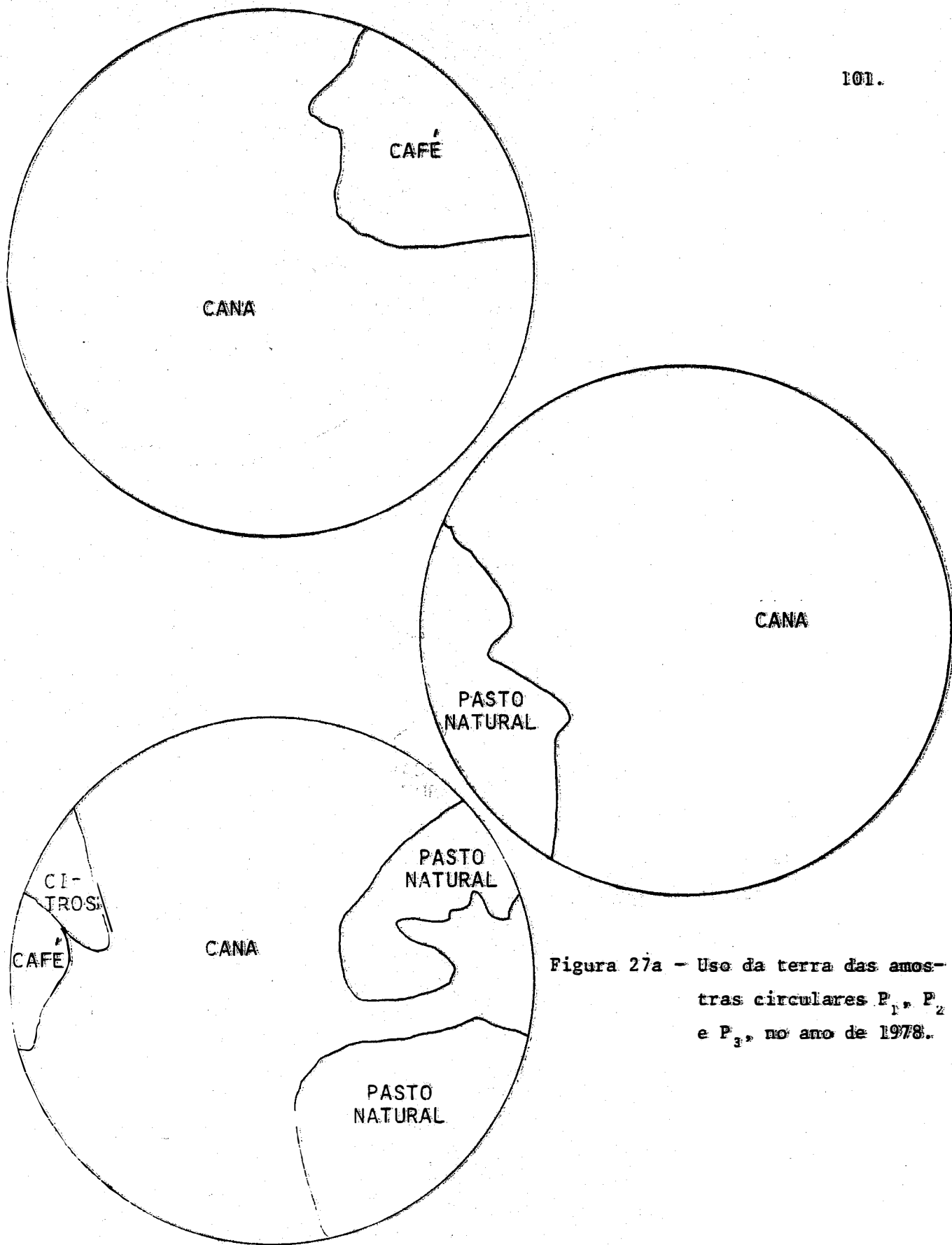


Figura 27a - Uso da terra das amostras circulares P₁, P₂ e P₃, no ano de 1978.

