



## Micromorfologia de paleossolos da Formação Marília e seu significado na evolução paleoambiental da Bacia Bauru, Cretáceo Superior

**Márcio Luiz da Silva<sup>(1)</sup>; Alessandro Batezelli<sup>(2)</sup>; Francisco Sérgio Bernardes Ladeira<sup>(3)</sup>**

<sup>(1)</sup> Professor do IFSULDEMINAS (Campus Inconfidentes), Doutorando em Geociências – Universidade Estadual de Campinas. E-mail: [marcgeo10@yahoo.com.br](mailto:marcgeo10@yahoo.com.br).

<sup>(2)</sup> Professor do Departamento de Geologia e Recursos Naturais – Universidade Estadual de Campinas

<sup>(3)</sup> Professor do Departamento de Geografia – Universidade Estadual de Campinas

**RESUMO:** Dedução de paleoambientes e paleoclimas associados, definição de cronossequência de paleossolos e reconstituição paleogeográfica tem se tornado possível através da aplicação da micromorfologia na paleopedologia. A micromorfologia também tem sido útil no reconhecimento de processos intempéricos e na definição de sucessões de minerais formados. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi identificar a evolução dos processos pedogenéticos e discutir seu significado na evolução paleoclimática da Formação Marília, Maastrichtiano da Bacia Bauru. Foram descritos três seções da Formação Marília (A1, A2 e A3), compreendendo nove perfis. A análise micromorfológica foi feita de acordo com Bullock et al. (1985) e Stoops et al. (2010). Na Formação Marília, os paleossolos desenvolvimentos sobre arenitos apresentam horizontes argílicos (“Btk”, “Bt”) e carbonáticos (Bk) com distintos graus de cimentação, constituindo-se calcretes em sua maioria. A evolução dos processos pedogênicos, à luz da análise micromorfológica, evidenciou três momentos para a respectiva gênese de paleossolos com horizontes Bkm, “Btk” e “Bt”. No Maastrichtiano da Bacia Bauru, os paleossolos com Bkm são mais antigos e de ambientes mais áridos, e os com “Bt” foram formados em condições climáticas mais úmidas, mas não o suficiente para proporcionar a gênese de tramas enáulicas, típicas de latossolos atuais.

**Termos de indexação:** Distribuição relativa, fábrica birrefringente, feições pedológicas.

### INTRODUÇÃO

A micromorfologia ou micropedologia pode ser definida como o ramo da ciência do solo que se ocupa da descrição, interpretação e, até certo ponto, a medida dos constituintes, feições e fábricas do solo ao nível microscópico (Bullock et 1985). Dentre os principais objetivos, a análise micromorfológica permite formular hipóteses ou demonstrações acerca da dinâmica genética e evolutiva dos solos, na tentativa de esclarecer as controvérsias sobre sua origem, evolução e comportamento (Castro et al., 2003). Segundo os autores, identificar os diferentes constituintes do

solo em distintas frações, bem como definir as possíveis inter-relações existentes entre eles constitui outro objetivo fundamental da micromorfologia.

Segundo Delvigne (1998), uma das aplicações da micromorfologia é identificar o processo pedogenético e visualizar as transferências e concentrações de elementos (eluviação, iluviação, nodulação ou concreção) e seguir o desenvolvimento de feições peculiares (porosidade, pedoturbação, dentre outras). Ela também pode ser aplicada no reconhecimento do processo de intemperismo envolvido e da sucessão de minerais formados (Delvigne, 1998).

Na paleopedologia, a micromorfologia pode ser útil na dedução de paleoambientes e paleoclimas associados, cronossequência de paleossolos e reconstituição paleogeográfica (Porta et al., 1999).

Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi identificar a evolução dos processos pedogenéticos com o auxílio da micromorfologia e discutir seu significado na evolução paleoclimática da Formação Marília, Maastrichtiano da Bacia Bauru.

Na Formação Marília, os paleossolos desenvolvimentos sobre arenitos apresentam horizontes argílicos (“Btk”, “Bt”) e carbonáticos (Bk) com distintos graus de cimentação, constituindo-se calcretes em sua maioria. O caráter carbonático dos paleossolos foi confirmado pelo predomínio de trama porfírica e fábrica birrefringente cristalítica no fundo matricial. Identificação e interpretação de trama porfírica-quitônica, fábrica birrefringente salpicada-poroestriada e revestimentos de argila comprovaram as características argílicas dos paleossolos com horizonte “Bt” definido em campo.

