

**Ana Paula Costa Huguenin**

**CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA DE FOLHELHOS DO  
DEVONIANO DA BACIA DO PARANÁ (FORMAÇÃO PONTA  
GROSSA) E DA SUA EFETIVIDADE EM SISTEMAS PETROLÍFEROS**

Trabalho Final de Curso  
(Bacharelado em Geologia)

**UFRJ  
Rio de Janeiro  
2008**



UFRJ

**Ana Paula Costa Huguenin**

**CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA DE FOLHELHOS DO DEVONIANO DA  
BACIA DO PARANÁ (FORMAÇÃO PONTA GROSSA) E DA SUA EFETIVIDADE  
EM SISTEMAS PETROLÍFEROS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador:

Prof. Dr. Leonardo Borghi

Rio de Janeiro  
Novembro de 2008

HUGUENIN, Ana Paula Costa

**Caracterização sedimentológica de folhelhos do Devoniano da bacia do Paraná (Formação Ponta Grossa) e da sua efetividade em sistemas petrolíferos/Ana Paula Costa Huguenin -**

- Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2008.

xi, 31 p.: il.; 30cm

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2008.

Orientador: Leonardo Borghi

1. Geologia. 2. Paleontologia e Estratigrafia – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Leonardo Borghi. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geologia. III. Título.

Ana Paula Costa Huguenin

CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA DE FOLHELHOS DO DEVONIANO DA  
BACIA DO PARANÁ (FORMAÇÃO PONTA GROSSA) E DA SUA EFETIVIDADE EM  
SISTEMAS PETROLÍFEROS

Trabalho de Conclusão de Curso de  
Graduação em Geologia do Instituto de  
Geociências, Universidade Federal do Rio  
de Janeiro – UFRJ, apresentado como  
requisito necessário para obtenção do grau  
de Bacharel em Geologia.

Orientador:

Leonardo Borghi

Aprovada em: 03. Nov. 2008

Por:

---

Orientador: Prof. Leonardo Borghi (UFRJ)

---

Prof. Renato Rodriguez Cabral Ramos (UFRJ)

---

Prof. Carlos Jorge de Abreu (UFRJ)

UFRJ  
Rio de Janeiro  
2008

Aos meus pais, Marli Ribeiro Costa Huguenin  
e Paulo Roberto Galvão Huguenin.

## Agradecimentos

À minha família, por todo o apoio que sempre forneceram.

Ao Laboratório de Raios-X do Departamento de Geologia/UFRJ pela realização das análises de argilominerais.

Ao meu orientador Leonardo Borghi pelos ensinamentos e amizade durante os dois anos que estive no LAGESED.

Ao professor André Ribeiro pela disposição do contador de pontos.

Ao programa de Capacitação de Recursos Humanos em Geologia do Petróleo da UFRJ (conv. UFRJ/PRH-ANP/MCT n. 18) pela concessão da bolsa e suporte financeiro durante o desenvolvimento do projeto.

À Professora Helena Polivanov pela atenção na interpretação das análises de Raios-X.

Aos Lagesedianos pelas constantes trocas de conhecimentos e pelos ótimos momentos.

E ao futuro Geólogo João Paulo Porto Barros pelas opiniões, e pelo companheirismo e carinho.

À galera da HITACHI, pelas fotomicrografias de MEV obtidas de uma das amostras.

E aos amigos que sempre me deram apoio moral, que foi, sem dúvida, essencial.

## Resumo

HUGUENIN, Ana Paula Costa. **Caracterização sedimentológica de folhelhos do Devoniano da bacia do Paraná (Formação Ponta Grossa) e da sua efetividade em sistemas petrolíferos.** 2008 xi, 30 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

O presente estudo busca caracterizar sedimentologicamente os folhelhos da Formação Ponta Grossa do Devoniano da bacia do Paraná, baseando-se na identificação de microfácies, com o fim de avaliar a qualidade selante destas rochas em sistemas petrolíferos. Foram analisadas 17 lâminas delgadas (7 localizadas na borda Noroeste, região da Chapada dos Guimarães, e 10 na borda Leste, região de Vila Velha), com base, principalmente, na textura (proporção argila:silte:areia) e organização sedimentar/microestruturas/orientação das micas. Como resultado foram reconhecidas 9 microfácies, sendo uma síltica arenosa (Sa), quatro sílticas argilosas (Sbf, Sm, Sch e Sma) e quatro sílticas (Smc, Slo, Sob e Ss). A distribuição granulométrica revelou alto teor de silte nestas amostras, com média de 77,6% para as amostras da região de Vila Velha e 56,4% para as da Chapada, apontando para uma má qualidade destas rochas como selante; porém, salienta-se a possibilidade de virem a constituir *gas shale* em potencial.

Palavras-chave: Formação Ponta Grossa; rocha selante; microfácies.

### ***Abstract***

HUGUENIN, Ana Paula Costa. **Sedimentologic characterization of the Devonian shales from the Parana Basin (Ponta Grossa Formation) and of its effectiveness in petroleum systems.** 2008. xii, 30 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

This study aims a sedimentologic analysis of the Ponta Grossa Fm. shales from the Devonian of the Parana Basin, based on the characterization of microfacies, in order to assess the sealing rocks quality in a proposed Ponta Grossa-Furnas (?) petroleum system. Seventeen thin sections (7 of samples for the Northwestern border (Chapada dos Guimarães) and 10 in the eastern border (region of Vila Velha), were petrographically analysed, emphasizing in texture, (proportion clay:silt:sand) and sediment organization / microstructures / orientation of micas. Nine microfacies were recognized, being sandy silt (Sa), four clayey silt (Sbf, Sm, Sma and Sch) and four silty (Smc, Slo, and Ss). The size distribution analysis revealed high levels of silt content in all these samples, with an average of 77.6% for the samples from the region of Vila Velha and 56.4% for those ones from Chapada, pointing to a poor quality of these rocks as seal. However, it is pointed out the possibility that they can constitute potentially *gas shale*.

**Key-Words:** Ponta Grossa Formation; seal rock; shales.

## Lista de figuras

- Figura 1** Localização do material de estudo da borda Noroeste da bacia do Paraná. a) Perfil mostrando a localização das lâminas analisadas neste trabalho (Schubert, 1995). b) Mapa de localização dos pontos de onde foram tiradas as amostras estudadas, Chapa do Guimarães, MT. (Mapa geológico base modificado de Schubert (1995). **3**
- Figura 2** Localização do material de estudo da borda Leste. a) Perfil com as amostra associadas. b) Mapa Geológico do Arco de Ponta Grossa, borda Leste da bacia. O círculo preto no mapa sinaliza o local do perfil, localizado no Ramal ferroviário da RFFSA, Km 222, Faz. Rivadávia, Ponta Grossa, PR). Fonte do mapa: MINEROPAR, 2003 via [www.mineropar.pr.gov.br](http://www.mineropar.pr.gov.br) **4**
- Figura 3** Gráfico referente à classificação nomeclatural. Observar o campo de classificação das amostras, segundo Picard (1971). **8**
- Figura 4** Gráficos referentes à difratometria de Raios-X. A intensidade dos picos é proporcional à quantidade de cada argilomineral em cada análise. Logo, observa-se maior presença de caulinita, seguido de ilita, e traços de clorita em algumas amostras. **11**

## Lista de tabelas

- Tabela 1** Dados da análise granulométrica em cada lâmina, em percentagem (%). **9**
- Tabela 2** Dados da análise composicional em cada lâmina, em percentagem (%). **10**

## Lista de quadros

- Quadro 1** Síntese da microfácies sedimentares descritas na Chapa dos Guimarães. **12**
- Quadro 2** Síntese da microfácies sedimentares descritas em Vila Velha. **19**

## Sumário

Agradecimentos .....	vi
Resumo .....	viii
<i>Abstract</i> .....	ix
Lista de figuras .....	ix
Lista de tabelas .....	ix
Lista de quadros .....	ix
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 MATERIAL E MÉTODO .....	3
3 CONTEXTO GEOLÓGICO.....	5
4 RESULTADOS.....	8
4.1 Classificação das amostras.....	8
4.2 Microfácies.....	12
4.2.1 Chapada dos Guimarães.....	12
4.2.2 Vila Velha.....	19
5 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO.....	25
Referências bibliográficas .....	27
Apêndice A – Estampa de fotomicrografias da microfácies Sa	
Apêndice B – Estampa de fotomicrografias da microfácies Sbf	
Apêndice C – Estampa de fotomicrografias da microfácies Sm	
Apêndice D – Estampa de fotomicrografias da microfácies Sch	
Apêndice E – Estampa de fotomicrografias da microfácies Sma	
Apêndice F – Estampa de fotomicrografias da microfácies Smc	
Apêndice G – Estampa de fotomicrografias da microfácies Slo	
Apêndice H – Estampa de fotomicrografias da microfácies Sbo	
Apêndice I – Estampa de fotomicrografias da microfácies Ss	
Anexo A – Diagrama estratigráfico da bacia do Paraná	
Anexo B – Mapa de isópacas da Formação Ponta Grossa	

## 1 INTRODUÇÃO

A bacia do Paraná possui em sua Sequência Devoniana o sistema petrolífero Ponta Grossa–Furnas(?)\*, o qual é desconhecido do ponto de vista da qualidade sedimentológica dos folhelhos da Formação Ponta Grossa, que podem comportar-se ora como geradores ora como selantes para esse sistema petrolífero e ora, até mesmo, como rochas reservatório (*gas shale*). Esse comportamento variável das rochas microclásticas pode não só garantir a possibilidade de um sistema petrolífero Ponta Grossa–Furnas(?), mas como também um próprio sistema Ponta Grossa–Ponta Grossa(?), ainda não aventado. Em diversas bacias, rochas microclásticas apresentam comportamento de rochas reservatório de baixíssima permeabilidade (*tight gas reservoirs*), sendo muito prolíficas em gás (*e.g.*, Deep Gas Basin, EUA/Canadá).

O estudo de microfácies em rochas microclásticas já foi realizado (*e.g.* Obligado *et al.* 2002; Almon & Dawson, 2004; Dawson & Almon, 2006) mostrando-se bastante eficaz ao identificar características que podem tornar ou não uma rocha selante, reduzindo riscos inerentes à Exploração do Petróleo. O termo microfácies foi introduzido pela primeira vez por Brown (1942) sugerindo-o para o estudo de fácies sedimentares em escala microscópica. Mendes (1984, p.128) chegou a definir o mesmo termo como: variações horizontais e/ou verticais nas características litológicas e/ou paleontológicas de uma pacote de sedimentos perceptíveis, unicamente, com o uso de microscópio e feito por meio de lâminas delgadas. Porém, por muito tempo, o termo “microfácies” ficou atrelado a rochas carbonáticas, devido ao certo sucesso que alcançou o trabalho de Wilson (1975), ao identificar 24 microfácies sedimentares carbonáticas como guias para a interpretação de paleoambientes deposicionais.

---

\* Notação de sistemas petrolíferos de Magoon & Dow (1994). O símbolo “(?)” indica sistema especulativo.

Microfácies são descritas neste trabalho com base nos conceitos de Brown (1942) e Mendes (1984), objetivando a caracterização faciológica dos folhelhos da Formação Ponta Grossa com a finalidade de trazer mais informações geológicas a respeito do seu comportamento, colaborando com a discussão do sistema Ponta Grossa–Furnas(?), ou até mesmo, Ponta Grossa–Ponta Grossa(?).

Tendo em vista a carência de estudo de caráter descritivo, de cunho sedimentológico, destes folhelhos, este estudo também tem o intuito de dar o suporte de entendimento sedimentológico necessário para futuras análises petrofísicas destas rochas.

## 2 MATERIAL E MÉTODO

O estudo conta com a análise de 17 (dezesete) lâminas delgadas de folhelhos da Formação Ponta Grossa, das quais 10 (dez) estão localizadas na borda Leste da bacia, (Região de Vila Velha, Ponta Grossa), PR, e 7 (sete), da borda Noroeste (Chapada dos Guimarães), MT (Figuras 1 e 2).

As amostras de Vila Velha estão associadas ao Perfil Rivadávia, cuja coleta foi realizada com intervalo de espaçamento igual a 20 cm. As amostras da Chapada dos Guimarães, por outro lado, estão associadas a diferentes perfis, de diferentes afloramentos, que contêm de uma a três lâminas associadas (Figuras 1 e 2).