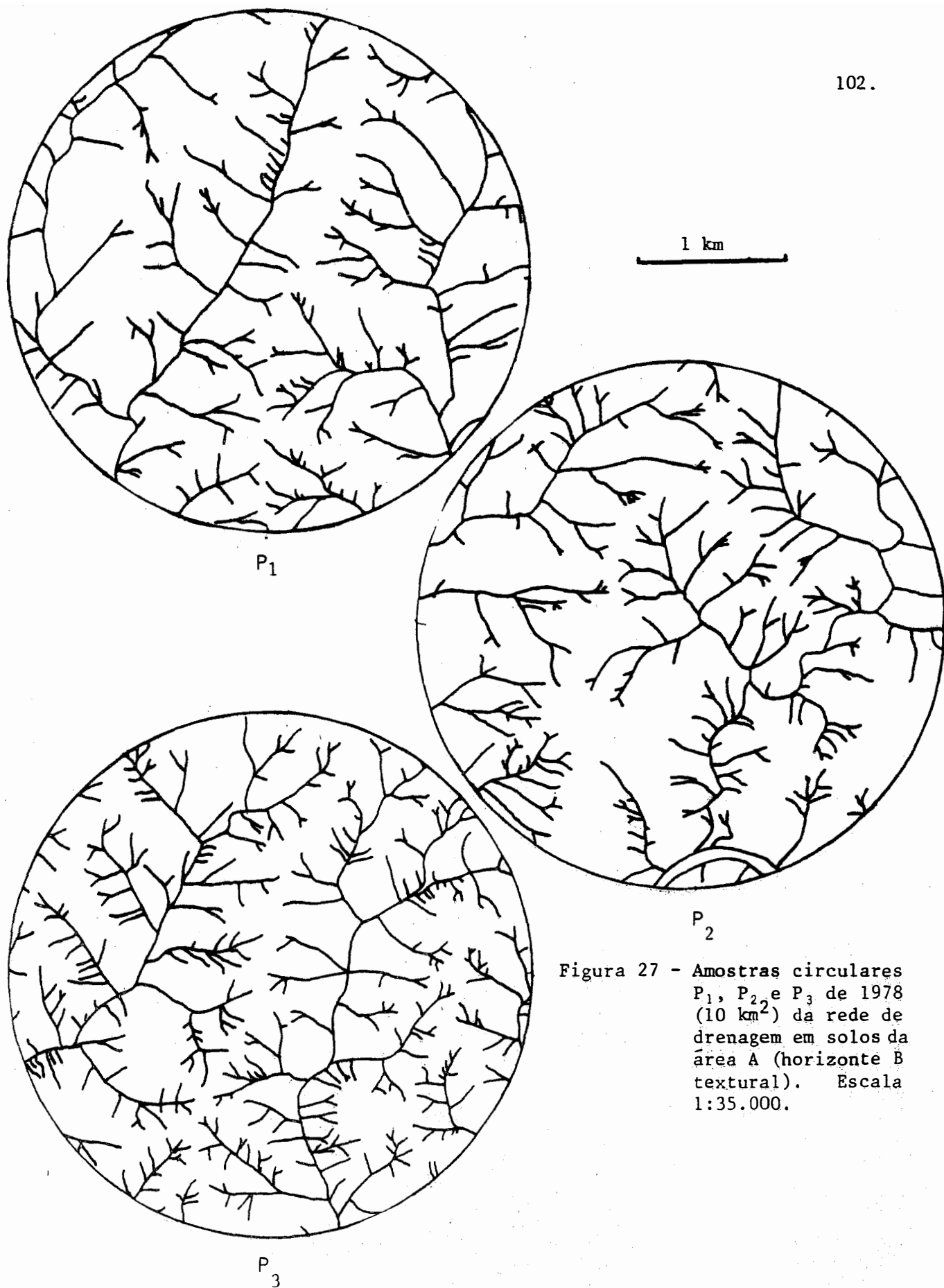


Figura 27 - Amostras circulares P₁, P₂ e P₃ de 1978 (10 km²) da rede de drenagem em solos da área A (horizonte B textural). Escala 1:35.000.

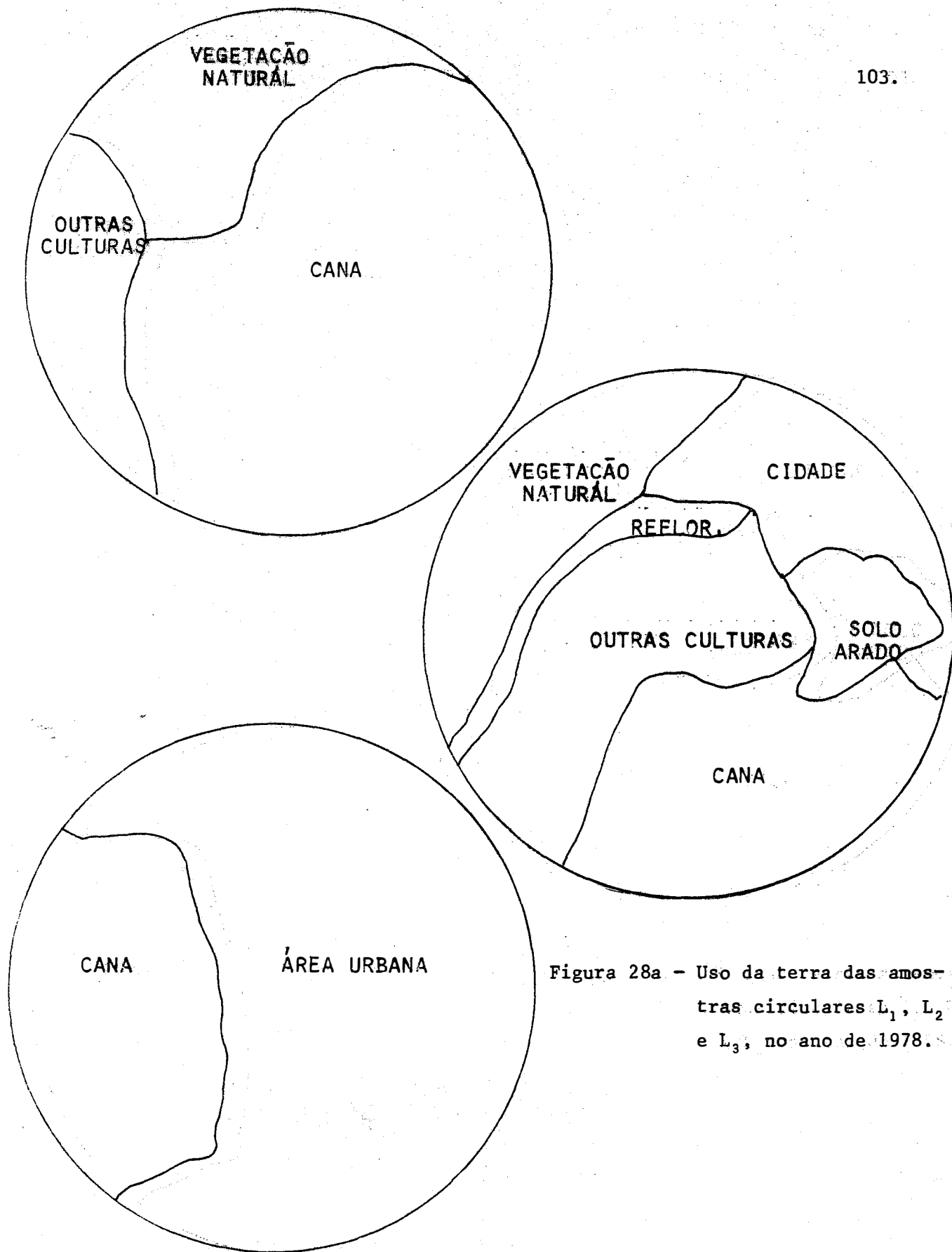


Figura 28a - Uso da terra das amostras circulares L_1 , L_2 e L_3 , no ano de 1978.

