

## Introdução à Descrição Micromorfológica de Lâminas Delgadas de Solos PARTE 1

Heloisa Ferreira Filizola<sup>1</sup>  
Marco Antônio Ferreira Gomes<sup>2</sup>

### Introdução

Historicamente, Kubiena (1938) é considerado o precursor da observação de lâminas delgadas de solo. A micromorfologia corresponde a uma escala de observação da cobertura pedológica, indispensável ao entendimento da organização e do funcionamento do solo. O uso adequado da micromorfologia necessita de um conhecimento detalhado da distribuição dos diversos horizontes e volumes do solo, tanto no perfil como na paisagem. Assim a observação micromorfológica é um zoom na organização da cobertura pedológica. A micromorfologia é uma técnica de estudo que utiliza amostras não deformadas de solo e permite, com a ajuda de técnicas microscópicas e ultramicroscópicas, identificar os constituintes elementares (plasma<sup>3</sup>, esqueleto<sup>4</sup>, vazios<sup>5</sup>, etc.) e as diversas associações destes, além de permitir identificar suas relações mútuas no espaço e, muitas vezes, no tempo.

A análise microscópica dos solos corresponde a uma técnica de observação de material pedológico previamente impregnado (PAULA et al., 1991; FILIZOLA & GOMES, 2004), laminado até atingir de 25 a 30  $\mu\text{m}$  de espessura e colado em lâminas de vidro, freqüentemente similares às petrográficas. Dependendo do que se quer observar,

tamanhos maiores podem ser utilizados e, neste caso, são chamadas de lâminas mamutes.

As amostras de solo assim preparadas são observadas com o auxílio de lupas e microscópios óticos polarizantes (Figura 1). As lâminas delgadas podem também ser submetidas à microscopia eletrônica de varredura e à microanálise, desde que não estejam recobertas por lamínula.

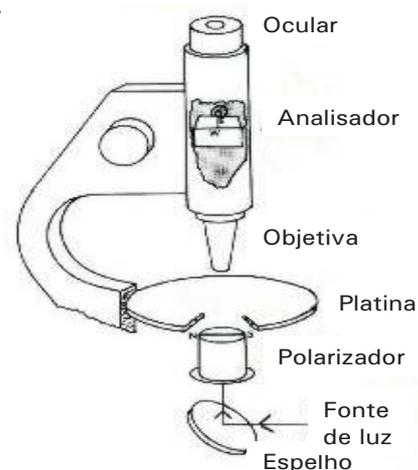


Fig. 1. Esquema de um microscópio ótico.

<sup>1</sup>Bacharel em Geografia, Doutora em Ciências da Terra, Embrapa Meio Ambiente, Rod. SP 340, km 127,5 - Caixa Postal 69, Tanquinho Velho, 13.820-000 Jaguariúna, SP. filizola@cnpma.embrapa.br

<sup>2</sup>Geólogo, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Embrapa Meio Ambiente, Rod. SP 340, km 127,5 - Caixa Postal 69, Tanquinho Velho, 13.820-000 Jaguariúna, SP. gomes@cnpma.embrapa.br

<sup>3</sup>Plasma: constituído pela fração argila

<sup>4</sup>Esqueleto: constituído pelas frações areia e silte

<sup>5</sup>Vazio: corresponde à porosidade do solo

A amostragem de solos para obtenção de lâminas delgadas busca responder a duas preocupações intimamente ligadas:

- Caracterização da micro-organização de horizontes e volumes de solo.
- Estudo, na escala microscópica, de uma transição entre duas organizações macroscópicas. Por isto a amostragem para lâminas deve corresponder a questões precisas.

É importante ressaltar que ao se trabalhar sobre lâminas delgadas, está se trabalhando bidimensionalmente, portanto há dificuldades para cálculos volumétricos.

## A cobertura pedológica

O solo pode ser interpretado como resultante da alteração das rochas e da pedogênese, englobando uma série de processos como pseudomorfose<sup>6</sup>, neoformações<sup>7</sup>, transferências e acumulações de matéria, pedoturbações, etc. que promovem a formação dos horizontes do solo cuja estrutura nada mais tem a ver com aquela da rocha mãe (Figura 2).



Fig. 2. Solo desenvolvido *in situ* a partir de gneiss (SP).

Os níveis de organização da cobertura pedológica estão embutidos uns nos outros e suas ordens de grandeza variam do quilômetro (km) ao micrometro (mm) ou mesmo ao angström (Å). Isto significa que dentro de uma cobertura pedológica ocorrem diferentes horizontes e volumes de solos que se superpõem, justapõem, superimpõem, etc. e que devem ser identificados em campo mediante a abertura de trincheiras ou em cortes de estrada. Cada um desses horizontes é composto por um conjunto de agregados e vazios que quando cortados e colados a lâminas permitem identificar, na escala micromorfológica, o arranjo dos constituintes que compõe o fundo matricial.