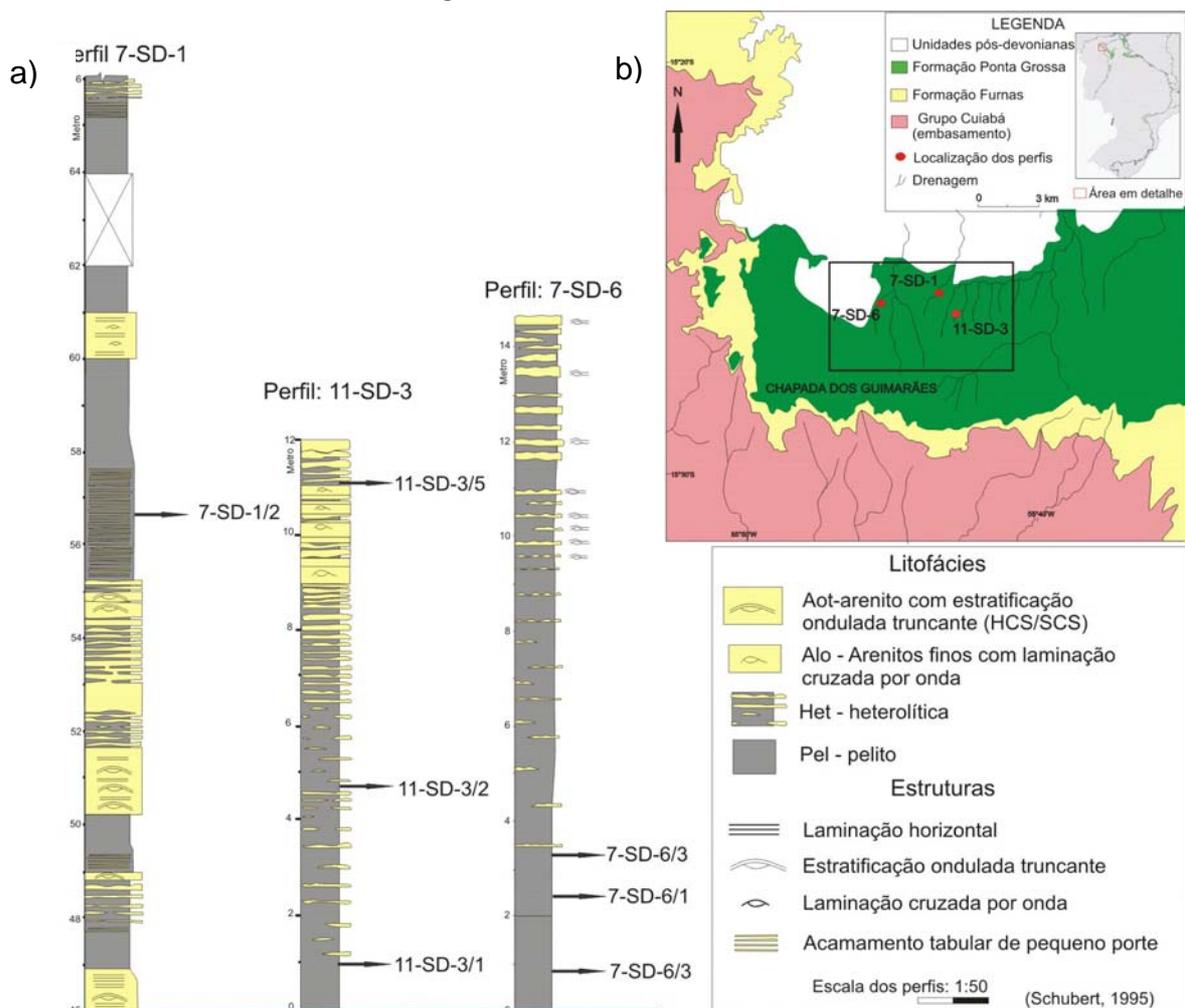


Figura 1 - Localização do material de estudo da borda Noroeste da bacia do Paraná. a) Perfil mostrando a localização das lâminas analisadas neste trabalho (Schubert, 1995). b) Mapa de localização dos pontos de onde foram tiradas as amostras estudadas, Chapa do Guimarães, MT. (Mapa geológico base modificado de Schubert (1995).

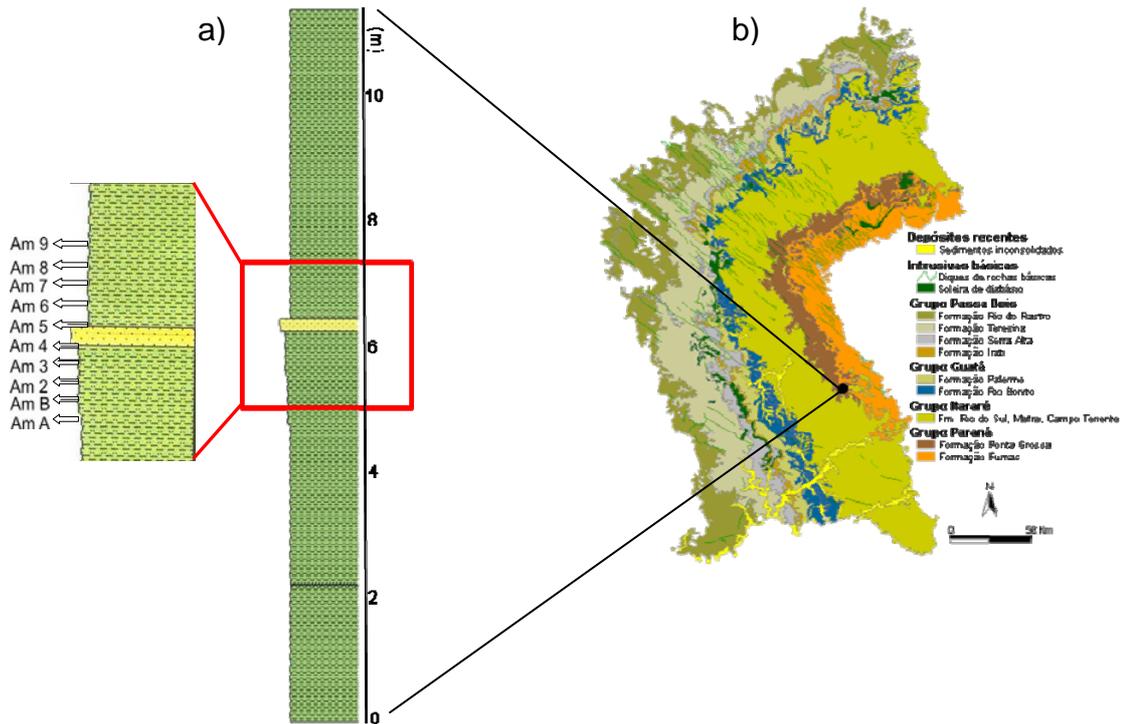


Figura 2 – Localização do material de estudo da borda Leste da bacia do Paraná. a) Perfil com as amostras associadas. b) Mapa Geológico do Arco de Ponta Grossa, borda Leste da bacia. O círculo preto no mapa sinaliza o local do perfil, localizado no Ramal ferroviário da RFFSA, Km 222, Faz. Rivadávia, Ponta Grossa,PR). Fonte do mapa: MINEROPAR, 2003 via [www.mineropar.pr.gov.br](http://www.mineropar.pr.gov.br)

A caracterização das microfácies foi desenvolvida com base na descrição de lâminas delgadas em microscópio petrográfico de luz fotônica transmitida/polarizada (ZEISS Axioskop 40), observando-se, principalmente a textura e trama das rochas, mais particularmente, proporção argila:silte:areia e organização sedimentar da lâmina/microestruturas/orientação das micas, associado à composição mineralógica. Fez-se contagem de 300 pontos em cada lâmina, para determinação granulométrica e composicional (Tabelas 1 e 2, respectivamente), obtendo-se também uma relação da percentagem de poros para cada lâmina (Tabela 1). Pode-se contar com método da difração de Raios-X, para identificação de argilominerais das amostras da Região de Vila Velha (para a fração tamanho argila ( $< 0,0039$  mm)) realizado no Laboratório de Raios-X do Departamento de Geologia/UFRJ, no difratômetro de marca Rigaku Termoflex (Figura 4). Ainda foram obtidas fotomicrografias da amostra Am B (Vila Velha) a partir do MEV, de marca HITACHI – TM 1000, quando em exposição durante a Semana de Geoífsica 2008, na UFRJ.

### 3 CONTEXTO GEOLÓGICO

A bacia do Paraná é uma bacia sedimentar paleozóica do tipo *sag* (intracratônica), cujo registro geológico abrange estratos desde Neo-ordoviciano ao Eocretáceo, atingindo uma espessura de *ca.* 7 000m. Milani *et al.* (1994) identificam seis grandes superseqüências depositadas durante este intervalo de tempo, individualizadas por discordâncias regionais, atribuídas a eventos erosivos promovidos por tectonismo e variações locais e globais do nível do mar (Anexo A). Durante o Devoniano, a bacia apresentava dois depocentros principais (Assine *et al.*, 1998): um ao norte, denominado sub-bacia Alto Garças, e outro ao sul, denominado sub-bacia Apucarana (Anexo B), de onde os dois grupos de amostras analisadas provêm.

A Formação Ponta Grossa, que é a de interesse neste trabalho, insere-se na superseqüência Paraná (Milani, 1997), compondo junto com a Formação Furnas, o Grupo Paraná. Sua idade é Praguiano – Fameniano, determinada através do estudo de esporos fósseis (Loboziak *et al.*, 1995 *apud* Borghi, 2002).

Constitui-se de folhelhos, lutitos, folhelhos sílticos e argilitos, siltitos, micáceos, finamente laminados e localmente carbonosos, piritosos, de cor cinza escuro a preto e arenitos finos, com marcas onduladas (Petri & Fúlfaro, 1983, p.77; Schneider *et al.*, 1974) e estratificações cruzadas monticuladas (*hummocky cross stratification* – HCS). Sua rochas são frequentemente bioturbadas (Fernandes, 1996) e contêm abundantes micro e macrofósseis, dentre os quais os que compõem a fauna Malvinocáfrica (*q.v.* Melo, 1985). Em termos composicionais, domina illita, em quantidade menor ocorrem clorita e interestratificado (I/M), e caulinita está presente em pequenas quantidades (Ramos & Formoso, 1975) Seu paleoambiente é o marinho raso sob influência de ondas de tempestade.

Schubert (1995), em análise dos estratos devonianos aflorantes na região da Chapada dos Guimarães, inseriu os perfis aqui utilizados (7-SD-1, 11-SD-3 e 7-SD-6) numa associação, a qual denominou “associação de fácies G – folhelhos e arenitos finos intercamadados”, cujas litofácies estão expostas na figura 1. Esta associação caracteriza-se pela associação destas litofácies em ciclos granocrescentes ascendentes (observar perfis da figura 1), e este autor propôs, para esta associação, o ambiente sedimentar de plataforma externa, costa-afora, portanto, abaixo da ação de ondas normais, e acima da ação de ondas de tempestade. Por isso, a grande ocorrência de intervalos arenosos (*q.v* perfil da figura 1), onde Schubert (1995) considera como barras de *offshore* originadas a partir de pulsos progradacionais costeiros associados à ação de tempestade. Somente com os perfis aqui expostos, não é possível identificar, porém, este mesmo autor, identificou em sua “associação de fácies G” 3 parassequências, correlacionando-as aos *PACs* (*Punctuated Aggradational Cycles*) de Goodwin & Anderson (1985).

A respeito do Perfil Rivadávia, em Vila Velha, município de Ponta Grossa (Figura 2), Bergamaschi (1999), em análise estratigráfica dos depósitos do intervalo Devoniano da bacia, identificou no mesmo afloramento analisado aqui, ciclos *coarsening – shallowing upward*, também correlacionando-os aos *PACs* de Goodwin e Anderson (1985), e inseriu-os na sequência, a qual denominou de “sequência B”, caracterizada por depósitos marinhos transgressivos. Realizou análise de COT obtendo valores entre 0,3 até 0,7 %, correlacionado ao intervalo do perfil aqui utilizado. Este autor infere para este intervalo um ambiente marinho raso, antepraia inferior, num contexto de plataforma dominada por ondas, normais e de tempestade.

Os folhelhos da Formação Ponta Grossa compõem o principal sistema petrolífero da bacia, o Ponta Grossa-Itararé (!)\*, apresentando COT (Carbono Orgânico Total) entre 1,5% e 2,5%, com picos de até 4,6% e matéria orgânica do tipo II, prolífica em gás (Milani & Zalán,

1998). Sua maturação foi severamente afetada pelas intrusões diabásicas da Formação Serra Geral, geralmente transformando acumulações de hidrocarbonetos em gás. Estes folhelhos ainda podem compor um sistema Ponta Grossa-Furnas (?), comportando-se como rocha selante, ou até mesmo como rocha reservatório num sistema Ponta Grossa – Ponta Grossa (?), ainda não aventado.

---

\* Notação de sistemas petrolíferos de Magoon & Dow (1994). O símbolo “(!)” indica sistema conhecido, ou seja, existe rocha geradora de gás ou óleo.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Classificação das amostras

Os dados obtidos permitiram classificar as amostras da Região de Vila Velha como siltitos, e as amostras da Chapada como siltitos argilosos e siltitos arenosos, segundo a classificação de Picard (1971) (*q.v.* figura 3, abaixo).

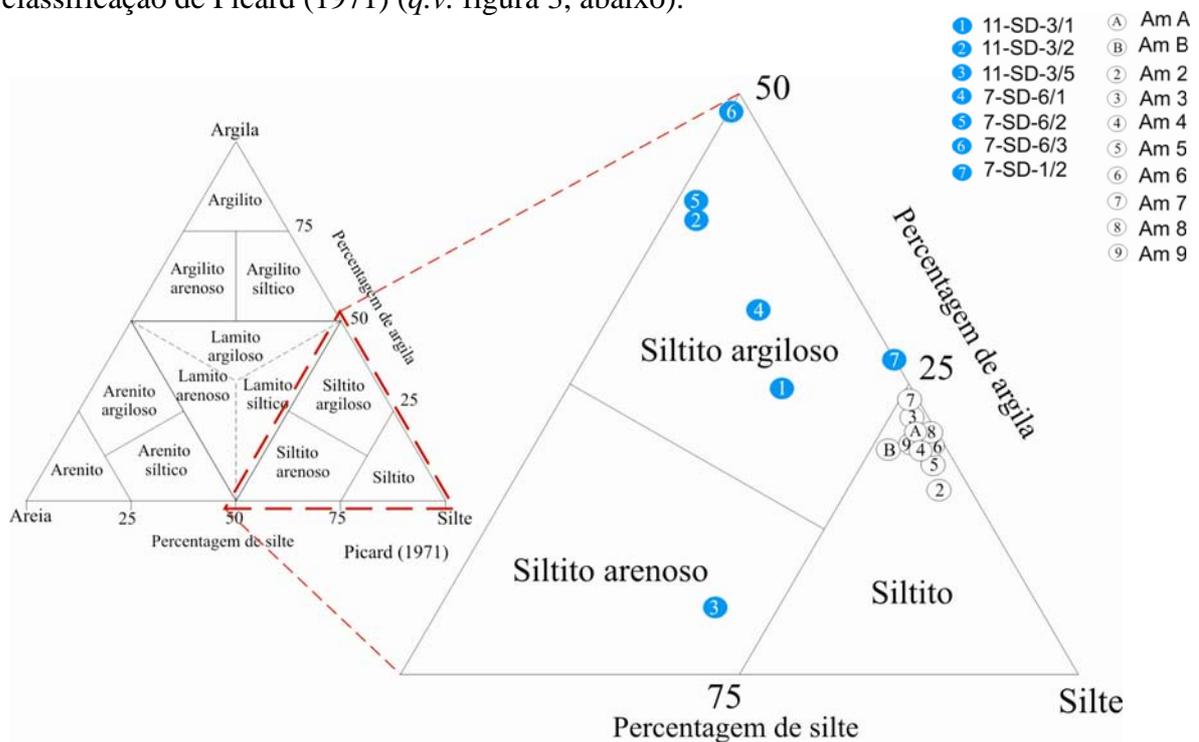


Figura 3 – Gráfico referente à classificação nomeclatural. Observar o campo de classificação das amostras, segundo Picard (1971).