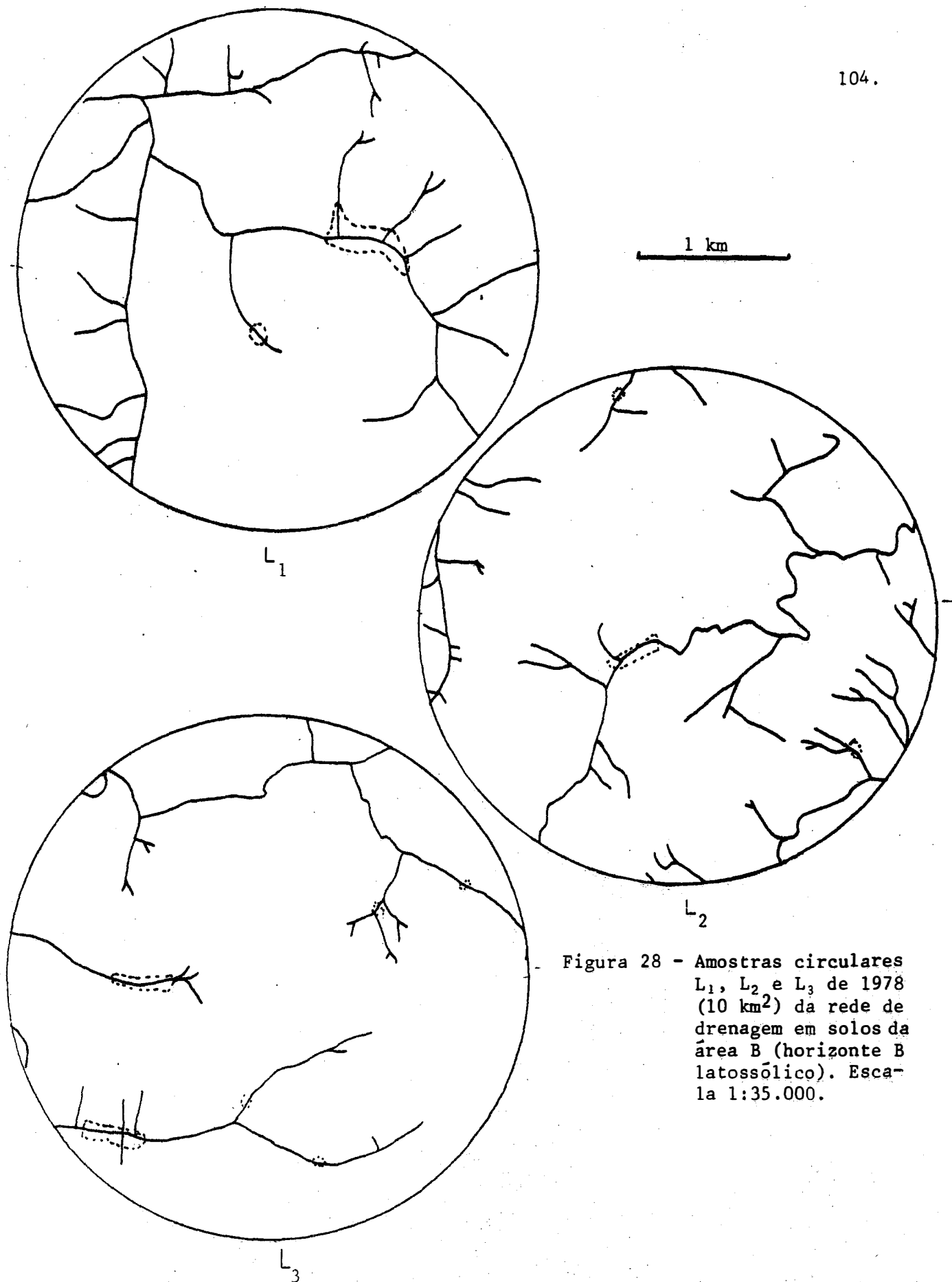


Figura 28 - Amostras circulares L₁, L₂ e L₃ de 1978 (10 km²) da rede de drenagem em solos da área B (horizonte B latossólico). Escala 1:35.000.

Tabela 11 - Características quantitativas do padrão de drenagem das amostras circulares das fotografias aéreas de 1978, representativas das classes de solo estudadas.

CARACTERÍSTICAS QUANTITATIVAS	AMOSTRAS CIRCULARES					
	Solos com B P ₁	Solos com B textural P ₂	Solos com B textural P ₃	Solos com B L ₁	Solos com B L ₂	Solos com B latossólico L ₃
Densidade de drenagem (Dc) média	4,52	5,35	6,09	1,90	1,96	1,50
	s ² = 0,6210			s ² = 0,0567		
	5,32 ± 0,45			1,77 ± 0,14		
Frequência de rios (Fc) média	17,80	20,50	32,80	2,90	4,20	2,80
	s ² = 63,93			s ² = 0,61		
	23,70 ± 4,62			3,30 ± 0,45		
Razão de textura (Tc) média	15,88	18,29	29,29	2,59	3,74	2,50
	s ² = 50,86			s ² = 0,48		
	21,14 ± 4,12			2,94 ± 0,40		

4.5.2 - Características quantitativas dos padrões de drenagem

A Tabela 11 apresenta as características quantitativas da rede de drenagem das amostras circulares das fotografias aéreas obtidas em 1972.

As mesmas considerações feitas anteriormente são válidas para as amostras circulares obtidas das fotografias aéreas de 1978.

4.6 - Variação das Características Quantitativas com as Diferentes Épocas

Os valores médios das características quantitativas, obtidos nas amostras circulares das fotografias aéreas de 1940, 1962, 1972 e 1978 foram reunidos na Tabela 12. Com o auxílio desses valores, foram elaborados os gráficos representados nas Figuras 29, 30 e 31, que mostram a tendência da variação dos índices de drenagem, nas diferentes épocas.

A densidade de drenagem, Figura 29, mostra no presente estudo, uma variação linear crescente, no sentido de 1940 para 1978 nos solos com horizonte B textural, enquanto os solos com horizonte B latossólico praticamente não sofreram alteração.

A frequência de rios sofreu uma variação semelhante à da densidade de drenagem nos solos com horizonte B textural; no entanto, na área de solos com horizonte B latossólico nota-se uma

Tabela 12 - Média das características quantitativas das amostras circulares nas classes de solo estudadas, nas diferentes épocas.