### MATERIAL E MÉTODOS

#### Caracterização dos paleossolos e amostragem

Foram descritas três seções (denominados de A1, A2 e A3) da Formação Marília (Figura 6) e coletada amostras dos nove perfis. A caracterização dos paleossolos foi realizada de acordo Retallack (2001) e Santos et al. (2005).

#### Análises micromorfológicas

A descrição das trinta lâminas delgadas

orientadas foram feitas de acordo com Bullock et al. (1985) e Stoops et al. (2010), utilizando lupa binocular, para separar domínios na lâmina, e microscópio petrográfico, com aumentos de 2,5X a 40X, para a análise do fundo matricial e feições pedológicas.

Para o processamento das imagens foram utilizado os softwares *Visilog 5.4* e *Image J 1.48v*.

As interpretações foram baseadas nos trabalhos de Stoops et al. (2010).

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na caracterização morfológica foram identificados paleossolos com horizonte Bkm e estrutura em blocos na seção Botucatu (A1), horizontes argílicos (denominados de “Btkm” e “Bt”) com estrutura prismática e em blocos na seção Piratininga (A1) e horizontes “Btkm” e “Bkm” na seção Garça (A3), com estruturas laminar, em blocos e prismática (Figura 6).

A forma como o plasma (material fino), o esqueleto (material grosso) e os poros estão distribuídos pode revelar indícios sobre a gênese e evolução do solo. A micromorfologia relevou o predomínio de trama porfírica nas três seções, com algumas regiões quitônica, enáulica e gefúrica.

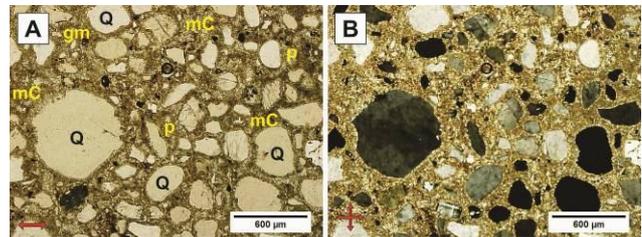
Os paleossolos com horizontes Bkm apresentaram trama porfírica aberta, com regiões quitônica e muito pouco gefúrica (Tabela 1, Fig. 1).

**Tabela 1.** Síntese da fábrica de horizontes Bkm, “Btkm” e “Bt”

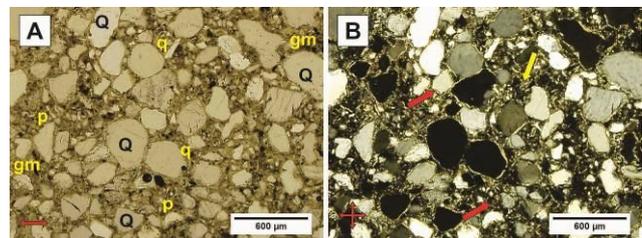
PH	MG		MF		DR	G	FP
	C	S	C	FB			
P1Bkm	Qt (md), NF, Cal, Fel	MP	CC (d), MAOF	Ct	PA- Q- G	AA	HtgCe, PDCR, NTS
P5Bt	Qt (md), NF, Cal, Fel	M	CC, MAOF	Gt, Pt, Sg	PF- Q	AA	RA, PDCR, NTS
P9Btkm	Qt (md), NF, Cal, Fel	M	CC (d), MAOF	Ct, Pt, Gt, Sg	PF- Q- E	AA	RA, PDCR, NTS

**PH:** Perfil e Horizonte; **MG:** Material Grosso; **C:** Composição; **S:** Seleção; **MF:** Material Fino; **FB:** Fábrica Birrefringente; **DR:** Distribuição Relativa; **G:** Classe Granulométrica; **FP:** Feições Pedológicas; Qt (md): Quartzo Muito Dominante; NF: Nódulo de Ferro; Cal: Calcita; Fel: Feldspato; M: Moderada; MP: Moderada a Pobre; CC (d): Cimento de Calcita Dominante; MAOF: Minerais de Argila com Óxidos de Ferro; AA: Argiloarenosa; PA: Porfírica Aberta; PF: Porfírica Fechada; Q: Quitônica; G: Gefúrica; E: Enáulica; Ct: Cristalítica; Pt: Poroestriada; Gt: Granoestriada; Sg: Salpicada Grânida; HtgCe: Hiporrevestimento Típico de Grão por Calcita Esparítica; PDCR: Preenchimento Denso de Canal de Raiz; NTS: Nódulos Típicos e Septários; RA: Revestimentos de argila.