As rochas da Região de Vila Velha mostraram-se essencialmente silticas (em média 77,6% de silte) com menor vestígio de areia (em média 1% de areia muito fina) em relação às da Chapada, que apresentaram maior teor de argila (em média 31,9%, com picos até 49%), menor teor de silte (em média 56,4%) e maior quantidade de areia (em média 5,1% de areia muito fina e 1,8% de areia fina, esta com picos até 10,3% de areia fina) (Tabela 1).

Tabela 1 – Dados da análise granulométrica em cada lâmina, em percentagem (%)

LÂMINA	ARGILA	SILTE	AREIA MUITO FINA	AREIA FINA	PORO
Am A	21,6	77,7	0,7	—	—
Am B	19,5	74,3	4,3	—	1,9
Am 2	16	81,9	0,9	—	1,2
Am 3	22,3	77	0,7	—	1,2
Am 4	20,2	78	0,6	—	1,2
Am 5	18,2	80,8	1	—	—
Am 6	20,7	78	0,3	—	—
Am 7	24,1	75,5	0,4	—	—
Am 8	20	76,6	—	—	3,4
Am 9	20,1	76,4	1,5	—	2
7-SD-1/2	27	73	—	—	—
7-SD-6/1	31,9	60,5	6,1	1,5	—
7-SD-6/2	41,7	50,8	6,3	1,2	—
7-SD-6/3	49	50	0,6	—	0,4
11-SD-3/1	23,4	66	9,3	—	1,3
11-SD-3/2	39,2	51,5	8,3	—	1
11-SD-3/5	3	45,7	5,4	10,3	34,6

A análise dos argilominerais realizada nas amostras de Vila Velha, revelou maior presença de caulinita, seguido da ilita, com traços de clorita em algumas amostras (Figura 4), mostrando-se em acordo com as análise de Figueira (2004), porém diferente de Ramos & Formoso (1975).

A análise da composição geral das amostras mostrou que quartzo, micas e material argiloso são os constituintes predominantes, perfazendo, em média, 31%, 7,9% e 20,4%, respectivamente, da amostra total. Entre as micas, muscovitas são mais frequentes (12,1%), seguidas das biotitas (9%) e cloritas (2,6%). O teor de cloritas é levemente maior nas amostras da Chapada (4,5%, contra 0,6% em Vila Velha), enquanto que o de biotita é maior em Vila Velha (11,8% contra 6,2%). Minerais opacos (pirita e hematita) contribuem com 13% e feldspato, com 5,6%. Ocorrem sideritas com média de 5%, com teores levemente maiores nas amostras da borda leste (média 7,3%, com picos de até 13,1%). Matéria orgânica, principalmente na forma de algas *Tasmanites*, e zircão, representam 1,3%, cada um. Turmalina e rutilo aparecem como traços (Tabela 2).

Tabela 2 – Dados da análise composicional em cada lâmina, em porcentagem (%).

Lâmina	Quartzo	Feldspato	Muscovita	Biotita	Clorita	Siderita	Zircão	Material argiloso	Opacos	Matéria orgânica	Turmalina	Rutilo
Am A	33,6	5,6	14,6	9,8	0,5	11,7	1,3	15,3	7,3	0,1	traços	0,1
Am B	35	5,9	11	17,5	0,4	7,8	1,3	11,5	6,4	3,1	traços	----
Am 2	42,8	6,4	14,8	11,9	0,9	2,3	1,9	10,2	7,7	0,9	traços	----
Am 3	29,3	5,4	13,7	6,2	0,7	13,1	traços	15	16,2	0,3	traços	----
Am 4	38,2	5,1	13,5	14,1	0,6	5,6	1,8	9,8	11	0,4	traços	0,2
Am 5	43,3	4,6	17,5	13,3	0,8	0,5	traços	12,5	6,7	1	0,7	----
Am 6	40,6	4,3	10,2	9,8	0,3	8,1	1,3	16,8	7	0,5	traços	----
Am 7	38,7	3,9	10,1	12,2	0,5	9,2	0,5	18,5	5,9	0,3	traços	0,1
Am 8	39,9	5,5	11,7	13,2	0,6	7,9	1,3	12,7	6,9	0,2	traços	----
Am 9	32,6	4,9	15,2	10,6	0,9	13,5	0,4	14,3	7,3	0,2	traços	----
11-SD-3/1	29	12,7	17,3	8,6	3,8	0,9	2	21	3,3	1,3	traços	----
11-SD-3/2	30,2	5,2	11,2	3,3	4	2,3	0,7	37,3	3,4	2,3	traços	----
11-SD-3/5	32	7,6	10,6	traços	----	8,8	0,9	4,4	34,9	traços	0,5	0,2
7-SD-6/3	11,8	3,1	6,8	8,4	7,8	----	1,8	36,1	22,9	1,2	traços	----
7-SD-6/2	23,8	5,9	10,1	6,1	3,2	1	traços	25,3	23,1	1,4	traços	----
7-SD-6/1	22,1	4	10,1	6,5	5	0,7	1,4	26,5	22	1	0,6	----
7-SD-1/2	23,6	3	6,4	2,6	----	5,4	1	22,5	31,7	3,7	traços	----

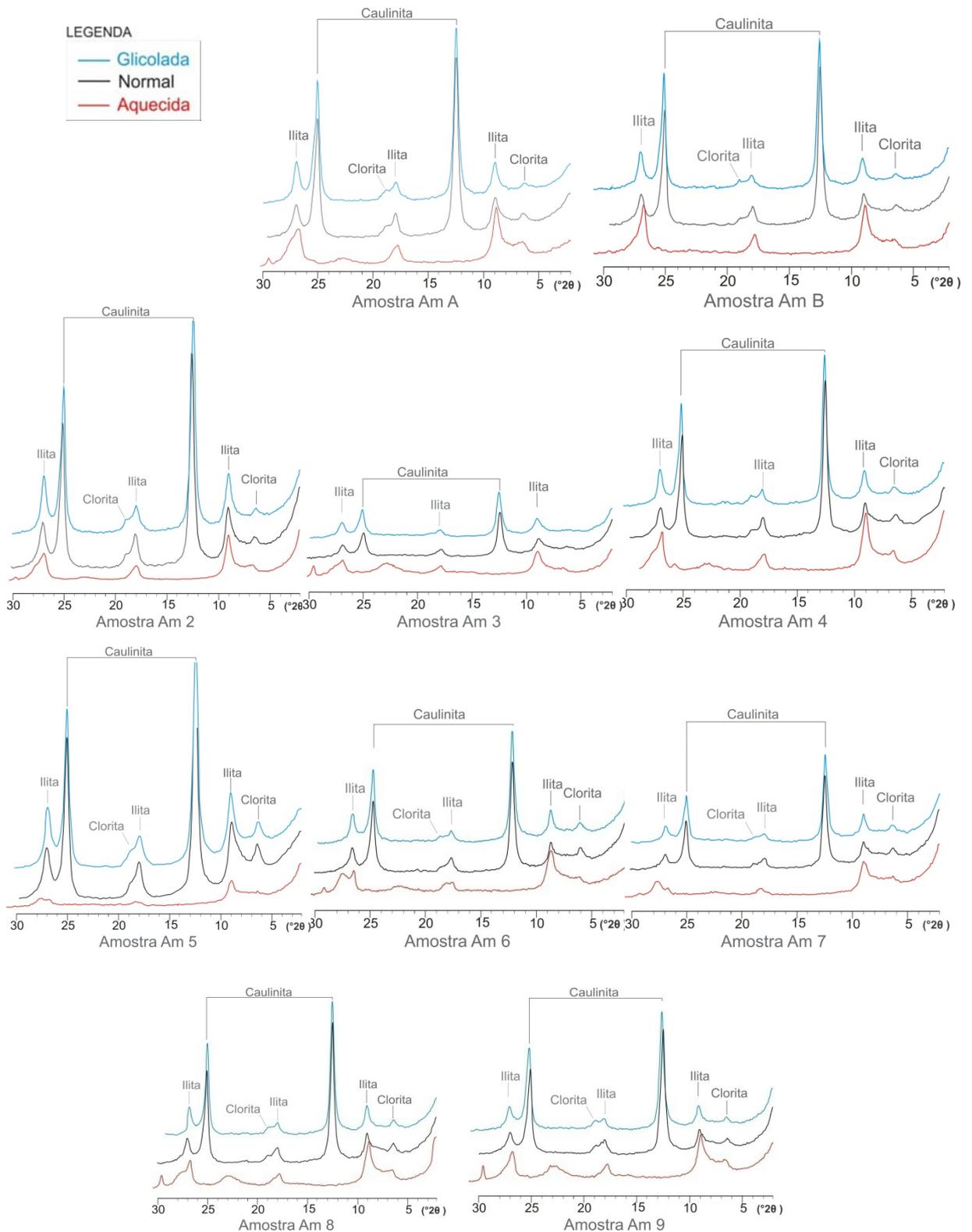


Figura 4 - Gráficos referentes à difratometria de Raios-X. A intensidade dos picos é proporcional à quantidade de cada argilomineral, em cada análise. Logo, observa-se maior presença de caulinita, seguido de ilita, e traços de clorita em algumas amostras.

## 4.2 Microfácies

### 4.2.1 CHAPADA DOS GUIMARÃES

Quadro 1 – Síntese das microfácies sedimentares descritas na Chapa dos Guimarães.

DESIGNAÇÃO	DIAGNOSE	INTERPRETAÇÃO	LÂMINAS
(Sa) Siltito arenoso	Siltito arenoso com camadas muito delgadas (0,5 cm) em micro-gradação normal; elevado teor de mineral opaco; alta porosidade.	Fluxo turbulento desacelerante de baixa densidade/energia, em ambiente subaquoso	11-SD-3/5
(Sbf) Siltito bioturbado ferruginoso	Siltito argiloso intensamente bioturbado com alto teor de óxido de ferro	Baixas taxas de acumulação sedimentar em substrato macio-ensopado com posterior ação de organismos escavadores (bioturbação)	7-SD-1/2
(Sm) Siltito maciço	Siltito argiloso com grãos de silte-areia fina dispersos, trama sem organização, e argilominerais bem orientados, localmente.	Fluxo de detritos lamoso/fluidal ( <i>slurry</i> )	7-SD-6/1 7-SD-6/2 11-SD-3/2
(Sch) Siltito em acamamento heterolítico	Siltito argiloso com lâminas (cm) em gradação normal, com micro-laminação interna; laminação horizontal com contatos difusos e laminação localmente enrugada.	Fluxo trativo, unidirecional, em regime de fluxo inferior, subaquoso, desacelerante; fluxos pulsáteis; ora com reduzido aporte e energia para o desenvolvimento de esteiras microbianas.	11-SD-3/1
(Sma) Siltito muito argiloso	Siltito muito argiloso, com argilominerais bem orientados, e incipientes laminações.	Processo decantativo em ambiente subaquoso com baixa oxigenação, sob ação de organismos, localmente sob influência de pequenos pulsos trativos.	7-SD-6/3

Siltito arenoso – Sa

**Lâmina tipo:** 11-SD-3/5

**Diagnose.** – Siltito arenoso contendo camadas muito delgadas (0,5 cm) de silte grosso a silte fino em micro-gradação normal, cujas bases são erosivas; elevada quantidade de mineral opaco (34,9%) e alta porosidade visual (>30%) (Apêndice A).

**Interpretação.** – Fluxo turbulento desacelerante de baixa energia e densidade, em ambiente subaquoso.

**Descrição.** – A rocha é composta por minerais opacos (hematita?) e grãos detríticos de quartzo e feldspato (39,6%) e muscovitas (10,6%), geralmente tamanho silte (Fotomicrografia B e C, apêndice A). Podem ocorrer grãos de areia muito fina a fina (15,7%) dispersos por algumas regiões da lâmina e concentrado em bioturbação. É rara a presença de argila (3%) -

porcentagem esta não muito confiável, pois a presença de corante azul dificultou bastante a percepção desta granulometria . Ocorre siderita com teor de 8,8%, principalmente localizada acima da superfície erosiva de nº1 (S1) identificada em uma das lâminas petrográficas (Fotomicrografia B, apêndice A). As muscovitas e eventuais argilas não possuem orientação preferencial. A bioturbação é moderada. Em bioturbações de maior escala (ordem de cm) é notório a presença de óxido de ferro (hematita) precipitado nos poros entre os grãos de areia, além de argila; enquanto que bioturbações menores, da ordem de mm, também ocorrem, preenchidas por material mais fino (argila-silte fino) (Fotomicrografias E e F, apêndice A).

O tamanho dos poros varia desde  $< 3,9\mu\text{m}$  (35%) a  $125\mu\text{m}$  (1,7%), com predomínio dos poros tamanho  $3,9 - 62,5\mu\text{m}$  (59,3%) (Fotomicrografias F e G, apêndice A);

**Discussão.** – É a microfácies com maior porosidade e quantidade de areia (15,7%). A presença de gradação normal sugere deposição sedimentar por fluxo desacelerante (Schieber, 1999), o que associado a granulometria fina indica ser este de baixa densidade/energia. A superfície erosiva de nº 1 (S1) é interpretada aqui como uma superfície de *by pass*, uma vez que o material presente nas bioturbações que fazem limite com esta superfície não é visto na camada superior (Fotomicrografia D, apêndice A). A presença de areia nestas bioturbações sugere provável existência de fluxos turbulentos, provavelmente de tempestade acumulados em porções distais. Esta microfácies pode ser associada ao intervalo *Tde* de turbiditos oscilatórios de Dott & Bourgeois (1982), relativo a processo de sedimentação por fluxos turbulentos distais. Está contida na Litofácies Het, de Schubert (1995) (*q.v* figura 1), próximo a intervalos arenosos, estando de acordo com a idéia sugerida, logo acima, a respeito da presença de areia em bioturbações.