ANO	SOLOS COM B TEXTURAL			SOLOS COM B LATOSSÓLICO		
	Dc	Fc	Tc	Dc	Fc	Tc
1940	4,48	15,83	14,12	2,01	5,60	4,99
1962	4,65	16,90	15,07	1,52	2,13	1,90
1972	5,07	19,80	17,66	1,60	2,50	2,23
1978	5,32	23,70	21,14	1,77	3,30	2,94

$$Dc = \frac{L}{A} ; Fc = \frac{N}{A} ; Tc = \frac{N}{P}$$

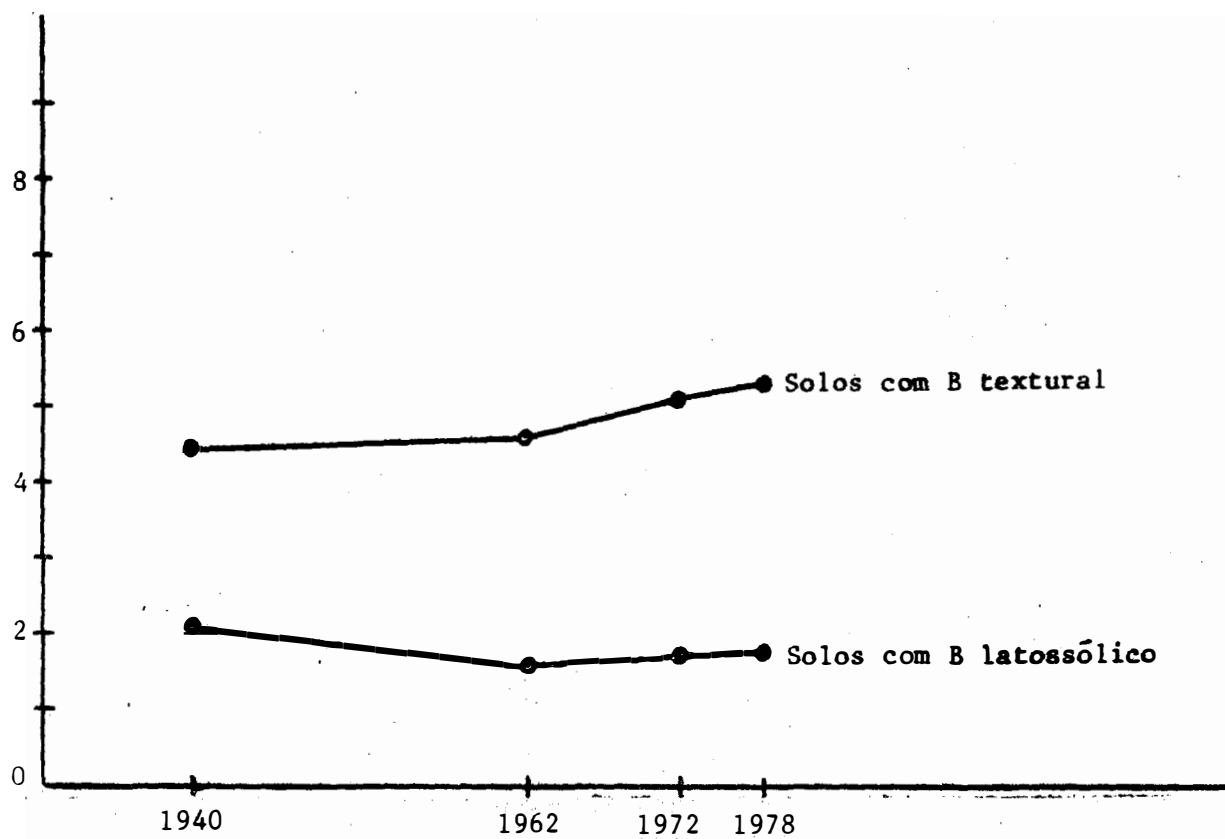


Figura 29 - Variação dos Índices de densidade de drenagem (Dc) em amostras circulares dos solos estudados, nas diferentes épocas (1940, 1962, 1972 e 1978).