A micromorfologia de solos permite a identificação e o estudo detalhado dos constituintes dos horizontes do solo e de suas relações (tipos de organização, hierarquia e cronologia das organizações) e é uma ferramenta importante nas deduções a respeito de processos pedológicos. A micromorfologia da alteração da rocha permite o

acompanhamento de todas as transformações sofridas por esta até tornar-se solo.

## Descrição sumária de lâminas delgadas

### 1. Organização do trabalho:

- As lâminas devem estar numeradas de acordo com a identificação de campo.
- Tenha sempre a figura de localização das lâminas.
- Organize uma lista de controle com os códigos de campo.
  - Em caso de lâminas grandes (5x7 ou 9x13 cm), construir régua com papel milimetrado para estabelecer as coordenadas dos pontos de observação.
  - Verificar se o microscópio está regulado corretamente (voltagem, iluminação, limpeza das lentes, distância interpupilar, oculares).
  - Tenha à mão roteiros para descrição, manuais, textos, apostilas, etc. para consulta.
  - Faça as anotações em um caderno grande por causa dos desenhos a serem feitos.
  - A cada nova lâmina anote o número da mesma, número do perfil ou do corte de estrada, em que horizonte ou volume está localizada, profundidade, ou construa um cabeçalho padrão que contenha as informações acima. No final de cada descrição anote os números das fotos que forem tiradas.
  - Faça as observações preferencialmente de baixo para cima no perfil.
  - Com auxílio de lupa binocular ou de retroprojeter desenha, em um croqui da lâmina, os conjuntos diferenciáveis (se houver), identificando-os, e anotando o que os diferencia.
  - Observe cada conjunto com a lupa, sob aumentos progressivamente maiores, anote os detalhes de cada zona, faça desenhos em escala.
  - Sob o microscópio, inicie a observação sob baixo aumento (lentes de 1 ou 2,5X) e percorra toda a superfície da lâmina sistematicamente, deslocando o campo a curtos intervalos verticais, percorrendo todas as linhas horizontais. Após o reconhecimento da lâmina vá a cada conjunto delimitado anteriormente.
  - Observe inicialmente sob luz normal depois cruze os nicóis e faça anotações do que viu em cada área mapeada.
  - Passe a aumentos progressivamente maiores e repasse cada zona completando as observações feitas anteriormente; se necessário faça desenhos em escala mais detalhada ao lado dos desenhos mais gerais da lâmina e de cada conjunto. Não esqueça de adotar legenda apropriada e clara.
  - A descrição pode ser na forma de texto, ou, se preferir, preencher fichas mais ou menos padronizadas, mas sempre seguindo uma ordem ou sistemática de descrição: conjuntos, fundo matricial (esqueleto, poros, plasma), distribuição e arranjo dos constituintes do solo, feições

<sup>6</sup>Pseudomorfose: processo de alteração parcial ou total de um mineral primário em secundário com a preservação da forma original.

<sup>7</sup>Neoformação: processo de formação de mineral secundário a partir da cristalização *in situ* de produtos resultantes dos processos de dissolução, hidrólise, etc..

pedológicas, etc..

- Observe detalhadamente as transições de um conjunto para o outro, de uma feição para o entorno, etc..
- Tente estabelecer hierarquia e cronologia para o que foi observado na lâmina.
- Passe à lâmina seguinte e repita todos os procedimentos anteriores até concluir o perfil.
- Reúna as observações na ordem das lâminas analisadas e descritas, tente estabelecer a hierarquia e cronologia das organizações no perfil.
- Tire fotos das organizações representativas de cada lâmina, de cada conjunto e ainda de feições pedológicas importantes. Relacione as fotos anotando a escala de referência de cada uma, o aumento utilizado, a que se refere a foto e a que lâmina corresponde.

Todo este material mais os dados de campo e de laboratório (análises físicas, químicas e mineralógicas) deverão ajudá-lo propor mecanismos e processos responsáveis pela evolução do solo em questão. Verifique sempre as relações entre a macro e a microescala de observação.

## Conceitos básicos

1. Fundo matricial: é o conjunto do plasma + esqueleto + poros.

1.1. Plasma: constituído por partículas menores que 2  $\mu\text{m}$ , granulometricamente classificadas como fração argila, não sendo possível identificá-las por microscópio.

1.2. Esqueleto: constituído por partículas maiores que 2  $\mu\text{m}$ , granulometricamente classificadas como silte e areia. É constituído por minerais primários (quartzo, feldspatos, micas, etc.) ou por feições pedológicas como nódulos, por exemplo.

1.3. Poros - são vazios ou orifícios de diferentes formas e tamanhos. São originados principalmente por processos mecânicos e biológicos. A porosidade do fundo matricial corresponde aos poros interagregados, mas há também a porosidade intragregados e transgregados.

2. Agregado - unidade reconhecível no solo, e que consiste em um aglomerado de partículas, que se separa das unidades vizinhas por poros, revestimentos, etc.. Um solo pode ser pédico (com agregados) ou apédico (sem agregados). O agregado elementar ou primário é a unidade de base da micromorfologia, um agregado elementar (unidade menor) pode combinar-se com outro(s) e com feições pedológicas e dar origem a agregados secundários, que agrupados tornam-se terciários e assim por diante.