## Siltito bioturbado ferruginoso – Sbf

**Lâmina tipo:** 7-SD-1/2

**Diagnose.** – Siltito argiloso cuja trama primária está completamente obliterada por icnofósseis, com elevada quantidade de óxido de ferro (31,7%) (Apêndice B).

**Interpretação.** – Baixas taxas de acumulação sedimentar em substrato macio-ensopado, com posterior ação de organismos escavadores (bioturbação) em substrato com níveis normais de oxigenação, fora da ação de ondas normais.

**Descrição.** – A microfácies é formada, principalmente, por grãos silticos de hematita, quartzo (23,6%) e material argiloso (22,5%), também ocorrendo siderita (5,4%) (Fotomicrografia A, apêndice B). Exibe intensa bioturbação, cujas bordas geralmente apresentam limites difusos (não muito nítidos) (Fotomicrografia B, apêndice B). Devido à bioturbação, as micas encontram-se sem orientação preferencial, e o material argiloso misturado com material siltico, o que confere um aspecto um pouco homogêneo à microfácies (Fotomicrografia C e D, apêndice B).

**Discussão.** – É a microfácies com maior quantidade de silte (73%) entre as microfácies da Chapada, não apresentou nenhuma percentagem granulométrica acima da fração silte e nem porosidade visual.

A textura muito bioturbada sugere baixas taxas de acumulação sedimentar (Schieber, 1999), e o fato de as bioturbações apresentarem limites difusos, implica na existência de substrato macio-ensopado (*soft-soupy*) durante deposição, *i.e.*, ainda não existia substrato firme, logo o sedimento era misturado pelos próprios organismos (Schieber, 2003).

Siltito maciço – Sm

**Lâmina tipo.** – 7-SD-6/1, 7-SD-6/2 2 11-SD-3/2

**Diagnose.** – Siltito bastante argiloso (31,9 a 41,7%) com grãos de silte e areia muito fina a fina dispersos, trama sem organização preferencial, porém argilominerais podem estar orientados (Apêndice C).

**Interpretação.** – Fluxo de detritos lamoso/fluidal (*slurry*).

**Descrição.** – Exibe uma trama sem organização, porém argilominerais podem estar moderadamente à bem orientados (Fotomicrografia B e E , apêndice C). A bioturbação é moderada, com silte – areia introduzidos, por vezes difusa (Fotomicrografia C e E, apêndice C). Ocorre argila misturada ao material siltico na bioturbação (Fotomicrografia G, apêndice C). A porosidade nesta microfácies é em média 0,3%, sendo presente apenas na lâmina 11-SD-3/2 (1%), com predomínio de poros tamanho  $< 3,9 \mu\text{m}$ . E ocorrem fragmentos de esteira microbiana da ordem de 0.3 a 1 cm, exibindo bordas muitas da vezes rugosas/levemente onduladas (Fotomicrografia D e F, apêndice C).

**Discussão.** – Apresenta considerável teor de clorita (3,2 a 5%), ficando abaixo apenas da microfácies Sma (7,8%). Minerais opacos representam em média 16% da rocha total.

Sua trama caótica, mal selecionada, pode ser fruto da rápida decantação de argilas floculadas, que comportar-se-iam como equivalentes hidráulicos aos grãos de silte (Potter *et al.*, 2005). A presença de silte e areia muito fina – fina dispersos em folhelhos já foi interpretada por Torres-Ribeiro (2004), em antigos lagos, e por Schieber (1989), em bacia epicontinental, como ação de ventos. Porém, sua trama desorganizada, associado a estes grãos, sugere deposição a partir de um fluxo de detritos lamoso (*slurry*), *i.e.*, um fluxo transicional entre correntes de turbidez, na qual as partículas são suportadas principalmente por turbulência, e um fluxo de detritos, no qual as partículas são suportadas pela energia/força

do fluxo (Lowe & Guy, 2001). Esta microfácies poderia ser interpretada como depósito de pluma nefelóide, porém, devido ausência de detritos vegetais, descartou-se esta hipótese. Os fragmentos citados na diagnose assemelham-se com o que Schieber (2007) interpretou no Grupo Somanpalli, Mesoproterozóico da bacia Pranhita-Godavari, na Índia., como esteiras microbianas (fragmentos). Está contida na Litofácies Pel e Het de Schubert (1995) (*q.v* figura 1), referente a ambientes mais distais. Observar no perfil da figura 1 a presença de níveis de areia próximo às lâminas desta microfácies, que são evidência de processos capazes de proporcionar fluxos que sedimentariam esta microfácies.

#### Siltito em acamamento heterolítico – Sch

**Lâmina tipo.** – 11-SD-3/1.

**Diagnose.** – Siltito argiloso contendo lâminas centimétricas em gradação normal, com micro-laminação horizontal interna ( $\mu\text{m}$ ); laminação horizontal entre níveis argilosos e níveis sílticos exibindo contatos difusos entre si; e laminação localmente enrugada (Apêndice D).

**Interpretação.** – Fluxo trativo, unidirecional, em regime de fluxo inferior, subaquoso, desacelerante e fluxos pulsáteis, ora com reduzido aporte/energia para desenvolvimento de esteiras microbianas.

**Descrição.** – A micro-laminação é formada pela diferença granulométrica entre argila e silte, assim como pela orientação preferencial de palhetas de micas (Fotomicrografia C, apêndice D). Ocorrem pequenas escavações nas argilas que compõem o topo das lâminas (Fotomicrografia D, apêndice D) e estão presentes lascas de argila referentes a esse topo dentro da camada superior (Fotomicrografia A, apêndice D). Leve laminação horizontal internamente enrugada, de cor bege (Fotomicrografia E, apêndice D). Moderadamente

bioturbada, apresenta areia fina (9,3%) e porosidade visual de 1,3% (Fotomicrografia F e G, apêndice D)

**Discussão.** – É a microfácies que apresenta melhor preservação da trama primária. O sedimento finamente laminado sugere deposição sob ação de processos trativos de baixa velocidade (O'Brien, 1990), e presença de escavação indica transporte trativo. Contatos difusos entre os níveis argilosos e sílticos que compõem a laminação horizontal, sugere deposição ininterrupta por sucessivas bandas (Schieber, 1999), como produto da rápida deposição, provavelmente em consequência da floculação da argila concentrada na suspensão (Potter *et al.*, 2005; O'Brien & Slatt, 1990; Parthenaides, 1990). Evidencia também uma sedimentação episódica (O'Brien 1998). A fraca orientação das argilas nesta estrutura é mais uma evidência que corrobora esta discussão, uma vez que argilas floculadas não exibem boa orientação (O'Brien *et al.*, 1994; O'Brien, 1970). A leve laminação localmente enrugada, à primeira vista, parece desenvolver-se em substrato argiloso, porém, possui feição interna levemente enrugada, dando aspecto de coesão a esta estrutura. O'Brien (1990), Esteban (2003) e Torres-Ribeiro (2004) já interpretaram feições parecidas como sendo indicadores de origem de esteiras microbianas. Sugere-se aqui, então, a hipótese da existência de esteiras microbianas durante algum momento da existência do mar Devoniano. Está contida na litofácies Pel de Schubert (1995) (*q.v* figura 1), próximo a uma pequena camada de areia, sugerindo, como nas demais microfácies, a existência de processos trativos, turbidíticos, para depositar tais sedimentos arenosos. Neste caso, a análise em lâmina mostrou-se capaz de evidenciar microestruturas que Schubert (1995) não observou. Correlacionável a depósito de fluxos turbidíticos distais.

Siltito muito argiloso – Sma

**Lâmina tipo:** 7-SD-6/3

**Diagnose.** – Siltito muito argiloso (49%), com argilominerais bem orientados e incipientes laminações (Apêndice E).

**Interpretação.** – Processo decantativo em ambiente subaquoso com baixa oxigenação, sob ação de organismos, localmente sob influência de pequenos pulsos trativos.

**Descrição.** – Microfácies bastante argilosa (49%) (Fotomicrografia A, apêndice E). Possui elevado teor de minerais opacos (22,9%), presença de areia muito fina (0,6%) e porosidade de 0,4%. Apresenta-se pouco bioturbada, com material argiloso preenchendo as bioturbações (Fotomicrografia D, apêndice E). Argilominerais bem orientados (Fotomicrografia B, apêndice D). Singelas escavações e pequenos e descontínuos níveis de silte são encontrados (Fotomicrografia D, apêndice E). Muito localmente são identificadas incipientes laminações compostas por intercalação micrométrica entre silte e argila (Fotomicrografia E, apêndice E).

**Discussão.** – É a microfácies com maior teor de argila (49%). Escavações e níveis descontínuos de silte sugerem que o ambiente ora esteve sujeito a fracos pulsos trativos, que promoveriam leve oxigenação ao ambiente. Está contida na Litofácies Pel de Schubert (1995) (*q.v* figura 1). Mesmo sendo muito argilosa, o que implica num ambiente mais distal (*q.v* perfil da figura 1), ainda sim é possível observar evidência de tração (escavação).

A origem da fissilidade de folhelhos é de longa data discutida na literatura, mesmo que de forma tímida, sem que haja, até hoje, uma hipótese definitiva para sua origem. O trama de um folhelho pode ser tanto da deposição de argilas dispersas, quanto do colapso pós-deposicional das argilas floculadas, promovido pela compactação (O'Brien, 1970; Potter, 2005.). O'Brien (1970), mostra que a orientação dos argilominerais implica na maneira como

os folhelhos quebram-se, deixando evidente que ausência de fissilidade está relacionada à orientação ao acaso. De acordo com Meade (1966), orientação preferencial pode desenvolver-se ainda no início da compactação, com pressões aproximadamente de 1kg/cm.

#### 4.2.2 VILA VELHA

Quadro 2 – Síntese das microfácies sedimentares descritas em Vila Velha

DESIGNAÇÃO	DIAGNOSE	INTERPRETAÇÃO	LÂMINAS
(Smc) Siltito micáceo	Siltito micáceo, com micas e argilominerais bem orientados	Lenta decantação a baixas taxas sedimentares.	Am 5
(Slo) Siltito levemente orientado	Siltito com micas e argilominerais levemente orientados, com concentrações piríticas.	Sedimentação sob taxas moderadamente rápidas	Am A, Am 2, Am 3, Am 4 e Am 8
(Sbo) Siltito bioturbado orgânico	Siltito muito bioturbado, com algas <i>Tasmanites</i> frequentes .	Ação de organismos escavadores (bioturbação)	Am B
(Ss) Siltito siderítico	Siltito com sideritas em forma de “cimento” e precipitadas em bioturbações .	Deposição em ambiente com leve taxa de oxigenação	Am 6, Am 7 e Am 9

Siltito micáceo bem orientado - Smc

**Lâmina tipo:** Am 5

**Diagnose.** – Siltito micáceo, com micas e argilominerais bem orientados (Apêndice F).

**Interpretação.** – Lenta decantação à baixas taxas sedimentares.

**Descrição.** – Em geral, apresenta micas bem orientadas (Fotomicrografia A e B, apêndice F), apenas localmente desorientadas devido à bioturbação (Fotomicrografia C, apêndice F). Ocorrem algas marinhas (*Tasmanites*) perfazendo 1% da microfácies. Observa-se mineral opaco (pirita framboidal) (6,7%), geralmente associada às *Tasmanites*.

(Fotomicrografias D, apêndice F). Siderita ocorre com teor de 0,5%, sendo possível ainda identificá-la concentrada em pequenos grumos (Fotomicrografia F, apêndice F).

**Discussão.** – É a microfácies com maior teor de micas (31,6%). Uma breve discussão a respeito da formação de folhelhos já foi exposta na microfácies Sma. Acrescenta-se aqui o seguinte: a compactação promove alinhamento adicional dos flocos, tornando possível a formação de fissilidade mesmo no sedimento floculado. Porém, a trama físsil do sedimento floculado não exibe total extinção dos constituintes quando vistos ao microscópio, pois ainda sim alguns domínios (flocos) resistem. O’ Brien (1998) e Curtis et al. (1980) discutem que a fissilidade de folhelhos é principalmente devido ao rearranjo mecânico de sedimentos floculados ainda no estágio inicial de compactação. A taxa sedimentar também é de suma importância na formação de folhelhos (Rosenqvist, 1966). Este autor estabelece que a concentração de sedimentos pode implicar se a deposição ocorre em floco ou dispersa, independente da concentração de sais na água. Se muito pouco sedimento (fino) é acrescentado anualmente a um sistema, as chances de ocorrer choque entre os grãos para que possam flocular são menores que à altas taxas sedimentares.

Uma vez que observou-se boa e contínua orientação dos minerais nesta microfácies, a não ser pela esporádica presença de bioturbação, e por ser uma microfácies micácea (lembrando que minerais de hábito planar como micas decantam lentamente quando disseminados), interpretou-se como produto de decantação à baixas taxas sedimentares, referente a um ambiente mais distal (observar localização da lâmina que compõe esta microfácies, no Perfil da figura 2, inserida na base de um dos PACs interpretados por Bergamaschi (1999)).

Siltito levemente orientado – Slo

**Lâminas tipo.** – Am A, Am 2, Am 3, Am 4, Am 8.

**Diagnose.** – Siltito com micas e argilominerais levemente orientados, com concreções piríticas (Apêndice G).

**Interpretação.** – Sedimentação sob taxas moderadamente rápidas .

**Descrição.** – Trama em geral com micas e argilominerais levemente orientados (Apêndice E, fotomicrografias A e E). Moderada bioturbação. Ocorrem concentrações de mineral opaco (pirita framboidal) (Fotomicrografia A e B, apêndice G) perfazendo em média 7% da microfácies. É possível, devido ao corte das lâminas quando confeccionadas, observar rastros (*trails*) de pirita materializando-se a partir de algumas concreções, sem uma orientação preferencial (Fotomicrografia B, apêndice G). Siderita ocorre com teores de 2,3 até 13,1%, sendo muito comum preenchendo bioturbações (Fotomicrografia C, apêndice G) e também como nódulos sideríticos dispersos pela lâmina e em pequenos grumos, sem organização preferencial (Fotomicrografia D, apêndice G).