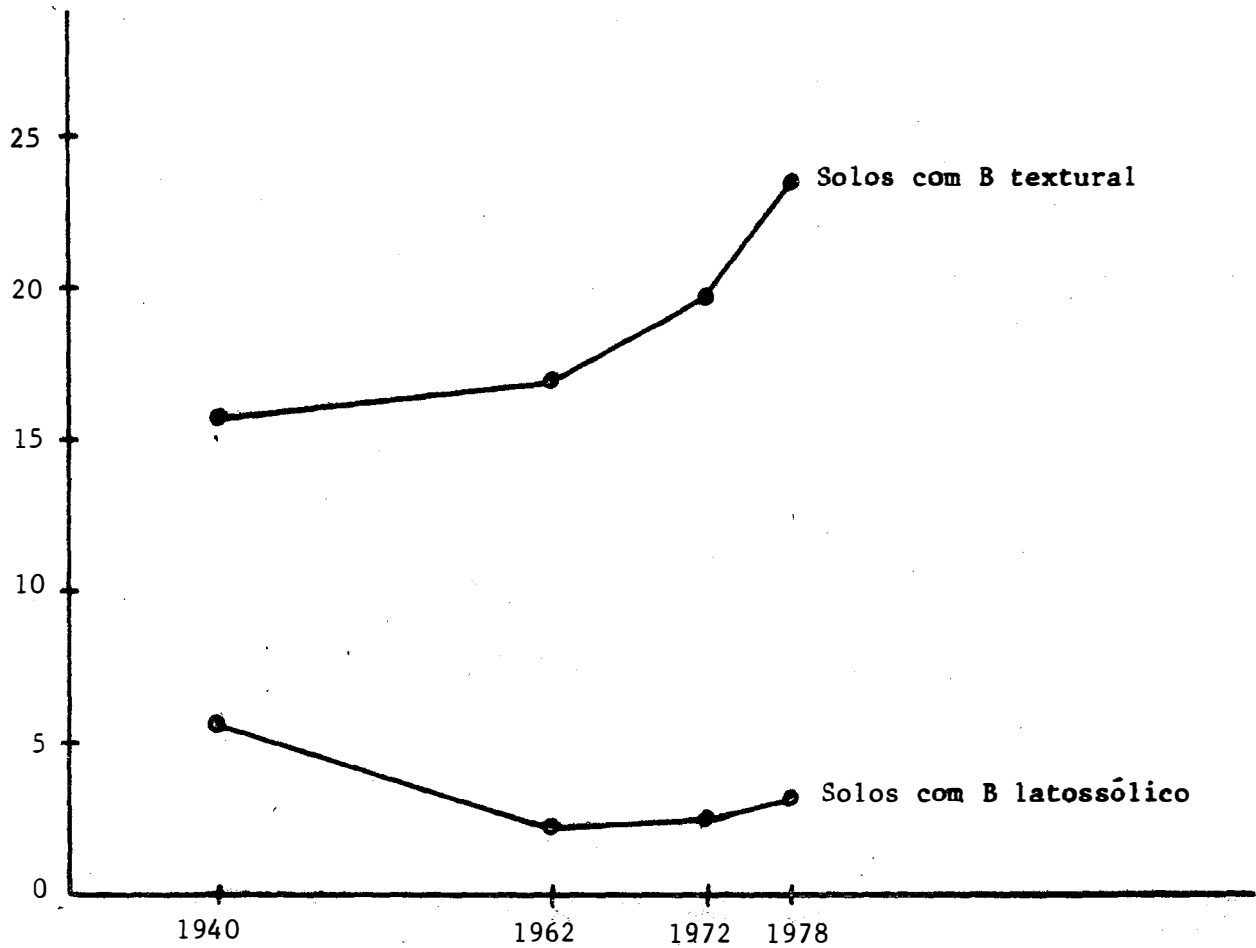


Figura 30 - Variação dos Índices de frequência de rios (Fc) obtidos em amostras circulares representativas dos solos estudados, nas diferentes épocas (1940, 1962, 1972 e 1978).

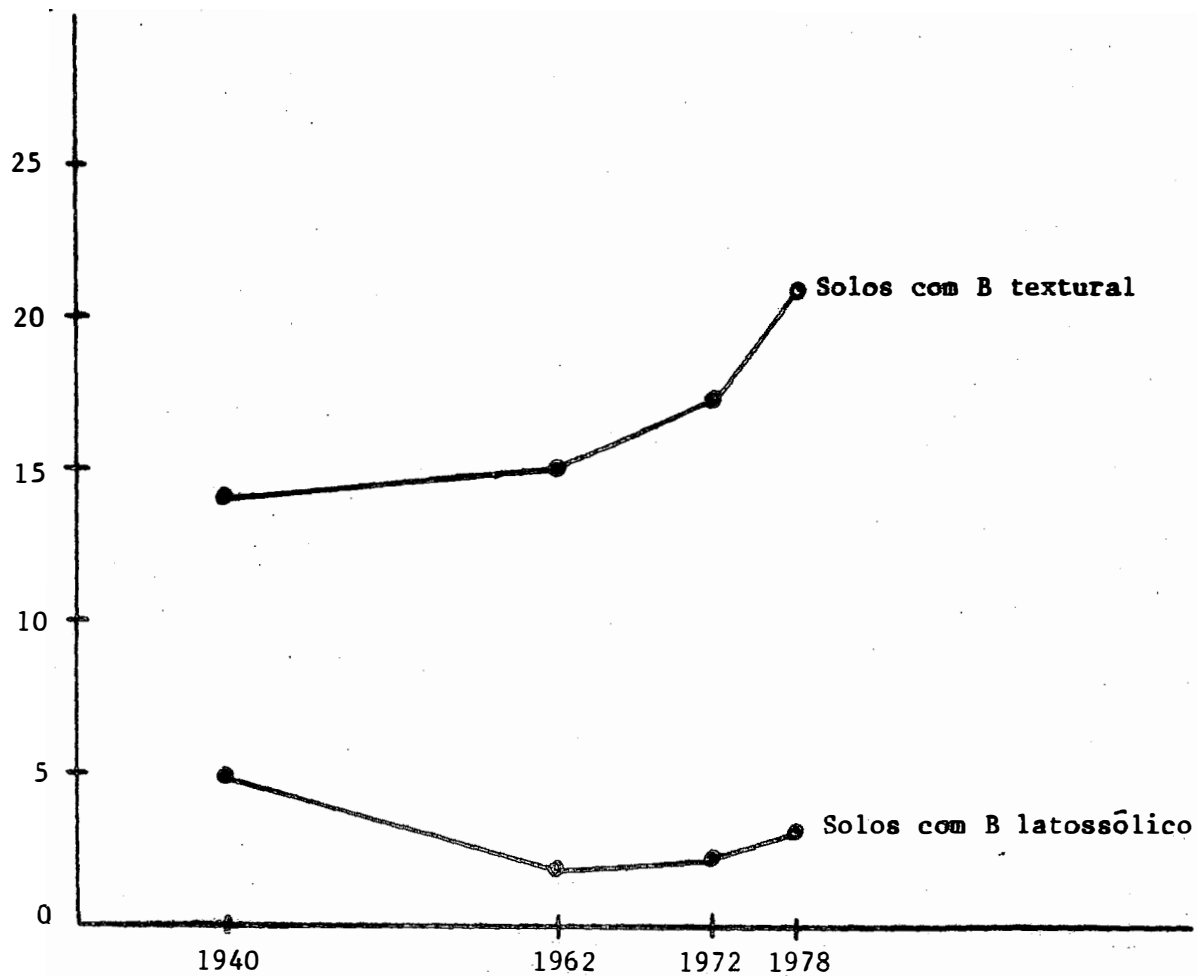


Figura 31 - Variação dos Índices de razão de textura (Tc) obtidos em amostras circulares representativas dos solos estudados, nas diferentes épocas (1940, 1962, 1972 e 1978).

queda acentuada entre 1940 e 1962, para depois ocorrer um aumento dos valores até atingir 1978, Figura 30. Esta mesma tendência pode ser observada nos valores de razão de textura, Figura 31.

O aumento dos valores numéricos dos índices de drenagem ocorrido nas áreas de solos com horizonte B textural, a partir de 1940 até 1978, é facilmente explicado pela maior susceptibilidade à erosão destes solos, quando comparados com os solos possuindo horizonte B latossólico, conforme concluíram vários autores (COMISSÃO DE SOLOS, 1960; FREIRE e PESSOTTI, 1974; LOMBARDI NETO e BERTONI, 1975).