3. Feição pedológica - unidade reconhecível no solo e que se distingue do material vizinho por diferenças na concentração de uma fração do plasma ou na *fabric* (arranjo dos constituintes), ou ainda corpos estranhos (de origem

sedimentar ou biológica).

4. Estrutura: Pode ser definida como a constituição física de um material pedológico expressa pelo tamanho, a forma e o arranjo das partículas sólidas e poros formando agregados ou não. A agregação do material leva à formação de volumes (agregados) com estruturas de diferentes formas geométricas e em diferentes graus de desenvolvimento.

Esta primeira parte da publicação tratará somente da distribuição relativa e da orientação do fundo matricial.

■ Padrões de distribuição: são aplicados para qualquer componente ou constituinte do solo – plasma, esqueleto, vazios, feições pedológicas. Podem ser:

- de base – relação entre os indivíduos semelhantes: aleatória, agrupada, em bandas, concêntrica, radial.
- referenciada: arranjo de um dos constituinte em relação à uma feição específica.
- relativa: relação entre os distintos componentes e a distribuição dos grupos de indivíduos de diferentes tipos (plasma X esqueleto; plasma X poros) do fundo matricial.

■ Padrões de orientação: sob nicóis cruzados o material anisotrópico extingue ou ilumina quando há um arranjo dos mesmo numa direção particular. Podem ser:

- de base – é o padrão de orientação entre os indivíduos semelhantes: forte, moderada, fraca, sem orientação, indeterminada. Para o plasma anisotrópico é utilizado o fenômeno de extinção para a detecção da orientação.
- referenciada: arranjo de um dos constituinte em relação à uma feição específica. A avaliação é similar à da orientação de base
- relativa: relação entre os distintos componentes (plasma X esqueleto; plasma X poros) do fundo matricial.

Para facilitar a interpretação e a comparação das lâminas a serem analisadas é importante que a observação e a descrição sigam uma ordem, conforme proposto a seguir.

1. Análise do esqueleto: O conjunto dos grãos deve ser descrito quanto à

- Frequência (Figura 3)
- muito dominante: > 70%
- dominante: 50-70%
- comum: 30-50%
- freqüente: 15-30%
- pouco: 5-15%
- muito pouco: <5%

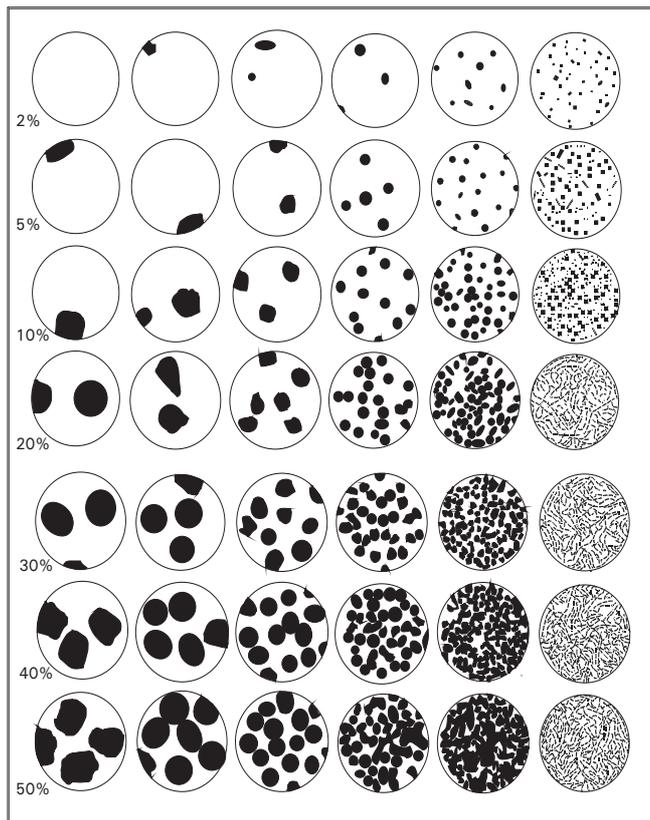


Fig. 3. Padrão de frequência de grãos do esqueleto (adaptado de Fitzpatrick, 1984).

- Dimensão
  - silte: 2 - 50  $\mu\text{m}$
  - areia muito fina: 50 - 100  $\mu\text{m}$
  - areia fina: 100 - 200  $\mu\text{m}$
  - areia média: 200 - 500  $\mu\text{m}$
  - areia grossa: 500 - 1000  $\mu\text{m}$
  - areia muito grossa: 1000 - 2000  $\mu\text{m}$
- Grau de seleção
  - perfeitamente selecionado: só uma fração presente
  - bem selecionado: 5 a 10% de contribuição de outras frações
  - moderadamente selecionado: 10 a 30% de distribuição de outras frações
  - pobremente selecionado: não há fração dominante
  - mal selecionado: há grande variedade de frações

Os constituintes do esqueleto devem ainda ser descritos quanto à:

- Textura superficial: forma em que se encontram as superfícies externas dos grãos (ex.: cariados, picotados, polidos, ferruginizados, etc.);
- Esfericidade (arredondamento, angulosidade) é avaliada por meio de comparação visual utilizando tabelas como propostas por Pettijohn (1975), Suguio (1980), Briggs (1977), etc. (Figura 4);
- Mineralogia - para a identificação mineralógica dos grãos constituintes do esqueleto utiliza-se critérios óticos encontrados em manuais de mineralogia como os de

Winchell (1951), Phillips (1971), Fabries et al. (1982) e atlas de micromorfologia como os de Delvigne (1998), o de MacKenzie & Guilford (1988), dentre outros.