**Discussão.** – Schieber (2003) identificou feições semelhantes aos rastros (*trails*), presentes nesta microfácies, nos folhelhos New Albany, Indiana e Chattanooga, Tennessee, e interpretou-os como originados por organismos bioturbadores que locomoviam-se pelo sedimento a procura por alimento, ao invés de terem origem concrecionária, como de costume é atribuído a concentrações piríticas como as aqui descritas. A presença de regiões com leve orientação (Fotomicrografia E, apêndice G), aparentemente sem interferência da bioturbação, sugere que deposição pode ter sido a partir da deposição de material floculado (Potter *et al.*, 2005), o que denota sedimentação mais rápida que para a microfácies Smc, por exemplo.

Siltito bioturbado, orgânico - Sbo

**Lâmina tipo.** – Am B.

**Diagnose.** – Siltito muito bioturbado, com algas *Tasmanites* frequentes (Apêndice H)

**Interpretação.** – Ação de organismos escavadores (bioturbação)

**Descrição.** – Apresenta uma trama sem orientação preferencial. Areia muito fina está presente em teores de 4,3%, em bioturbações (Fotomicrografia A, apêndice H). Siderita ocorre com percentual de 7,8%, identificadas em forma de pequenos grumos (Fotomicrografia B, apêndice H). Minerais opacos (pirita framboidal) apresentam teores de 6,4%, formadas por pequeninas piritas associadas entre si num formato que assemelha-se a um frambóide (Fotomicrografias C e D, apêndice H), comumente associados às *tasmanites*, sendo possível observar várias intensidades dessa associação (Fotomicrografias E e F, apêndice H).

**Discussão.** – É a microfácies com maior quantidade de algas *Tasmanite* (3%), e mais intensamente bioturbada. O mais marcante desta microfácies é o maior teor de algas com minerais opacos associados. Schieber & Baird (2001) discute a origem de pirita framboidal observadas de forma direta no interior de cistos de *Tasmanites*, nos folhelhos devonianos na América do Norte, sugerindo que redução bacteriana de sulfato no interior destes cistos promoveu a deposição de localizadas piritas, ainda no estágio de diagênese inicial. Tais feições são extremamente semelhantes às observadas nesta microfácies, por isso sugere-se aqui que possuam mesma origem. Love (1976) e Berner (1983) também atribuíram a formação de piritas à eodiagênese, sobre tudo devido à ação de bactérias/microorganismos. Via reação de ferro detrítico com H<sub>2</sub>S produzido pela redução de sulfato dissolvido nos poros, por bactérias. Freitas-Brasil (2004), em análise de arenitos da Fm. Ponta Grossa, também identificou pirita substituindo cavidade interior de algas *Tasmanites*, atribuindo-a, também, à eodiagênese na zona de redução bacteriana de sulfato. Segundo Berner (1983), o produto

imediatamente não é de fato a pirita, mas sim monossulfetos que durante a eodiagênese transformam-se em pirita (por processos ainda pouco entendidos).

### Siltito siderítico – Ss

**Lâminas tipo.** – Am 6, AM 7 e Am 9.

**Diagnose.** – Siltito com sideritas em forma de “cimento” e precipitadas em bioturbações (Apêndice I).

**Interpretação.** – Deposição em ambiente com leve taxa de oxigenação.

**Descrição.** – Exibe trama bastante bioturbada, em geral, sem orientação preferencial de micas ou argilominerais (Fotomicrografias A e F, Apêndice I). As bioturbações promovem aspecto ora sem muita nitidez, tornando difícil definir o que realmente é bioturbação ou não (Fotomicrografias A e E, Apêndice I), e ora possuem paredes devido a algum tipo de muco secretado por organismos que habitavam o ambiente (Fotomicrografia F, Apêndice I). Siderita ocorre em teores variando de 8,1% a 13,3% (*q.v.* tabela 2) precipitadas como uma espécie de “cimento” (Fotomicrografia D, apêndice I), e também associada à bioturbações (Fotomicrografia B e C, Apêndice I). Minerais opacos (pirita) ocorrem em média com teores de 7% (*q. v.* tabela 2).

**Discussão.** – A presença de bioturbações com paredes, com concentração de material siltítico sugere que ora o ambiente sofreu oxigenação promovida pelo deslocamento destes organismos. E a presença de bioturbações não muito nítidas sugere que ora o substrato era macio, sem condições para fixação de organismos ao substrato. A siderita, não só a presente nesta microfácies, mas também nas demais, acredita-se ter sido precipitada na zona subóxica, após precipitação de pirita (presente em todas as microfácies) na zona de redução bacteriana de sulfato (Freitas-Brasil, 2004), fruto de processos diagenéticos. A microfácies Sbo exibe

bioturbações muito bem definidas o que evidencia substrato menos macio que o desta microfácies.

## 5 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

A qualidade selante de uma rocha geralmente cresce conforme a quantidade de argila cresce. A presença de silte detrítico parece influenciar a efetividade do processo de compactação mecânica, a permeabilidade e a capacidade selante (Almon &, Dawson 2004). Percentagens altas de grãos de silte reduz a capacidade selante de uma rocha à medida que permite a preservação de gargantas de poro de diâmetros relativamente grandes (Almon &, Dawson 2004) e que além do conteúdo de silte, a organização da trama (se bioturbada, ou laminar) também influencia as características selantes.

Rochas selantes com boa a excelente capacidade são encontrados em folhelhos da parte mais superior de unidades transgressivas e em alguns intervalos condensados, e os selantes de baixa qualidade são característicos de folhelhos sílticos relativos a tratos de sistemas de mar alto, mar baixo e parte basal de tratos transgressivos (Dawson & Almon, 2004). Segundo os mesmos autores, a presença de teores de silte disperso acima de 25%, ou mesmo com baixas taxas (15%) organizado em bioturbações ou em lâminas, causa uma significativa diminuição da capacidade selante. Sutton *et al.* (2006) identificaram que o conteúdo de silte em potenciais rochas selantes é geralmente importante quando ocorrem em abundância acima de um limiar, o qual estipularam ser em torno de 20%, determinado com base em análise de Pressão Capilar por Injeção de Mercúrio. Acima desde limite, a capacidade selante é degradada.

Tendo em vista que os folhelhos neste trabalho analisados foram classificados como siltitos, siltitos argilosos e siltitos arenosos, sendo por isso, essencialmente sílticos, apresentando médias de 77,6% para as microfácies de Vila Velha, e 56,4% para as microfácies da Chapada dos Guimarães, além de apresentarem areia fina e muito fina, tem-se que estas amostras aqui analisadas não mostram boa qualidade como selantes. Chama-se a atenção para a possibilidade destes folhelhos virem a comportar-se como *gas shale*.

Porém, Figueira (2004) conclui em seu estudo que amostras da Formação Ponta Grossa na região de Vila Velha mostram excelentes características para atuar como rocha selante, quanto a sua boa ductibilidade. E que os resultados de pressão capilar demonstram que os folhelhos atuariam como um selante eficaz, podendo reter colunas de 173,2 metros de óleo e 104,6 metros de gás.

Como este trabalho foi realizado com base apenas em estudos petrográficos de um número extremamente reduzido de amostras, salienta-se aqui, a necessidade de muito mais análises para realmente obter uma avaliação fidedigna destas rochas como selantes.

## Referências bibliográficas

- ALMON, W. R. & DAWSON, W. C. Seal Character and Variability Within Deep-Marine Depositional System: Seal Quantification and Prediction. In: AAPG ANNUAL MEETING, 2004, abril, Dallas. **Resumos Eletrônicos...**, Tulsa: AAPG/Datapages, Inc. Disponível em : <<http://www.searchanddiscovery.net/documents/2004/dawson02/index.htm>>. Acesso em: 05. Setembro. 2007.
- ASSINE, M. L.; PERINOTO, J. A. J.; FÚLFARO, V. J. & PETRI, S. Progradação deltaica Tibagi no Devoniano Médio da bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, v.28, n.2, p. 125-134, Junho. 1998.
- BERGAMASCHI, S. **Análise Estratigráfica do Siluro-Devoniano (Formações Furnas e Ponta grossa) da sub-bacia de Apucarana, bacia do Paraná, Brasil**. 1999. 167f. Tese (Doutorado em Geologia) – Programa de Pós-graduação em Geologia Sedimentar, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- BERNER, R. A. Sedimentary pyrite formation: an update. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Tulsa. V. 48, n. 4, p. 605-615, abril. 1983
- BORGHI, L., 2002. **Fácies, arquitetura deposicional, tempestitos e o Devoniano da bacia do Paraná**. 308f. Tese (Doutorado em Geologia) – Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, rio de Janeiro.
- BROWN, J. S. Suggested use of the word microfacies . *Economic Geology*, v. 38; n. 4; p. 325, junho. 1942.
- CANDIDO, A.G. **Análise do potencial de ocorrência de reservatórios devonianos na porção profunda da Bacia do Paraná, baseada na caracterização estratigráfica do Membro Tibagi, Formação Ponta Grossa**. 2007. 124f. Dissertação (Mestrado) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- CURTIS, C. D.; LIPSHIE, S. R.; OERTEL, G. & PEARSON, M. J. Clay orientation in some Upper Carboniferous mudrocks, its relationship to quartz content and some inferences about fissility, porosity and compactional history. **Sedimentology**, Southampton. v. 27, n. 3, p. 333-339, junho. 1980.
- DAWSON, W. C. & ALMON, W. R. Shale facies and Seal Variability in Deepwater Depositional Systems. In: AAPG ANNUAL CONVENTION, 2006, abril, Houston. **Resumos Eletrônicos...** Tulsa, AAPG/Datapages, Inc. Disponível em: <http://www.searchanddiscovery.net/documents/2006/06052dawson/index.htm>. Acesso em 05. Setembro. 2007.
- DOTT, R. H. & BURGEIOIS, J. Hummocky stratification: significance of its variable bedding sequences. **Geological Society of America Bulletin**. Tulsa. v. 93, p. 663-680, agosto. 1982.

- ESTEBAN, S. B. Biogenic and physical sedimentary structures in latest Cambrian-earliest Ordovician mudrocks facies (Famatina Range, Northwestern Argentina). **Geologica Acta**. v. 1, n. 1, p.85-94. 2003.
- FERNANDES, A.C.S. **Os icnofósseis do Ordoviciano, Siluriano e Devoniano da bacia do Paraná**. 1996. 183f. Tese (Doutorado em Geociências – Geologia) - Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências/Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- FIGUEIRA, A. G. B. **Caracterização de folhelhos como rochas selantes**. 2004. 52f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) – Curso de Graduação, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- FREITAS-BRASIL, F. A. de. **Estratigrafia de Sequências e Processo Diagenético: exemplos dos arenitos marinho-rasos da Formação Ponta Grossa, noroeste da bacia do Paraná**. 2004. 135f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-graduação em Análise de Bacias e Faixas Móveis, Faculdade de Geologia, UERJ, Rio de Janeiro.
- GOODWIN, P. W. & ANDERSON, E. J. Punctuated aggradational cycles: a general hypothesis of episodic stratigraphic accumulation. **The Journal of Geology**, Chicago. v.93, n.5, p.515-533, setembro. 1985.
- LOVE, L. G. Early diagenetic iron sulphide in recent sediments of the Waoh England, **Sedimentology**, Southampton v. 9, p. 327-352. 1976
- LOWE, D. R & GUY, M. Slurry-flow deposits in the Britannia Formation (Lower Cretaceous), North Sea: a new perspective on the turbidity current and debris flow problem. **Sedimentology**, Southampton. v. 47, n. 1, p. 31-70. Dezembro. 2001.
- MAGOON, L. B. & DOW, W. G. The petroleum system. In: MAGOON, L. B. & DOW, W. G. (ed) **The petroleum system – from source to trap**. AAPG Memoir 60, Tulsa, 1994, p. 3-24.
- MEADE, R. H. Factors influencing the early stages of the compaction of clays and sands – review. **Journal of Sedimentary Petrology**, Tulsa. V. 36, n. 4, p. 1085-1101, dezembro. 1966.
- MELO, J.H.G. **A província Malvinocáfrica no Devoniano do Brasil – Estado Atual de conhecimentos**. 1985. 467f. v. 1, 880p., v.2, v.3 182fig. Dissertação (Mestrado em Geologia). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- MENDES, J. C. **Elementos da Estratigrafia**. São Paulo, T. A. Queiroz Editor, 1984. 566p.
- MILANI, E. J.; FRANÇA, A. B. & SCHNEIDER, R., 1994. Bacia do Paraná, **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 69-82, Jan/Mar. 1994.
- MILANI, E. J. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental**. Instituto de Geociências.

1997. 255 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MILANI, E.J. & ZALÁN, P.V. Brazilian Geology Part 1: the Geology of Paleozoic Cratonic Basins and Mesozoic Interior Rifts of Brazil. In: AAPG INTERNATIONAL CONFERENCE & EXHIBITION, 1998, Rio de Janeiro, Short Courses Notes, v.1, 186p.

MINEROPAR. MINERAIS DO PARANÁ S. A. **Mapa geológico do Estado do Paraná : unidades estratigráficas.** Curitiba, 2003. Disponível em : <<http://www.mineropar.pr.gov.br/mineropar/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=22>> Acesso em : 03. Agosto. 2007.

OBLIGADO, A.; ETHRIDGE, F. G; SUTTON, S. J; ALMON, W. R & DAWSON, W. C. Sequence Stratigraphy, Shale Characteristics, and Potential for Hydrocarbon Seal Development of the Middle Eocene Juncal Formation, Ventura Basin, Southern California. In: AAPG ANNUAL MEETING, 2002, março, Houston. **Resumos...** Tulsa: AAPG/Datapages, inc. Disponível em: <<http://www.searchanddiscovery.net/documents/abstracts/annual2002/DATA/2002/13ANNUAL/SHORT/44345.pdf>>.

O'BRIEN, N. R. The fabric of Shale – An electron microscope study. **Sedimentology**, Southampton. v. 15, p. 229-246, 1970.