O decréscimo dos valores dos índices de drenagem ocorrido nas áreas de solos com horizonte B latossólico, entre 1940 e 1962, deve ser atribuído às diferentes atividades agrícolas destas épocas, pois em 1940 a atividade agrícola da região se caracterizava pela policultura, como informam NEME (1939), AMARAL (1958) e LOMBARDO (1978), onde as cabeceiras das redes de drenagem eram conservadas. A partir de 1950, segundo LOMBARDO (1978), instalou-se definitivamente na região a agro-indústria canavieira, com grande utilização de máquinas e desta forma destruindo não só as matas, como também as cabeceiras das redes de drenagem das áreas de solos com horizonte B latossólico. As Figuras 9a, 10a, 11a, 12a, 13a, 14a, 15a, 16a, 17a, 18a, 19a, 20a, 21a, 22a, 23a, 24a, 25a, 26a, 27a e 28a, que complementam as Figuras das amostras circulares, mostram a atividade agrícola das diferentes épocas.

4.7 - Análise Estatística

4.7.1 - Teste de Friedman

Para a aplicação do teste de Friedman, os índices de densidade de drenagem, frequência de rios e razão de textura foram ordenados conforme as Tabelas 13, 14 e 15, respectivamente.

Tabela 13 - Classificação dos índices de densidade de drenagem das amostras circulares (Dc) para a aplicação do teste de Friedman.

AMOSTRAS	A N O S			
	1940	1962	1972	1978
<u>Solos com horizonte B textural</u>				
P ₁	4,06 (2)	4,02 (1)	4,43 (3)	4,52 (4)
P ₂	4,36 (1)	4,85 (2)	5,08 (3)	5,36 (4)
P ₃	5,02 (1)	5,08 (2)	5,72 (3)	6,09 (4)
Total	(4)	(5)	(9)	(12)
<u>Solos com horizonte B latossólico</u>				
L ₁	2,50 (4)	1,67 (1)	1,75 (2)	1,85 (3)
L ₂	1,96 (3,5)	1,72 (1)	1,80 (2)	1,96 (3,5)
L ₃	1,58 (4)	1,17 (1)	1,25 (2)	1,50 (3)
Total	(11,5)	(3)	(6)	(9,5)

Obs.: Os números entre parênteses representam as ordens, obedecendo-se a escala de classificação dentro de cada bloco.

Tabela 14 - Classificação dos índices de frequência de rios das amostras circulares para a aplicação do teste de Friedman.

AMOSTRAS	A N O S			
	1940	1962	1972	1978
<u>Solos com horizonte B textural</u>				
P ₁	12,20 (1)	13,40 (2)	17,70 (3)	17,80 (4)
P ₂	16,50 (1)	17,90 (2)	19,20 (3)	20,50 (4)
P ₃	18,80 (1)	19,40 (2)	22,50 (3)	32,80 (4)
Total	(3)	(6)	(9)	(12)
<u>Solos com horizonte B latossólico</u>				
L ₁	6,70 (4)	2,00 (1)	2,20 (2)	2,90 (3)
L ₂	6,10 (4)	3,20 (1)	3,30 (2)	4,20 (3)
L ₃	4,00 (4)	1,20 (1)	2,00 (2)	2,80 (3)
Total	(12)	(3)	(6)	(9)

Tabela 15 - Classificação dos índices de razão de textura das amostras circulares para a aplicação do teste de Friedman.

AMOSTRAS	A N O S			
	1940	1962	1972	1978
<u>Solos com horizonte B textural</u>				
P ₁	10,88 (1)	11,95 (2)	15,79 (3)	15,88 (4)
P ₂	14,72 (1)	15,97 (2)	17,13 (3)	18,29 (4)
P ₃	16,77 (1)	17,30 (2)	20,07 (3)	29,26 (4)
Total	(3)	(6)	(9)	(12)
<u>Solos com horizonte B latossólico</u>				
L ₁	5,97 (4)	1,78 (1)	1,96 (2)	2,59 (3)
L ₂	5,44 (4)	2,85 (1)	2,94 (2)	3,74 (3)
L ₃	3,57 (4)	1,07 (1)	1,78 (2)	2,50 (3)
Total	(12)	(3)	(6)	(9)

Os resultados obtidos constam da Tabela 16, onde α assumiu os valores 0,017 e 0,002, ou ainda, ficou dentro do intervalo $0,002 < \alpha < 0,017$. Estes são os níveis mínimos de significância em que se rejeitaria H_0 ($H_0: A_1 = A_2 = A_3 = A_4$), em favor de H_a (H_a : pelo menos duas épocas diferem entre si quanto aos índices de drenagem). Estes níveis estão dentro da faixa em que usualmente se rejeita H_0 e, portanto, pode-se dizer que existem pelo menos duas épocas que diferem entre si.

Tabela 16 - Resultados obtidos pelo teste de Friedman.

CARACTERÍSTICAS	B TEXTURAL		B LATOSSÓLICO	
	χ^2	α	χ^2	α
Densidade de drenagem	8,2	0,017	8,6	$0,002 < \alpha < 0,017$
Frequência de rios	9	0,002	9	0,002
Razão de textura	9	0,002	9	0,002

Verifica-se que, para a área de solos com horizonte B textural, a menor ordem foi dada para o ano de 1940, enquanto a maior foi dada ao ano de 1978; na área de solos com horizonte B latossólico, a menor ordem foi dada ao ano de 1962 e a maior ordem ao ano de 1940.

4.7.2 - Comparações múltiplas

Devido à significância do teste de Friedman e, portanto, à rejeição de H_0 , necessário se fez aplicar as comparações múltiplas. As diferenças $R_i - R_j$ para todos os índices de drenagem foram:

a) Solos com horizonte B textural

a.1) Densidade de drenagem

$$\begin{array}{ll} |R_1 - R_2| = 1 & |R_2 - R_3| = 4 \\ |R_1 - R_3| = 5 & |R_2 - R_4| = 7 \\ |R_1 - R_4| = 8 & |R_3 - R_4| = 3 \end{array}$$

a.2) Frequência de rios e razão de textura

$$\begin{array}{ll} |R_1 - R_2| = 3 & |R_2 - R_3| = 3 \\ |R_1 - R_3| = 6 & |R_2 - R_4| = 6 \\ |R_1 - R_4| = 9 & |R_3 - R_4| = 3 \end{array}$$

b) Solos com horizonte B latossólico

b.1) Densidade de drenagem

$$\begin{array}{ll} |R_1 - R_2| = 8,5 & |R_2 - R_3| = 3 \\ |R_1 - R_3| = 5,5 & |R_2 - R_4| = 6,5 \\ |R_1 - R_4| = 2 & |R_3 - R_4| = 3,5 \end{array}$$

b.2) Frequência de rios e razão de textura:

$$\begin{array}{ll} |R_1 - R_2| = 9 & |R_2 - R_3| = 3 \\ |R_1 - R_3| = 6 & |R_2 - R_4| = 6 \\ |R_1 - R_4| = 3 & |R_3 - R_4| = 3 \end{array}$$