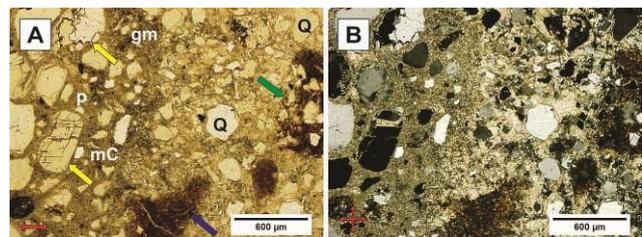
Tramas porfíricas fechadas com regiões quitônicas predominaram nos paleossolos com horizontes “Btk” e “Bt” (Tabela 1, Figuras 2 e 3).



**Figura 1.** Fundo matricial (gm) do horizonte Bkm1 do perfil 1. A) Material grosso (esqueleto) constituído predominante por quartzo (Q) em formato de blocos, granulometria de areia média (200-500 µm) e seleção moderada a pobre. Material fino (plasma) composto principalmente por cimento de CaCO<sub>3</sub> de matriz micrítica (mC). Distribuição relativa porfírica (p). Microscópio com objetiva de 2,5X e ocular de 100X (aumento de 250 vezes) com luz natural (LN ou PPL); B) Idem com nicóis cruzados (NC).



**Figura 2.** Características gerais do horizonte Bt1 do perfil 5. A) Fundo matricial (gm) evidenciando distribuição relativa porfírica fechada (p) e quitônica (q), realçada em nicóis cruzados. No fundo matricial, o material grosso é constituído predominante por quartzo (Q) em formato de blocos. O material fino é composto por cimento de CaCO<sub>3</sub> e minerais de argila com óxidos de ferro. Microscópio óptico com objetiva de 2,5X e ocular de 100X com luz natural (PPL); B) Idem com nicóis cruzados (NC, LP ou XPL). As setas vermelhas identificam fábricas birrefringentes granoestriada e salpicada e a amarela, iluviação de argila.



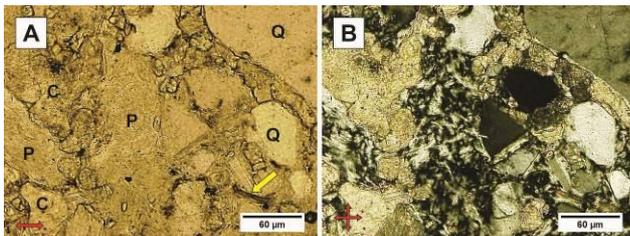
**Figura 3.** Características gerais do horizonte Btkm do perfil 9. A) Fundo matricial (gm) evidenciando distribuição relativa porfírica fechada (p). No fundo matricial, o material grosso é constituído predominante por quartzo (Q) em formato de blocos. O material fino é composto principalmente por cimento de CaCO<sub>3</sub> de matriz micrítica (mC) e minerais de argila com óxidos de ferro. As setas amarelas identificam minerais primários em processo de alteração físico-química. Nódulo de ferro está indicado pela seta azul e revestimento de argila pela verde. Microscópio com objetiva de 2,5X com luz natural (PPL); B) Idem com nicóis cruzados (XPL).

Estruturas de base (tramas) gefúricas identificadas nos paleossolos indicaram agradação (formação) por iluviação e as enáulicas, aumento do processo de pedogênese e estabilidade do ambiente. As tramas quitônicas são resultados do processo de iluviação fraca nos paleossolos. A porfírica indicou alteração inicial e forte cimentação de grãos por iluviação.

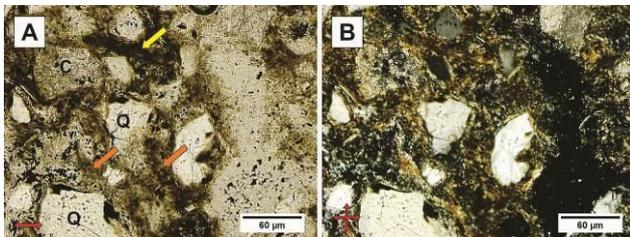
Fábricas birrefringentes cristalíticas nos horizontes Bk (Figura 1) foram formadas pela

cristalização de partes relativamente solúveis do plasma, enquanto que as salpicadas (Figura 2) indicaram intemperismo *in situ* de minerais primários. Poroestriada e granoestriada (Figura 2) indicaram pressão nos grãos e poros.