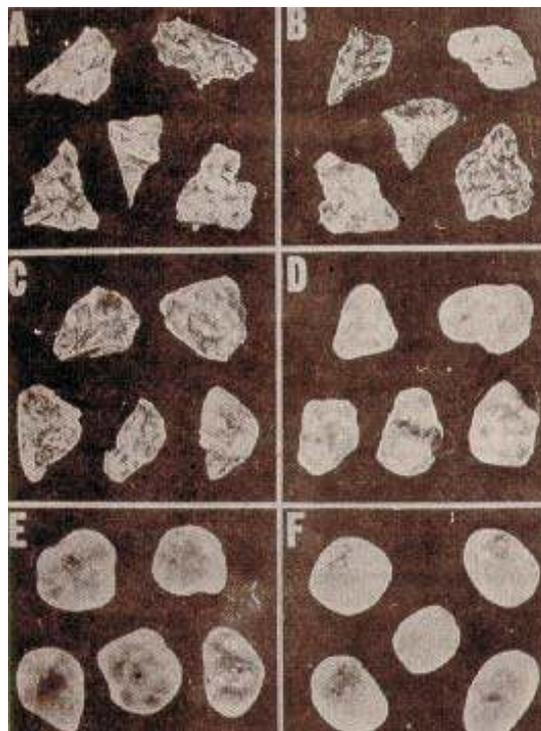


Fig. 4. Classes usadas para determinações de arredondamento: A = muito angulosa; B = angulosa; C = subangulosa; D = subarredondada; E = arredondada; F = bem arredondada. Fonte: Shepard, 1967 in Suguio (1980).

2. Porosidade (vazios): corresponde aos poros intragregados, intergregados e transgregados. Estes devem ser descritos quanto à:

- Dimensão
  - macroporos: de 75 a 5000  $\mu\text{m}$
  - mesoporos: de 30 a 75  $\mu\text{m}$
  - microporos: de 5 a 30  $\mu\text{m}$  (limite do microscópio ótico)
    - ultramicroporos: de 0,1 a 5  $\mu\text{m}$  (visíveis com microscópio eletrônico)
    - criptoporos: < 0,1  $\mu\text{m}$  (visíveis com microscópio eletrônico)

■ Forma: intergranulares ou de empilhamento, cavidades, vesículas, canais, alvéolos ou câmaras e fissuras (Figura 5). Dependendo do tipo de material, as vezes é difícil distinguir os canais das fissuras.

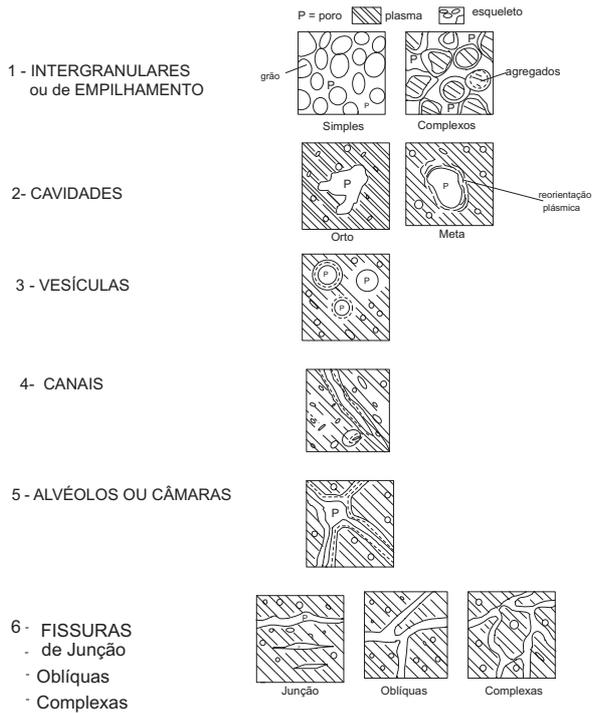


Fig. 5. Classificação morfológica dos poros (adaptado de Brewer, 1976).

■ Origem:

- criados no processo de pedogênese: pedoporos
- criados pela ação biológica (fauna e flora), geralmente cortam estruturas pré-existentes e têm forma de canais e alvéolos: bioporos.

3. Plasma: o plasma deve ser descrito quanto à

■ Constituição: argila (mineralógica), minerais muito pequenos (fração argila), poeiras, cinzas, sais, óxidos e hidróxidos, matéria orgânica.