Os valores Δ_1 obtidos na tabela de CAMPOS (1976) foram 8 e 9, a uma taxa de erro experimental que corresponde a igual a 0,049 e 0,007, respectivamente. Estes resultados mostram que a um nível de $\alpha = 0,049$ ou 0,007, no caso de solos com horizonte B textural, as amostras circulares das fotografias aéreas de 1940, diferem das amostras obtidas a partir das fotografias aéreas de 1978. Para os solos com horizonte B latossólico houve diferença estatística entre as amostras circulares das fotografias aéreas de 1940 com as amostras obtidas das fotografias aéreas de 1962.

As demais comparações não foram estatisticamente significativas.

Estes resultados sugerem que a cultura da cana-de-açúcar completou a ocupação dos solos da área B (horizonte B Latossólico) por volta de 1962; enquanto a ocupação dos solos da área A (horizonte B textural) se completou depois, por volta de 1978.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos, analisados e interpretados, permitiram tirar as conclusões apresentadas a seguir.

5.1 - Características dos padrões de drenagem

As redes de drenagem das áreas analisadas evidenciaram as características apresentadas a seguir.

1) Solos da área A (horizonte B textural):

- a) Padrão de drenagem do tipo dendrítico, com angularidade moderada e com grau de controle moderado, evidenciando a proximidade do substrato rochoso;
- b) Os valores de densidade de drenagem apresentam uma pequena variação ascendente no período de tempo estudado;

- c) Os valores de frequências de rios também apresentam uma variação ascendente no período de tempo estudado;
- d) Do mesmo modo, os valores de razão de textura também apresentam uma variação ascendente durante o período estudado.

2) Solos da área B (horizonte B latossólico):

- a) Padrão de drenagem do tipo sub-paralelo, frequentemente associado com depressões e baixadas úmidas;
- b) Os valores de densidade de drenagem sofreram uma diminuição, quando comparadas as amostras circulares obtidas das fotografias aéreas de 1940 com as de 1962; após este período, os valores sofreram um acréscimo muito pequeno;
- c) Os valores de frequência de rios também variaram como foi descrito no item anterior;
- d) Do mesmo modo, a razão de textura variou como a densidade de drenagem e a frequência de rios.

5.2 - Conclusões Gerais

- a) As características dos padrões de drenagem foram condicionadas pela natureza e propriedades dos solos, pela natureza e profundidade do substrato rochoso, pela posição que ocupam no relevo regional e, também, pela cobertura vegetal existente e pelo uso da terra em cada período estudado.

b) Os solos da área A (horizonte B textural) apresentaram valores mais altos, para todos os índices de drenagem analisados, que os solos da área B (horizonte B latossólico).

c) Os índices de drenagem diferem entre si nas épocas extremas, isto é, 1940 com 1978, no caso de solos da área A, e nos solos da área B diferem entre si os índices de drenagem obtidos das amostras de 1940 com os obtidos das amostras de 1962, como demonstra o Teste de Friedman.

d) O sistema de amostragem circular mostrou-se eficiente e prático para a análise quantitativa dos padrões de drenagem, nas fotografias aéreas de todo o período de tempo estudado.

e) A lavoura canavieira completou a ocupação dos solos da área B (horizonte B Latossólico) por volta de 1962; enquanto a ocupação dos solos da área A (horizonte B textural), só ocorreu por volta de 1978.

6. LITERATURA CITADA

- AMARAL, A.Z. e R. AUDI, 1972. Fotopedologia. In: MONIZ, A.C., coord. Elementos de Pedologia. São Paulo, Editora da USP, p. 429-442.
- AMARAL, L., 1958. História Geral da Agricultura Brasileira. São Paulo, Companhia Editora Nacional, 407 p.
- AVERY, T.E., 1977. Interpretations of Aerial Photographs. 3a. ed. Minneapolis, Minnesota, Burgess Publishing Company, 392 p.
- BASTOS, S.A., 1966. Soils Mapping and Aerial Photography on Soils Conservation. In: CONGRESSO PANAMERICANO DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 1., São Paulo, Atas. São Paulo, Secretaria da Agricultura, p. 383-388.
- BELCHER, D.J., 1945. The engineering significance of soil patterns. Photogram. Engineer, 11: 115-148.

- BLOOM, A.L., 1970. Superfície da Terra. Trad. e coment. por S. Petri e R. Ellert. São Paulo, Edgard Blucher Editora e Editora da USP, 184 p.
- BOMBERGER, E.H. e H.W. DILL Jr., 1960. Photo Interpretation in Agriculture. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY - Manual of Photographic Interpretation. Washington, p. 561-632.
- BURING, P., 1960. The Applications of Aerial Photographs in Soil Surveys. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Manual of Photographic Interpretation. Washington, Cap. 11, p. 633-666.
- CAMPOS, H., 1976. Estatística Experimental Não-Paramétrica. Departamento de Matemática e Estatística. Piracicaba, ESALQ/USP, 332 p.
- CARVALHO, W.A., 1977. Fotointerpretação de Bacias Hidrográficas com Amostras Circulares de Redes de Drenagem de Solos com Horizonte B Textural. Piracicaba, ESALQ/USP. 126 p. (Tese de Doutorado).
- CHRISTOFOLETTI, A., 1969. Análise Morfométrica das Bacias Hidrográficas. Notícias Geomorfológicas, Campinas, 9: 35-64.
- COWELL, R.N., 1952. Photographic Interpretation for Civil Purposes. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Manual of Photogrammetry. 2a. ed. Washington, p. 535-602.
- COMISSÃO DE SOLOS DO SERV. NAC. DE PESQ. AGRON., 1960. Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura. 634 p. (Boletim 12).
- DEMATTE, J.L.I., 1976. Curso de Gênese e Classificação de Solos. Apostila do Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes. Piracicaba, ESALQ/USP.