A evolução dos processos pedogênicos, à luz da análise micromorfológica, evidenciou três momentos para a gênese dos paleossolos. Na primeira fase, mais seca, há intensa cimentação dos horizontes por calcita micrítica e microesparítica, e precipitação de paligorskita nos poros ou preenchendo as bioturbações (Figura 4). A segunda fase é caracterizada pela destruição das estruturas porfíricas pelo estabelecimento de estruturas quitônicas e enáulicas (Figura 5). A cronologia relativa relevou uma superimposição das feições de óxidos de ferro sobre a cimentação carbonática (Figura 5). Na terceira fase, mais úmida, a cimentação carbonática deixa de existir, dando espaço ao avanço das estruturas quitônicas e gefúricas, originando os paleossolos com "Bt".



**Figura 4.** Aspectos da hierarquia e cronologia do horizonte Bkm do perfil 1. A hierarquia mostra grãos de quartzo (Q), calcita microesparítica (C) e paligorskita (P) no primeiro nível que se situa no fundo matricial (segundo nível). A cronologia revelou que a paligorskita (P) se precipitou no poro do paleossolo, tratando-se de um mineral secundário. A seta amarela indica uma biotita alterada. Microscópio óptico com objetiva de 10X e ocular de 100X (aumento de 1000 vezes) com luz natural (LN ou PPL); B) Idem com XPL.



**Figura 5.** Aspecto do fundo matricial (hierarquia e cronologia) e feições pedológicas do horizonte Btkm do perfil 9. As setas alaranjadas evidenciam revestimentos de argila com óxidos de ferro (feições pedológicas autóctones) e a amarela, uma biotita intemperizada. A cronologia relativa sugere que inicialmente houve o revestimento de carbonato (C) numa primeira fase, e depois ocorreu o revestimento de argila com óxidos de ferro, num processo de superimposição (segunda fase). Microscópio óptico com objetiva de 10X e ocular de 100X com luz natural; B) Idem com XPL.

No Maastrichtiano da Bacia Bauru, a interpretação da micromorfologia demonstrou que os paleossolos com horizonte Bkm são mais antigos

e de ambientes mais áridos. Posteriormente, esses paleossolos são revestidos por argilominerais com óxidos de ferro, culminando com a destruição das tramas porfíricas (cimentação carbonática) e o estabelecimento de tramas quitônicas, em condições climáticas locais ou regionais mais úmidas, gerando paleossolos com horizonte Bt. No entanto, essas condições climáticas, apesar de serem mais quentes e úmidas, não foram suficientes para proporcionar a gênese de tramas enáulicas, típicas dos latossolos atuais.

A gênese desses paleossolos com "Bt" antecede o estabelecimento de condições de maior umidade e temperatura que se instauram no Terciário.

### CONCLUSÕES

A análise e interpretação da macro e micromorfologia relevou distintas condições de intemperismo e lixiviação na evolução da Formação Marília, o que propiciaram a formação de paleossolos com horizontes Bkm, "Btkm" e "Bt".