■ Cor: deve ser descrita tanto sob luz normal como sob luz polarizada (nicóis cruzados), algumas vezes também sob luz refletida. Para a padronização das cores geralmente é utilizada a "Munsell Soil Color Charts".

■ Orientação no interior do plasma: corresponde à orientação relativa dos cristais elementares. A nitidez da extinção do conjunto indica o grau de orientação das argilas (forte, moderada, fraca, sem orientação ou ainda indeterminada quando o plasma é isotrópico por causa da sua natureza cristalográfica ou opacidade). A orientação pode ser contínua, estriada e manchada (Figura 6).



Fig. 6. Padrões de extinção.

■ Distribuição: de base, referenciada e relativa para o esqueleto.

Vários autores propuseram diversas classificações da distribuição relativa do fundo matricial, mas aqui será apresentada somente aquela proposta por Brewer (1976).

➢ porfiroesquérica: Quando o plasma é contínuo e envolve os grãos do esqueleto (Figura 7a).

aglomeroplásmica: O plasma ocorre solto, desprendido ou como preenchimento incompleto entre os grãos do esqueleto (Figura 7b).

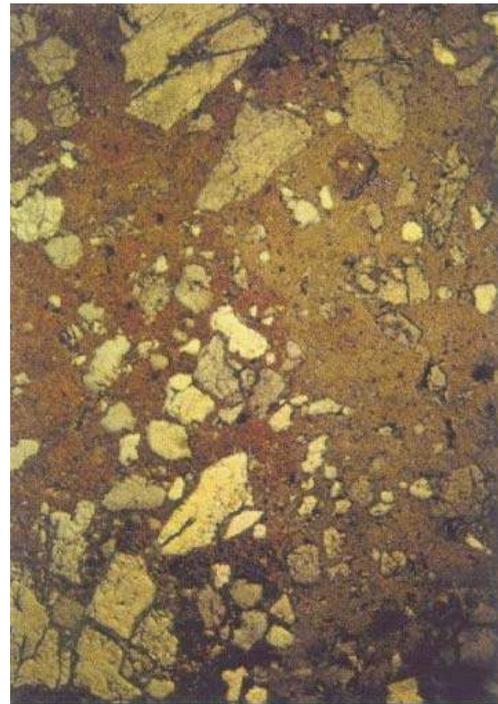


Fig. 7a (LN): Fundo matricial porfiroesquérico (Filizola, 1993).



Fig. 7b (LN): Fundo matricial aglomeroplásmico (Filizola, 1993).

- intertética: Os grãos do esqueleto estão ligados por pontes de plasma (Figura 7c)
- granular: sem plasma ou o plasma ocorre sob forma de feições pedológicas (Figura 7d).

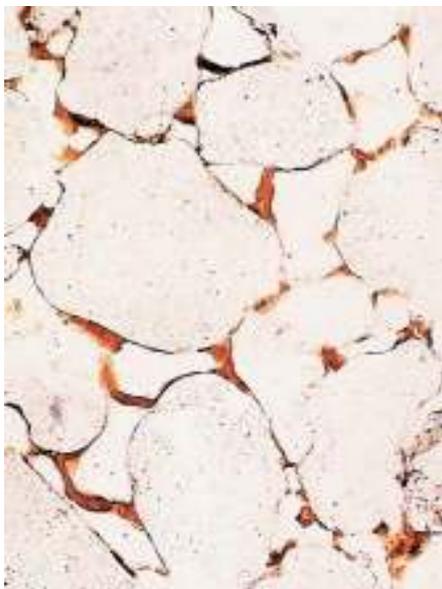


Fig. 7c (LN): Fundo matricial intertético (Boulet, inédita).

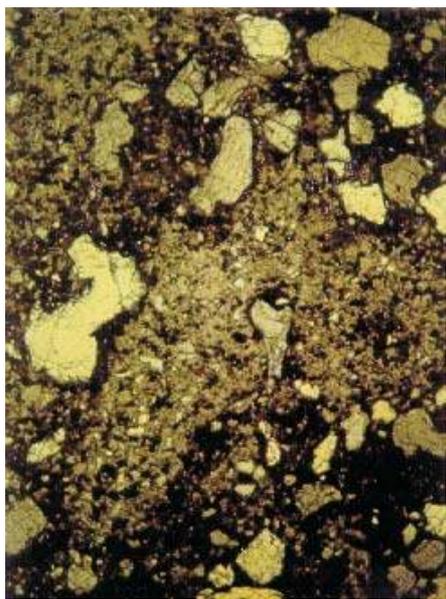


Fig. 7d (LP): Fundo matricial granular (Filizola, 1993).

### 3.1. Análise do Arranjo ou Assembléia (fabric)

#### 3.1.1. Classificação das estruturas plásmicas

Observa-se a estrutura plásmica com luz polarizada - LP - (nicóis cruzados), com forte intensidade luminosa, sob diferentes aumentos, observando-se:

- a orientação do plasma
  - isótropo: orientação indeterminada por causa da sua natureza cristalográfica
  - anisótropo: a orientação do plasma é dada pelos cristalitos de minerais argilosos translúcidos mais ou menos orientados entre si; manifesta-se pela existência de domínios com limites mais ou menos difusos ou estrias chamadas separações plásmicas.
  - opaco: quando não se vê a orientação por causa da

impregnação ou recobrimento do plasma pela matéria orgânica, ferro, manganês, etc..