- 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).
- DUNBAR, R.A., 1969. Problems of Interpretation in Tropical Regions. In: Aerial Photographic Interpretation: Principles and Applications. New York, McGraw-Hill, p. 426-427.
- FADEL, H., 1972. Fotointerpretação de Bacias e de Redes de Drenagem de Três Séries de 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 de 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 dos três solos da região de Alpinópolis, Minas Gerais. Piracicaba, ESALQ/USP. 136 p. (Tese de Doutorado).
- FREIRE, O. e J.E.S. PESSOTTI, 1974. Erodibilidade dos solos do Estado de São Paulo. Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 31: 333-350.
- FROST, R.E., 1960. Photo Interpretation of Soil. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Manual of Photographic Interpretation. Washington, Cap. 5, p. 343-402.
- GEVAERD, I., 1974. Parâmetros Fotoanalíticos de Três Unidades de Solo da Região Nordeste Paranaense. Piracicaba, ESALQ/USP. 110 p. (Dissertação de Mestrado).

- GOOSEN, D., 1968. Interpretation de Fotos Aereas y su Importancia en Levantamiento de Suelos. Roma, Organizacion de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion. 58 p. (Boletim sobre suelos, 6).
- HORTON, R.E., 1945. Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins Hydrolphysical 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 no 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., 1972. Interpretação Fotográfica dos Padrões de Drenagem Desenvolvidos em Dois Solos do Distrito Federal. Piracicaba, ESALQ/USP. 110 p. (Dissertação de Mestrado).
- LOMBARDI NETO, F. e J. BERTONI, 1975. Erodibilidade de Solos Paulistas. Campinas, Instituto Agronômico, 12 p. (Boletim Técnico, 27).
- LOMBARDO, M.A., 1978. Economia de Mercado e Organização do Espaço Agrário: o Exemplo do Município de Cordeirópolis, SP. São Paulo, I.G./USP, 126 p. (Dissertação de Mestrado).
- LUEDER, D.R., 1959. Aerial Photographic Interpretation Principles and Applications. New York, McGraw-Hill Book. 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).
- MORAES REGO, L.F.M., 1932. Notas sobre a Geomorfologia de São Paulo e sua Gênese. Inst. Astr. Geogr. de São Paulo. São Paulo Editora Ltda.
- NOGUEIRA, F. de P., 1979. Utilização de Fotografias Aéreas em Três Escalas no Estudo de Redes de Drenagem em Diferentes Unidades de Solo. Piracicaba, ESALQ/USP. 110 p. (Dissertação de Mestrado).
- NEME, M., 1939. Um Município Agrícola. Separata da Revista do Arquivo Municipal nº LVII, Piracicaba, SP. 96 p.
- PARVIS, M., 1950. Drainage Pattern Significance in Airphoto Identification of Soils and Bedrocks. Photogrammetric Engineering, 16 (3): 387-408, Jun.
- POLITANO, W., 1980. Estudo Fotointerpretativo sobre a Morfometria das Áreas de Dois Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos. Piracicaba, ESALQ/USP, 169 p. (Tese de Doutorado).
- QUACKENBUSH Jr., R.S., 1960. Development of Photointerpretation. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Manual of Photographic Interpretation. Washington, Cap. 1, p. 1-18.
- RABBEN, E.L., 1960. Fundamentals of Photointerpretation. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Manual of Photographic Interpretation. Washington, Cap. 3, p. 99-186.

- RANZANI, G., 1976. Subsídios à Geografia de Piracicaba. Instituto Histórico e Geográfico de Piracicaba-SP. Editora Franciscana. 79 p.
- RAY, R.G., 1963. Fotografias Aéreas na Interpretação e Mapeamento Geológicos. Tradução de Jesuíno Felicíssimo Jr. São Paulo, Instituto Geográfico e Geológico. São Paulo, 163 p.
- RAY, R.G.; W.A. FISCHER, 1960. Quantitative Photography: A Geologic Research Toll. Photogrammetric Engineering, 26(1): 143-150, Mar.
- RICCI, M.; S. PETRI, 1965. Princípios de Aerofotogrametria e Interpretação Geológica. São Paulo, Editora Nacional, 226 p.
- ROTTA, C.L., 1972. Noções Gerais de Geologia. In: MONIZ, A.C. Elementos de Pedologia. São Paulo, Editora da USP. p. 289-303.
- SETZER, J., 1946. Contribuição para o Estudo do Clima do Estado de São Paulo. D.E.R. São Paulo, IX a XI: 1-237. (Separata).
- 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).
- SIMONSON, R.W., 1950. Use of Aerial Photographs in Soil Surveys. Photogrammetric Engineering, 16: 308-668.
- SMITH, K.G., 1950. Standards for Grading Texture of Erosional Topography. Amer. J. Sci., 248: 655-668.
- SOIL SURVEY STAFF, 1962. Soil Survey Manual. United States Department of Agriculture. Washington. 503 p. (Handbook 18).

- 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., 1957. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. Transactions, American Geophysical Union, 38(6): 913-920, Dec.
- STRAHLER, A.N., 1964. Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Networks. In: CHOW, V.T. Handbook of Applied Hydrology. New York, McGraw-Hill Book, Sec. 4, p. II.
- SUMNERSON, C.H., 1954. A Philosophy for Photo Interpretes. Photogrammetric Engineering, 20: 412-417.
- VASQUES FILHO, J., 1972. Critérios Morfométricos Aplicados à Fotointerpretação de Redes de Drenagem em Três Unidades de Solos no 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, Union Panamericana. 136 p. (Manuales Tecnicos, 10).
- VIEIRA, L.S., 1975. Manual da Ciência do Solo. São Paulo, Editora Agronômica Ceres Ltda., 464 p.
- WAY, D.S., 1973. Terrain Analysis. Straudsburg, Dowden Hutchinson e Ross, Inc., 392 p.

WEG, R.F., 1966. Patrones de Drenaje. Bogotá, Centro Interamericano de Fotointerpretación. 25 p.

ZINKE, P.J., 1960. Photo Interpretation of Soil. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Manual of Photographic Interpretation. Washington, Cap. 10, p. 539-560.