O'BRIEN, N. R. Signification of lamination in Toarcian (Lower Jurassic) shales from Yorkshire, Great Britain. **Sedimentary Geology**, Amsterdam. v. 67, n. 1 - 2, p.25-34, abril. 1990.

O'BRIEN, N. R. & SLATT, R. M. **Argillaceous Rock Atlas.** New York: Springer – Verlag, 1990. 141p.

O' BRIEN, N. R.; BRETT, C. E. & TAYLOR, W. L. Microfabric and taphonomic analysis in determining sedimentary processes in marine mudstones: examples from Silurian of New York. **Journal of Sedimentary Research**, Tulsa, v. A64, n. 4, p. 847-852, outubro. 1994.

O'BRIEN, N. R. Shale fabric as a clue to sedimentary processes – example from the Williamson-Willowvale shales (Silurian). New York. In: SCHIEBER, J.; ZIMMERLE, W. & SETHI, P. (eds.) **Shales and Mudstones II.** Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), 1998. v. 2, cap. I, p. 55-66.

PARTHENAIDES, E. Effect of bed shear stresses on the deposition and strength of deposited cohesive muds. In: BENNETT, R. H., BRYANT, W. R. & HULBERT, M. H., eds., **Microstructures of Fine-Grained Sediments.** New York: Springer-Verlag, 1990. cap. 18, p.175 – 183.

PETRI, S. & FÚLFARO, V. J. **Geologia do Brasil (Fanerozóico).** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1983 p. 631.

- PICARD, M. D. Classification of fine-grained sedimentary rocks. **Journal of Sedimentology Petrology**, Tulsa. v. 41, p. 179-195. 1971.
- POTTER, P. E.; MAYNARD, J. B & DEPETRIS, P. J. **Mud and mudstones: introduction and overview**. Berlim: Springer-Verlag, 2005. 297p.
- RAMOS, A. N. & FORMOSO, M. L. L. Argilominerais das rochas sedimentares da bacia do Paraná. **Série Ciência-Técnica-Petróleo**, Seção: Exploração de Petróleo, Petrobras, Rio de Janeiro. 9:72p. 1975
- ROSENQVIST, I. TH. Norwegian research into the properties of quick clay – a review. **Eng. Geol.** V. 1, p. 445-450. 1966.
- SCHIEBER, J. Facies and origin of shales from the mid-proterozoic Newland Formation, Belt Basin, Montana, USA. **Sedimentology**, Southampton. v. 36, p. 203-219. 1989.
- SCHIEBER, J. Distribution and deposition of mudstone facies in the Upper Devonian Sonyea Group of New York. **Journal of Sedimentary Research**, Tulsa. v.69, n.4, p. 909-925, julho. 1999.
- SCHIEBER, J. & BAIRD, G. On the origin and significance of pyrite spheres in Devonian black shales of North America. **Journal of Sedimentary Research**, Tulsa. v. 71, n. 1, p. 155-166, janeiro. 2001.
- SCHIEBER, J., Simple gifts and buried treasures – implications of finding bioturbation and erosion surfaces in black shales. **The Sedimentary Record**, Tulsa, v.1, n.2, p. 4-8, setembro. 2003.
- SCHIEBER, J. & CHAUGHURI, A.K. Microbial mat features in mudstone of the mesoproterozoic Somanpalli Group, Pranhita-Godavari Basin, India. In: SCHIEBER, J. *et al.* (eds.) **Atlas of microbial mat features preserved within the siliciclastic rock Record**. Elsevier, Tulsa 2007. Cap. 7(c).
- SCHNEIDER, R.L.; MÜHLMANN H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R.A., DAEMON, R.F. & NOGUEIRA, A.A. Revisão estratigráfica da bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, 1974, Porto Alegre. **Anais.....** v.1, p. 41-65
- SCHUBERT, G. **Estratigrafia e sistemas deposicionais do Devoniano da bacia do Paraná NW, região da Chapada dos Guimarães – MT**. 1995. 166f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- SUTTON, S. J.; ETHRIDGE, F. G.; DAWSON, W. C. & ALMON, W. R. Parameters controlling Sealing Capacity. In: AAPG ANNUAL CONVENTION, 2006, abril, Houston. **Resumos Eletrônicos...** Tulsa, AAPG/Datapages, Inc. Disponível em: < <http://www.searchanddiscovery.net/documents/2006/06064ethridge/index.htm> >. Acesso em 18. Setembro. 2008.

**TORRES-RIBEIRO, M. Fácies microclásticas de um sistema lacustre oligocênico do sudeste do Brasil (Formação Tremembé, bacia de Taubaté).** 2004. 122f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, UFRJ, Rio de Janeiro.

**WILSON, J. L. Carbonate facies in geologic history.** New York, Springer-Verlag, 1975. 471p.

**Apêndice A – Estampa de fotomicrografias da microfácies Sa.**

**Fotomicrografia A** – Lâmina 11-SD-3/5. Fotomontagem de 4 fotomicrografias em sucessão vertical, mostrando camadas muito delgadas (0,5 cm) em gradação normal. Observar limites erosivos entre as camadas S1, S2 e S3 (S = superfície). Lentes polarizadas cruzadas. Aumento de 2,5x. Escala 1000µm

**Fotomicrografia B** - Lâmina 11-SD-3/5. Composição mineralógica desta microfácies acima da S1. Ocorrem quartzo, mineral opaco, algumas micas e sideritas. Setas amarelas indicam sideritas. Observar, também, a presença de porosidade. Lentes polarizadas descruzadas. Aumento de 50x. Escala 100µm.

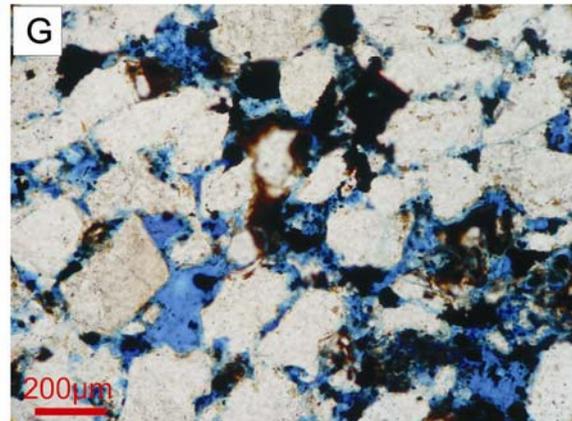
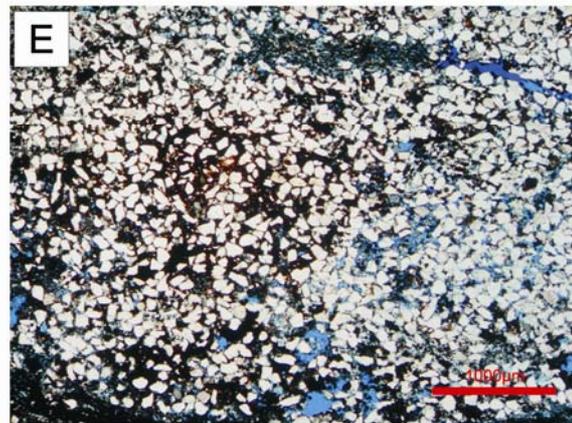
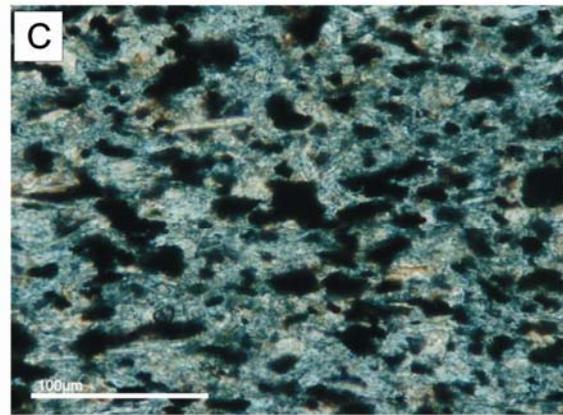
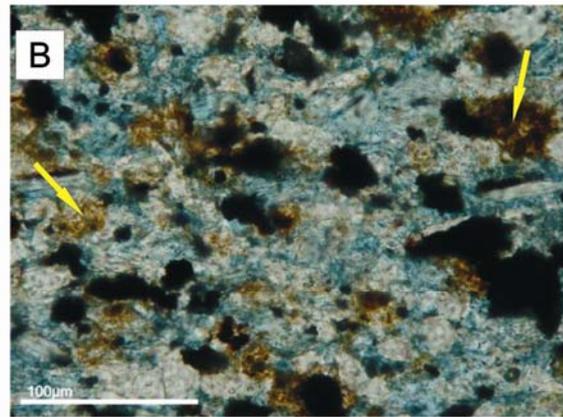
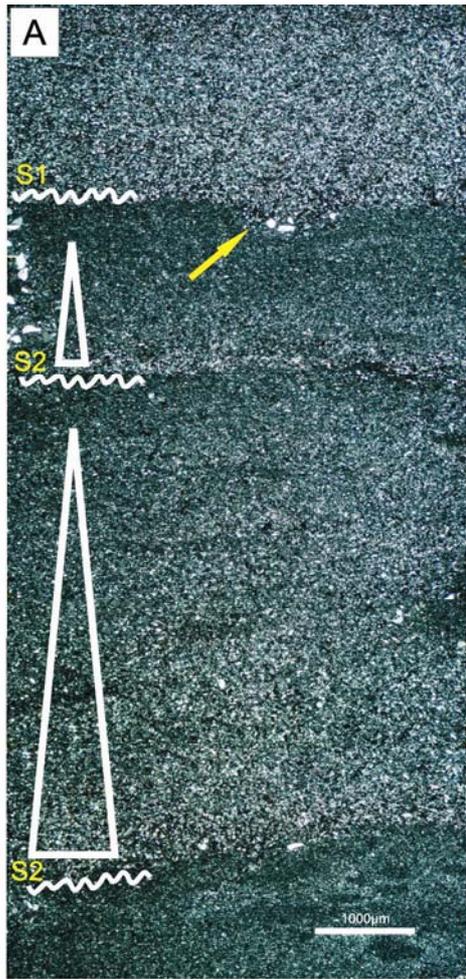
**Fotomicrografia C** - Lâmina 11-SD-3/5. Composição mineralógica desta microfácies abaixo de S1. Ocorrem quartzo, mineral opaco e algumas micas. Lentes polarizadas descruzadas. Aumento de 50x. Escala 100µm.

**Fotomicrografia D** - Lâmina 11-SD-3/5. Continuação lateral da superfície erosiva S1, interpretada como superfície de *by pass*. A granulometria na metade inferior da fotomicrografia é parte da bioturbação da fotomicrografia E. Observar a ausência desta granulometria acima de S1. Notar, também escavação indicada pela seta vermelha. Lentes polarizadas descruzadas. Aumento de 2,5x. Escala 1000µm.

**Fotomicrografia E** - Lâmina 11-SD-3/5. Concentração de areia muito fina a fina em bioturbação. Observar presença de óxido de ferro precipitado entre alguns poros. Lentes polarizadas descruzadas. Aumento de 2,5x. Escala 1000µm.

**Fotomicrografia F** - Lâmina 11-SD-3/5. Notar grãos de areia fina dispersos pela foto, e as pequenas bioturbações com material mais fino inserido. Lentes polarizadas descruzadas. Aumento de 2,5x. Escala 1000µm.

**Fotomicrografia G** - Lâmina 11-SD-3/5. Fotomicrografia mostrando poros preservados na interior da bioturbação da fotomicrografia E. Notar precipitação de óxido de ferro nos poros. Lentes polarizadas descruzadas. Aumento de 20x. Escala 200µm.



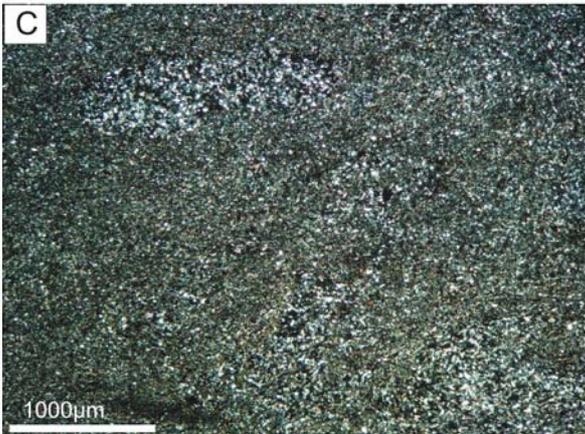
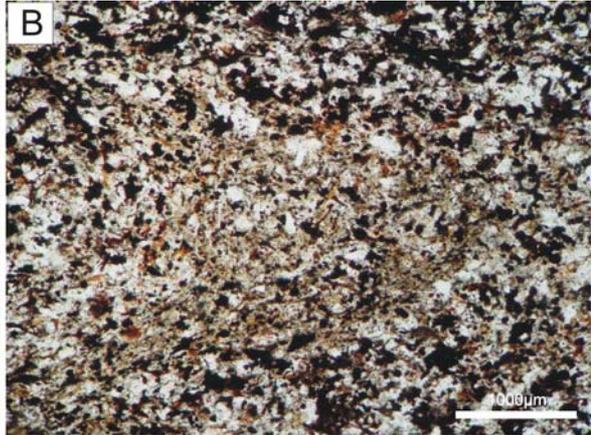
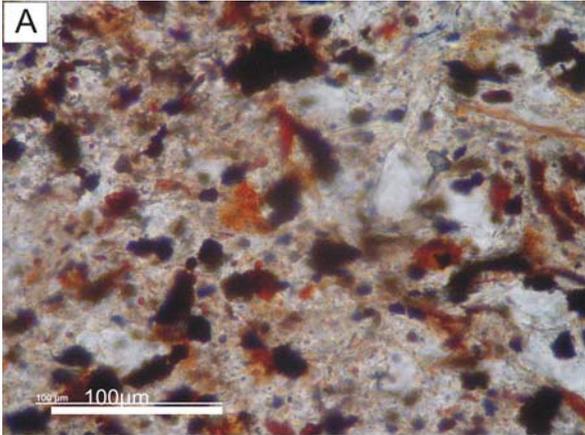
**Apêndice B – Estampa de fotomicrografias da microfácies Sbf**

**Fotomicrografia A** – Lâmina 7-SD-1/2. Rocha composta essencialmente de grãos de quartzo/feldspato e hematita. Lentes polarizadas descruzadas. Aumento de 50x. escala 100 $\mu$ m.