- natureza e grau de orientação preferencial dos domínios.
- natureza e grau de desenvolvimento das separações plásmicas.

Os cristais do plasma podem então organizar-se em domínios com relativa orientação formando um certo contínuo entre um plasma isotrópico e outro anisotrópico. Admite-se dois grupos:

- Plasma asséptico: sem separação plásmica, não há orientação relativa entre os cristais do plasma; padrão de extinção em pontos (Figura 8)

Plasma séptico: com separações plásmicas, com padrão de extinção estriado. Divide-se em (Figura 9):

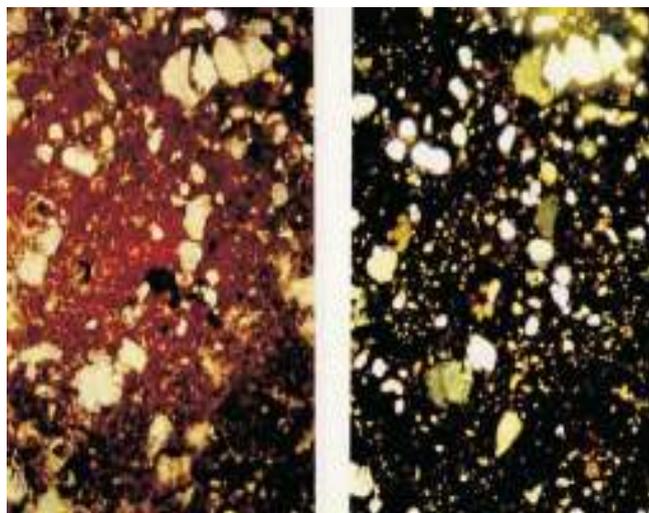


Fig. 8 (LN e LP): Plasma asséptico.

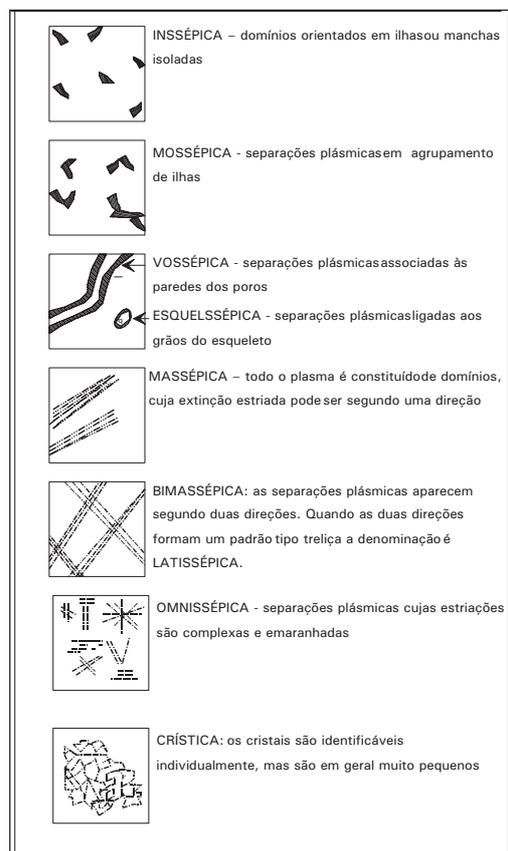


Fig. 9. Estruturas plásmicas sépticas.

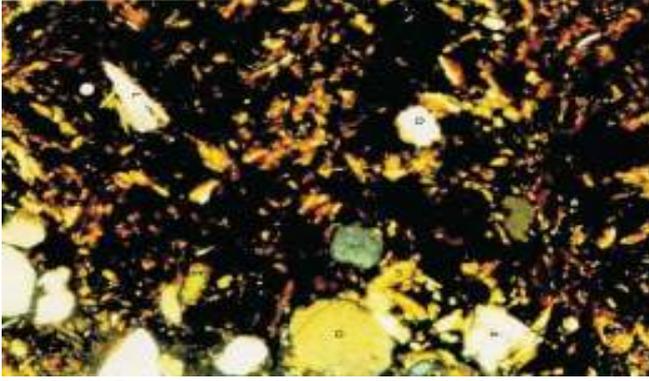


Fig. 10. (LP): Estrutura plásmica Mossépica (Filizola, 1993).

➤ VOSSÉPICA - separações associadas às paredes dos poros (Figura 11).