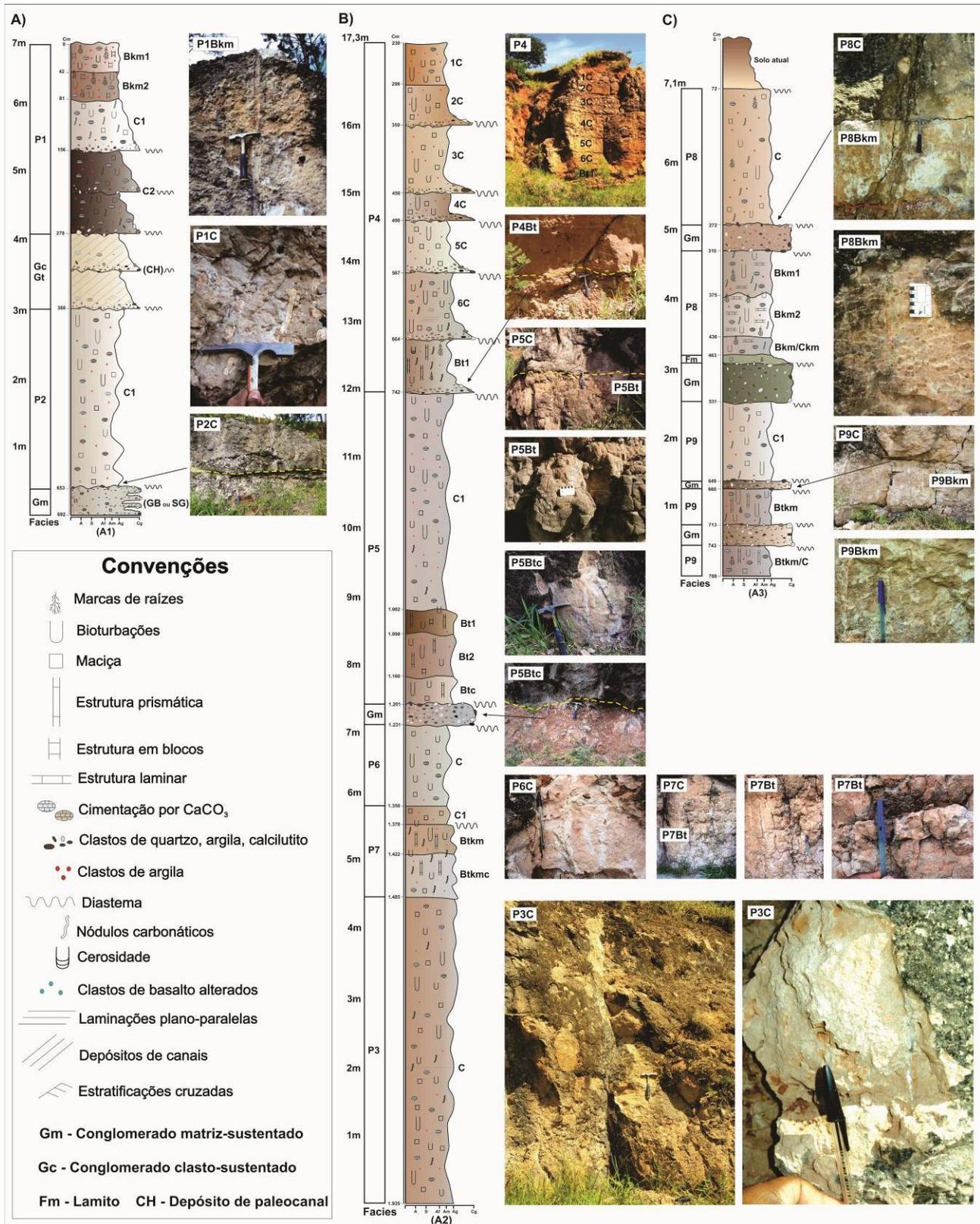
Os paleossolos com Bkm foram formados num primeiro momento, em condições mais secas. Posteriormente foram desenvolvidos os paleossolos com "Bt", numa fase de aumento da temperatura e maiores taxas de precipitação locais ou regionais durante o Maastrichtiano da Bacia Bauru.

### AGRADECIMENTOS

Ao apoio do IFSULDEMINAS. Ao Programa de Pós-graduação em Geociências (IGE-UNICAMP). Ao apoio financeiro da FAPESP.

### REFERÊNCIAS

- BULLOCK, P. et. al. Handbook for soil thin section description. Albrington: WRP, 1985. 152p.
- CASTRO, S. S. et. al. Micromorfologia do solo: bases e aplicações. In: CURTI, et. al. ed. Tópicos em ciência do solo. Viçosa: SBCS, 2003. v. 3, p.107-164.
- DELVIGNE, J. E. Atlas of micromorphology of mineral alteration and weathering. Ontario: Mineralogical Association of Canada, 1998. 494p.
- PORTA, C. J. et al. Edafología para La agricultura y el medio ambiente. Madrid, Ediciones Mundi Prensa, 1999.
- RESTALLACK, G. J. Soils of the past: an introduction to paleopedology. Unwin Hyman: London, 2001.
- SANTOS, R. D. et al. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 5. ed. Viçosa: SBCS, 2005.
- STOOPS, G.; MARCELINO, V.; MEES, F. ed. Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths. Elsevier, 2010. 720p.



**Figura 6.** Associação de fácies e macromorfologia dos perfis de paleossolos. A) Coluna com as litofácies (Gc, Gt, Gm) e pedofácies (P1, P2), e perfis de paleossolos da seção Botucatu (A1) com os respectivos horizontes; B) Coluna com as litofácies (Gm) e pedofácies (P3, P4, P5, P6, P7), e perfis de paleossolos da seção Piratininga (A2) com os horizontes; C) Coluna com as litofácies (Gm, Fm) e pedofácies (P8, P9) da seção Garça (A3) e perfis de paleossolos com os respectivos horizontes.