**Fotomicrografia B** – Lâmina 7-SD-1/2 Bioturbação vista com maior aumento. Observar ausência de limite nítido. Lentes polarizadas descruzadas. Aumento de 20x.

**Fotomicrografia C** - lâmina 7-SD-1/2. Trama bioturbada, com mineral opaco (hematita) disperso. Observar que os limites das bioturbações não estão muito nítidos (canto direito inferior e esquerdo superior). Lentes polarizadas descruzadas. Aumento de 2,5x. Escala 1000 $\mu$ m.

**Fotomicrografia D** - lâmina 7-SD-1/2. Trama com argilominerais sem orientação preferencial (não se observa extinção geral destes minerais). Observar os siltes distribuídos de forma irregular pela rocha. Lentes polarizadas cruzadas. Aumento de 2,5x. Escala 1000 $\mu$ m.



## **Apêndice C – Estampa de fotomicrografias da microfácies Sm**

**Fotomicrografia A** - lâmina 7-SD-6/1. Observa argilosidade e freqüente presença de minerais opacos. Lentes polarizadas descruzadas. Aumento de 20x. Escala 200µm.

**Fotomicrografia B** - lâmina 7-SD-6/1. Argilominerais bem orientados e grãos de silte – areia muito fina dispersos. Lentes polarizadas cruzadas. Aumento de 2,5x. Escala 1000µm.

**Fotomicrografia C** – Lâmina 7-SD-6/2. Grãos de areia muito fina – fina dispersos pela rocha. Lentes polarizadas cruzadas. Aumento de 2,5x. Escala 1000µm.

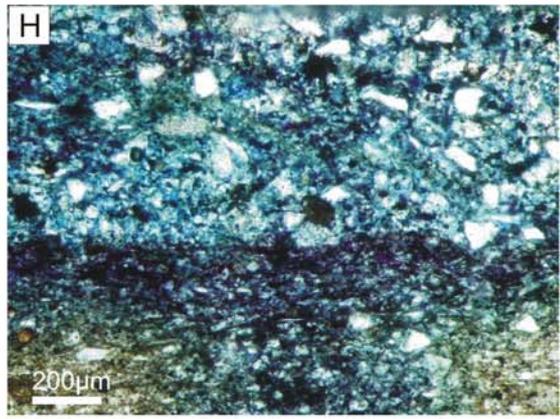
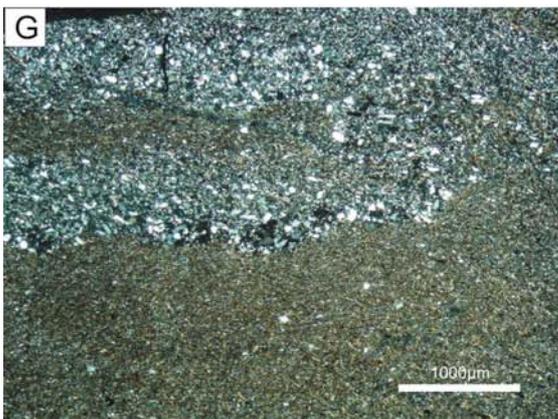
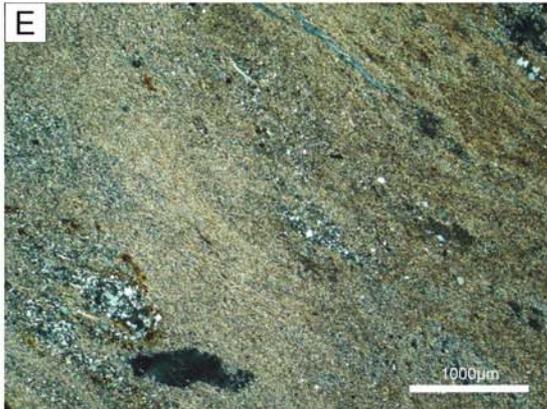
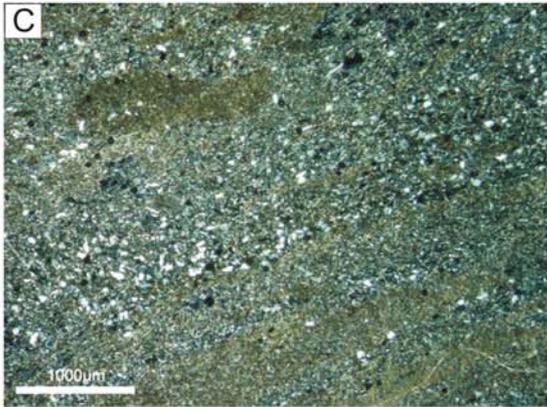
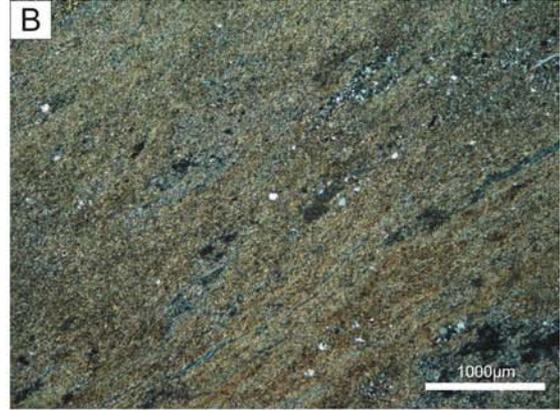
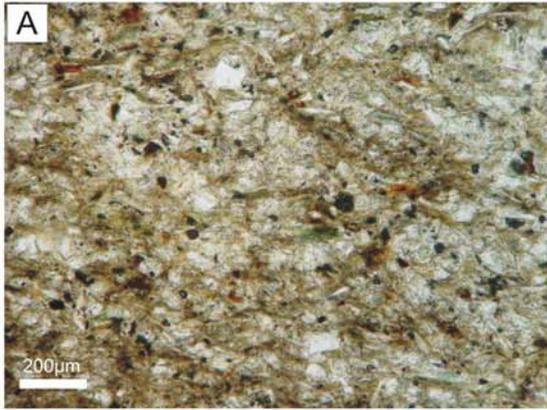
**Fotomicrografia D** – Lâmina 7-SD-6/1. Trama sem organização, bioturbada. Notar fragmentos de possíveis esteiras microbianas, exibindo contorno levemente ondulado/enrugado (seta amarela). Lentes polarizadas cruzadas. Aumento de 2,5x. Escala 1000µm.

**Fotomicrografia E** – Lâmina 7-SD-6/1. Argilominerais bem orientados , com pequenas bioturbações sem limites definidos, reconhecidas pela leve concentração de silte –areia muito fina. Lentes polarizadas cruzadas. Aumento de 2,5x. Escala 1000µm.

**Fotomicrografia F** – Lâmina 7-SD-6/1. Observar fragmento de cor marrom escuro possivelmente sendo vestígio de esteira microbiana (seta amarela). Lentes polarizadas descruzadas. Aumento de 20x. Escala 200µm.

**Fotomicrografia G:** Lâmina 7-SD-6/2. Observar areia muito fina inserida por bioturbação. Lentes polarizadas cruzadas. Aumento de 2,5x. Escala 1000µm.

**Fotomicrografia H:** Lâmina 7-SD-6/1. Notar presença de microporosidade < 3,9 µm. Lentes polarizadas descruzadas. Aumento de 20x. Escala 200µm.



## **Apêndice D – Estampa de fotomicrografias da microfácies Sch**

**Fotomicrografia A** – Lâmina 11-SD-3/1. Fotomontagem de 4 fotomicrografias em sucessão vertical, mostrando gradação normal, com micro-laminações internas. Seta amarela indicando lasca de argila. Lentes polarizadas descruzadas. Aumento de 2,5x. Escala 1000 $\mu$ m.

**Fotomicrografia B** - Lâmina 11-SD-3/1. Laminação horizontal entre níveis argilosos e níveis sílticos, exibindo contato difuso entre si. Observar desenho no canto direito da fotomicrografia. Lentes polarizadas cruzadas. Aumento de 2,5x. Escala 1000 $\mu$ m.

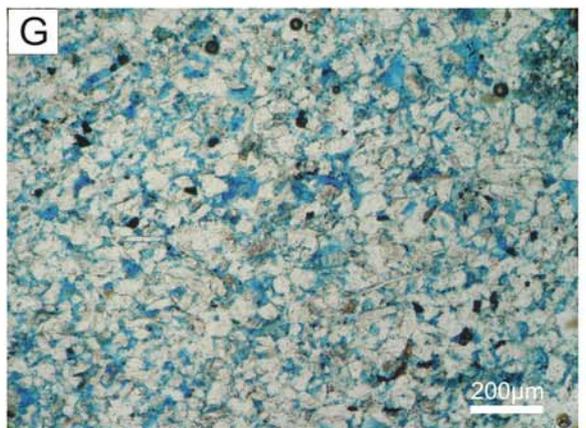
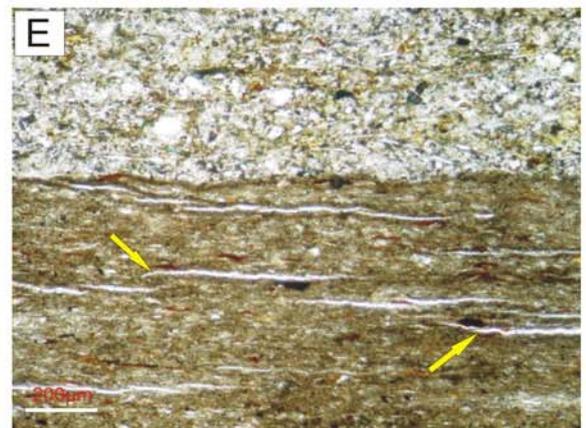
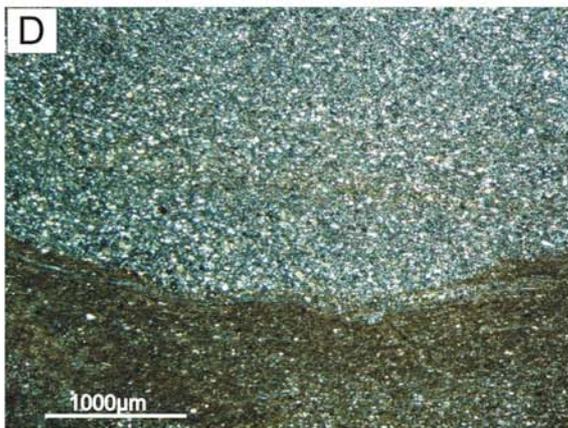
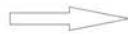
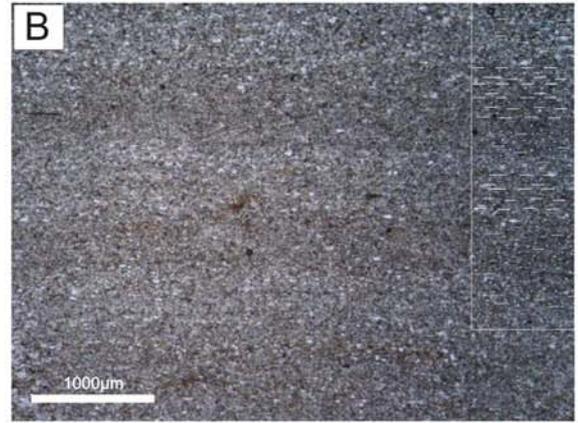
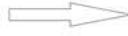
**Fotomicrografia C** - Lâmina 11-SD-3/1. Micro-laminação horizontal. Notar orientação preferencial das micas. Lentes polarizadas descruzadas. Aumento de 20x. Escala 200  $\mu$ m.

**Fotomicrografia D** - Lâmina 11-SD-3/1. Escavação em substrato argiloso. Lentes polarizadas cruzadas. Aumento de 2,5x. Escala 1000 $\mu$ m.

**Fotomicrografia E** - Lâmina 11-SD-3/1. Leve laminação horizontal internamente enrugada (setas amarelas). Lentes polarizadas descruzadas. Aumento de 20x. Escala 200  $\mu$ m.

**Fotomicrografia F** - Lâmina 11-SD-3/1. Bioturbação preenchida por silte, diferindo-se da rocha ao redor pela ausência de argila, preservando poros. Lentes polarizadas cruzadas. Aumento de 2,5x. Escala 1000 $\mu$ m.

**Fotomicrografia G** - Lâmina 11-SD-3/1. Fotomicrografia mostrando os poros, com tamanho predominantemente entre 3,9 e 62,5 $\mu$ m. Lentes polarizadas descruzadas. Aumento de 20x. Escala 200  $\mu$ m.