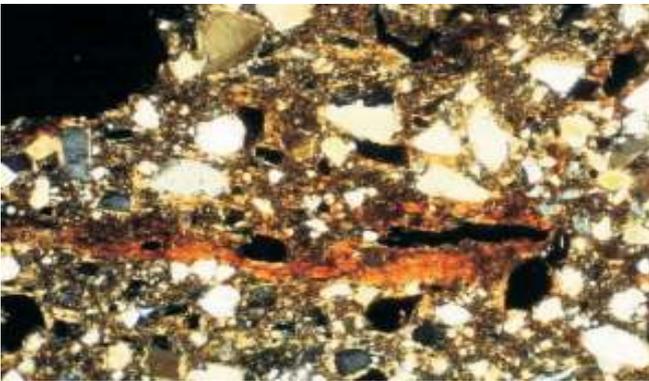


Fig. 11. (LP): Estrutura plásmica Vossépica (Boulet, inédita).

➤ ESQUELSSÉPICA - separação plásmicas ligadas às superfícies dos grãos do esqueleto.

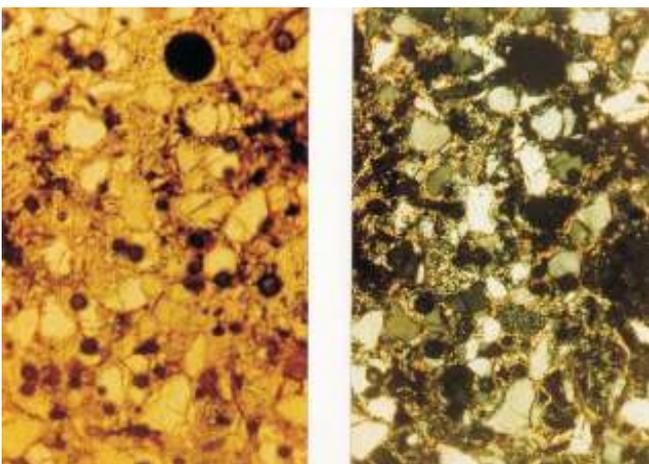


Fig.12 (LN e LP): Estrutura plásmica Esquelssépica (Boulet, inédita).

➤ MASSÉPICA – todo o plasma é constituído de domínios, cuja extinção estriada pode ser segundo uma ou duas direções (bimassépica) . Quando as duas direções formam um padrão tipo treliça a denominação é Latissépica (Figura 13).

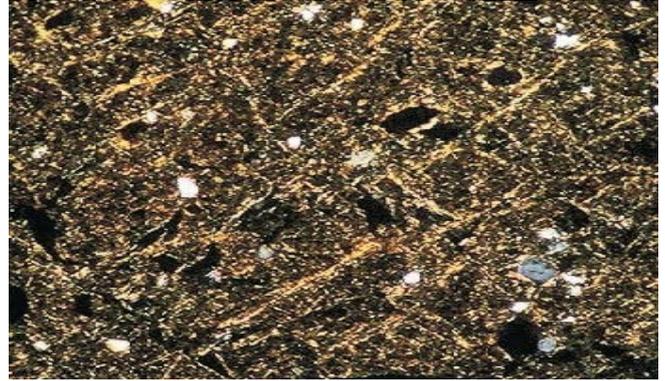


Fig. 13. (LP): Estrutura plásmica Latissépica (Filizola, 1993).

➤ OMNISSÉPICA - separações plásmicas cujas estriações são complexas e emaranhadas.

➤ CRÍSTICA - os cristais são identificáveis individualmente, mas em geral são muito pequenos.

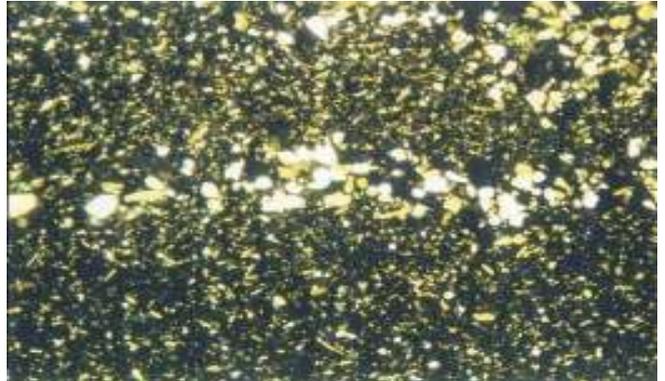


Fig. 14. (LP): Estrutura plásmica Crística (Filizola, 1993).

➤ ONDÚLICA - quase isotrópico em aumentos fracos, e fraca anisotropia com leve extinção ondulante, em fortes aumentos e luz de intensidade alta.

➤ ISÓTICA - isotropia devido a opacidade causada por ferro, material orgânico, etc..

## Microscopia eletrônica de varredura e microssonda

O microscópio eletrônico de varredura (Figura 15) é eficaz para o reconhecimento das formas dos cristais em especial. Também auxilia na detecção do arranjo entre constituintes, da microporosidade e da presença de unidades criptocristalinas. O reconhecimento cristalográfico é visual por comparação com os edifícios cristalinos conhecidos.

A microssonda, que normalmente está acoplada ao microscópio de varredura, faz a análise química pontual dos elementos, permitindo estabelecer a composição química dos locais selecionados. Uma vez passado na microssonda, o ponto fica inutilizado.

Como o custo dessas análises é muito elevado elas devem ser feitas apenas nos locais selecionados que não foram completamente elucidados com a microscopia ótica e

demais análises. Podem ser examinadas além das lâminas sem lamínulas, os agregados naturais (estes não impregnados).

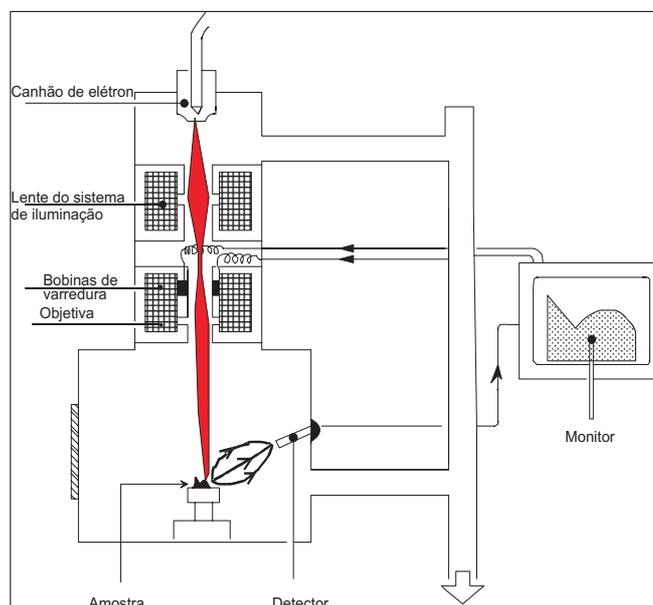


Fig. 15. Esquema de funcionamento de um microscópio eletrônico de varredura. Fonte: <http://accept.la.asu.edu/PiN/rdg/elmicr/elmicr.shtml>

## Referências

- BREWER, R. **Fabric and mineral analysis of soils**. Hungston: Robert E. Krieger, 1976. 482 p.
- BRIGGS, D. **Sediments**. London: Butterworths, 1977. 193 p.
- DELVIGNE, J.E. **Atlas of micromorphology of mineral alteration and weathering**. Ottawa: The Canadian Mineralogist, 1998. 495 p. (Special Publication, 3).
- FABRIES, J.; TOURET, J.; WEISBROD, A. **Determination des minéraux des roches au microscope polarisant de Marcel Roubault**. Paris: Éditions Lamarre-Poinat, 1982. 382 p.
- FILIZOLA, H.F. **O papel da erosão geoquímica na evolução do modelado da bacia de Taubaté -SP**. 1993. Tese (Doutorado) - FFLCH-USP, São Paulo, 1993.
- FILIZOLA, H.F.; GOMES, M.A.F. **Coleta e impregnação de amostras de solo para análise micromorfológica**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. 4p. (Embrapa Meio Ambiente. Comunicado Técnico, 20).
- FITZPATRICK, E.A. **Micromorphology of soils**. New York: Robert E. Krieger, 1984. 482p.
- KUBIENA, W.L. **Micropedology**. Ames: Collegiate Press, 1938. 243 p.
- MACKENZIE, W.S.; GUILFORD, C. **Atlas of rock-forming minerals in thin section**. New York: John Wiley & Sons, 1988.
- PAULA, N. de; YAMAMOTO, J.K.; TOGNON, A.A. Seções delgadas de solos: método de impregnação com resina plástica Araldite. **Boletim IG-USP**, Publ. Esp. (Jornadas Científicas) n.9, p. 193-196, 1991.
- PETTIJOHN, F. **Sedimentary rocks**. 3.ed. New York: Harper & Row, 1975. 628p.
- PHILLIPS, W.R. **Mineral optics: principles and techniques**. San Francisco: Freeman, 1971. 249 p.
- SUGUIO, K. **Rochas sedimentares**. São Paulo: Edgar Blücher: Ed. Universidade de São Paulo, 1980. 500 p.
- WINCHELL, A. N. **Elements of optical mineralogy**. New York: John Wiley and Sons, 1951. 551p.

### Comunicado Técnico, 41

Ministério da  
Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:  
**Embrapa Meio Ambiente**  
**Endereço:** Rodovia SP 340 km 127,5  
Caixa Postal 69, Tanquinho Velho  
13.820-000 Jaguariúna/SP  
**Fone:** (19) 3867-8700  
**Fax:** (19) 3867-8740  
**E-mail:** sac@cnpma.embrapa.br

1ª edição eletrônica  
2006

### Comitê de Publicações

**Presidente:** Ladislau Araújo Skorupa.  
**Secretário-Executivo:** Sandro Freitas Nunes.  
**Bibliotecário:** Maria Amélia de Toledo Leme.  
**Membros:** Cláudio César de A. Buschinelli, Heloisa Ferreira Filizola, Manoel Dornelas de Souza, Maria Conceição P. Young Pessoa, Marta Camargo de Assis, Osvaldo Cabral

### Expediente

**Tratamento das ilustrações:** Sandro Freitas Nunes.  
**Editoração eletrônica:** Sandro Freitas Nunes.