## **Apêndice E – Estampa de fotomicrografias da microfácies Sma**

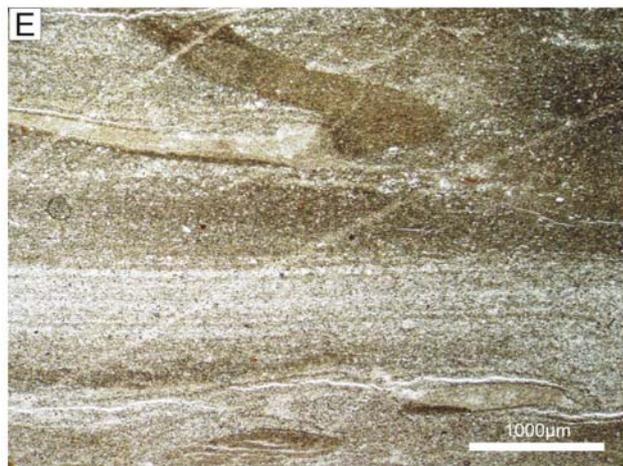
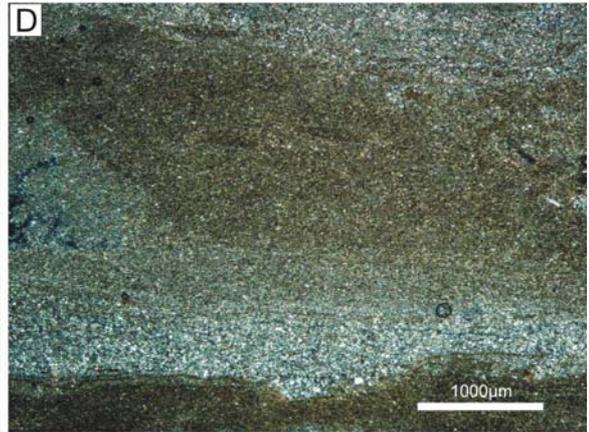
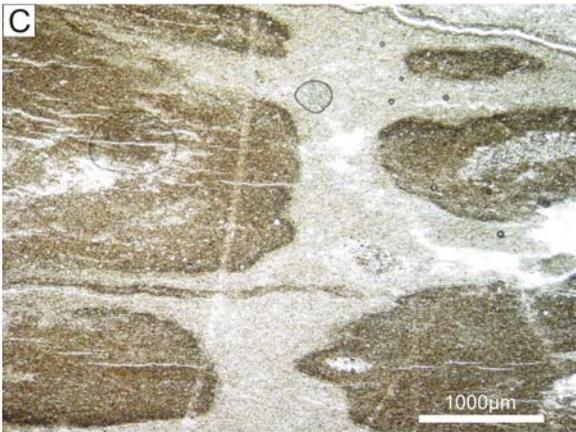
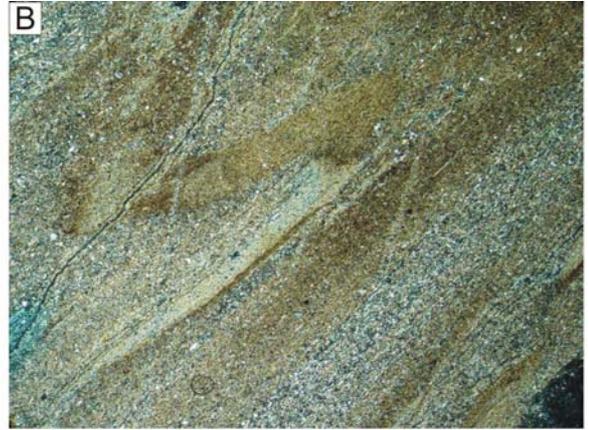
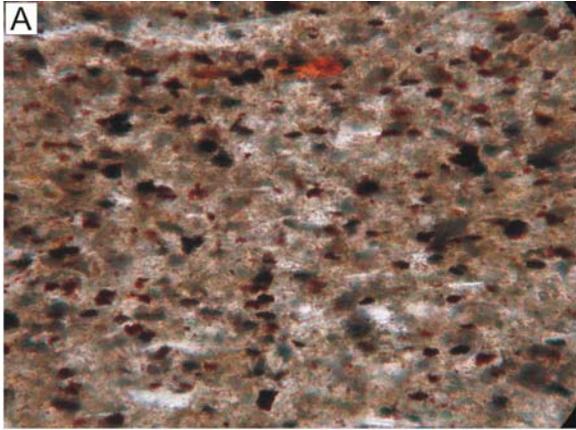
**Fotomicrografia A** - Lâmina 7-SD-6/3. Observar trama bastante argilosa, com freqüentes minerais opacos disseminados (hematita (?)). Lentes polarizadas descruzadas. Aumento de 50x. Sem escala.

**Fotomicrografia B** - Lâmina 7-SD-6/3. Observar argilominerais bem orientados, e presença de níveis sílticos. Lentes polarizadas cruzadas. Aumento de 2,5x. Sem escala.

**Fotomicrografia C** – Lâmina 7-SD-6/3. Bioturbações preenchidas por material argiloso. Lentes polarizadas descruzadas. Aumento de 2,5x. Escala 1000 $\mu$ m.

**Fotomicrografia D** – Lâmina 7-SD-6/3. Nível de silte com singela escavação associada. Lentes polarizadas cruzadas. Aumento de 2,5x. Escala 1000 $\mu$ m.

**Fotomicrografia E** - Lâmina 7-SD-6/3. Laminações incipientes formada por intercalações micrométricas entre silte e argila. Lentes polarizadas descruzadas. Aumento de 2,5x. Escala 1000 $\mu$ m.



## **Apêndice F – Estampa de fotomicrografias da microfácies Smc**

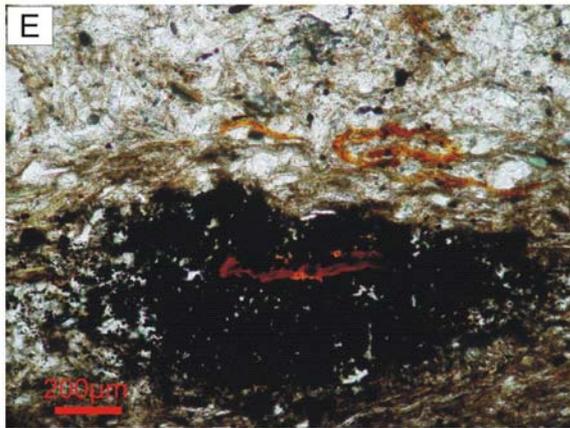
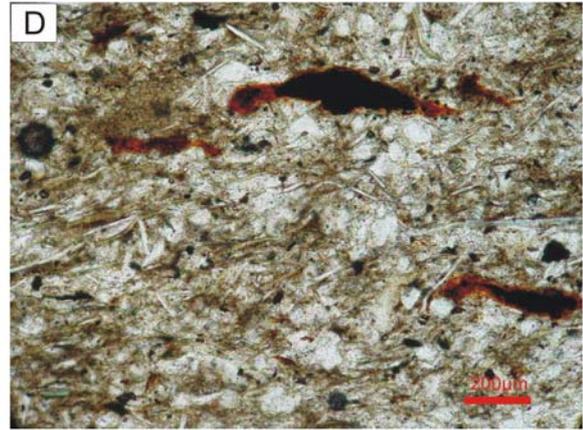
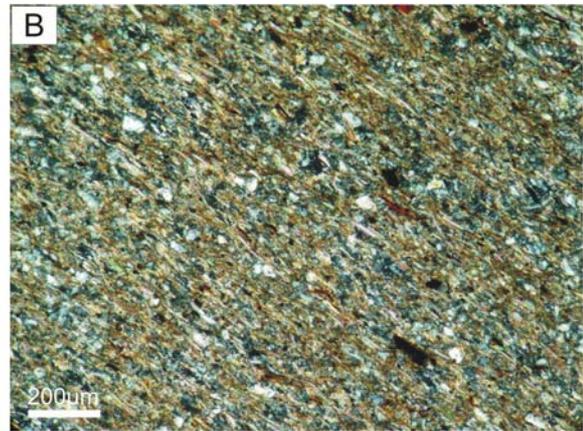
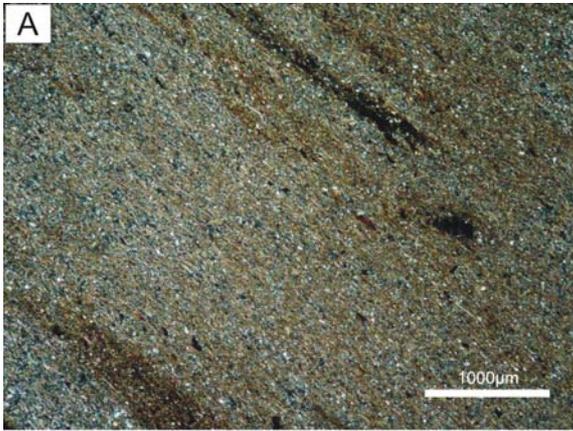
**Fotomicrografia A** – Lâmina Am 5. Micas e argilominerais bem orientados. Lentes polarizadas cruzadas. Aumento de 2,5x. Escala 1000 $\mu$ m.

**Fotomicrografia B** - Lâmina Am 5. Micas e argilominerais orientados, visto de um aumento maior. Observar a constante presença de grãos de quartzo/feldspato, e grande quantidade de micas. Lentes polarizadas cruzadas. Aumento de 20x. Escala 200  $\mu$ m.

**Fotomicrografia C** – Lâmina Am 5. Bioturbação da fotomicrografia C com concentração de algas tasmanites. . Lentes polarizadas cruzadas. Aumento de 2,5x. Escala 1000 $\mu$ m.

**Fotomicrografias D e F** - Lâmina Am 5. Pirita framboidal associada a algas tasmanites. Lentes polarizadas cruzadas. Aumento de 20x. Escala 200  $\mu$ m.

**Fotomicrografia F** - Lâmina Am 5. Siderita concentrada em pequeno grumo, provavelmente preenchendo bioturbação pré-existente. Lentes polarizadas cruzadas. Aumento de 20x. Escala 200  $\mu$ m.



**Apêndice G – Estampa de fotomicrografias da microfácies Slo**

**Fotomicrografia A** – Lâmina Am 2. Notar leve orientação da muscovitas e presença de concentração de pirita. Lentes polarizadas cruzadas. Aumento de 2,5x. Escala 1000 $\mu$ m

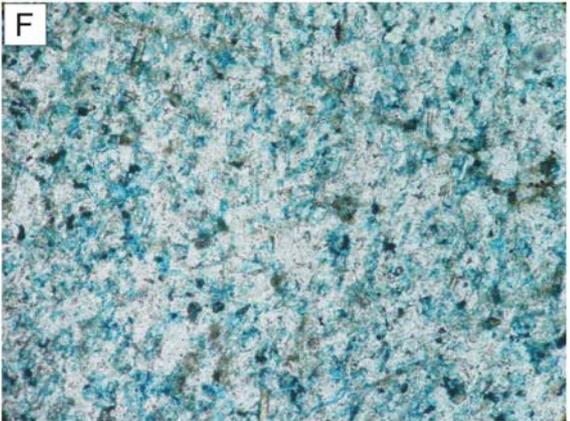
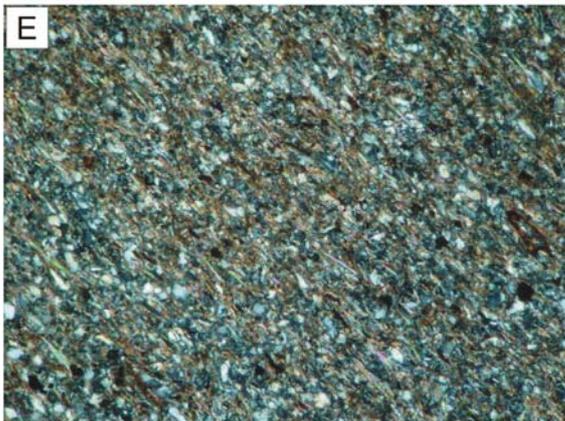
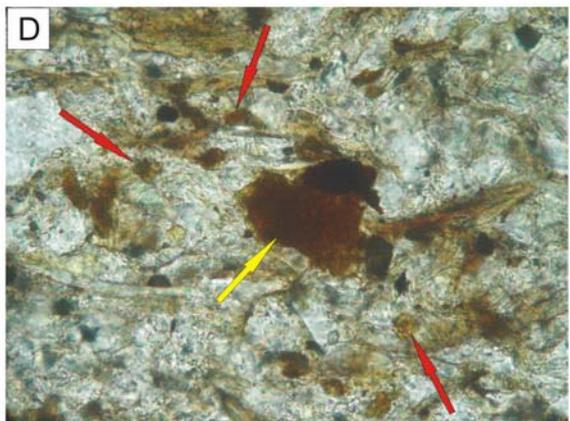
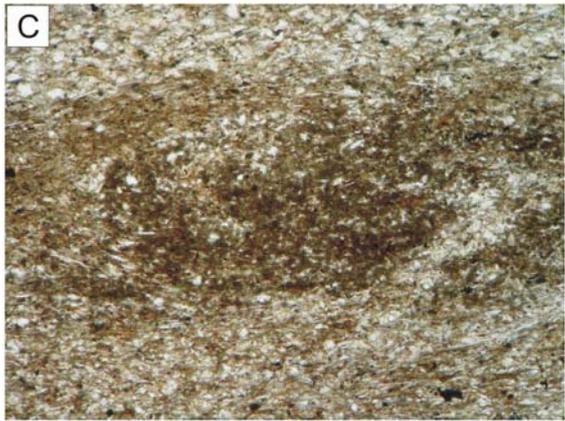
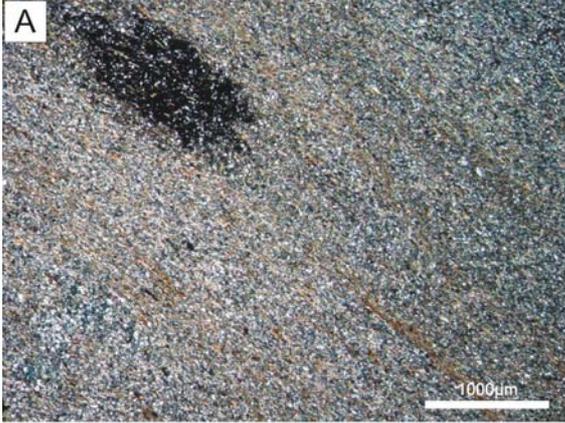
**Fotomicrografia B** – Lâmina Am A. Observar o rastro materializando-se a partir da concreção de pirita. Lentes polarizadas cruzadas. Aumento de 2,5x. Escala 1000 $\mu$ m

**Fotomicrografia C** – Lâmina Am A. Concentração de siderita em bioturbação. Lentes polarizadas descruzadas. Aumento de 10x. Sem escala.

**Fotomicrografia D** – Lâmina Am 4. Correm sideritas e hábito nodular (setas vermelhas), e em pequeno grumo (seta amarela). Lentes polarizadas descruzadas. Aumento de 50x. Sem escala.

**Fotomicrografia E** – Lâmina Am A. Leve orientação das micas e argilominerais. Lente polarizadas cruzadas. Aumento de 10x. Sem escala.

**Fotomicrografia F** – Lâmina Am 8. Presença de poros com tamanho variando desde < 3,9 até 62,5  $\mu$ m. Lentes polarizadas descruzadas. Aumento de 20x. Sem escala.



**Apêndice H – Estampa de fotomicrografias da microfácies Sbo**

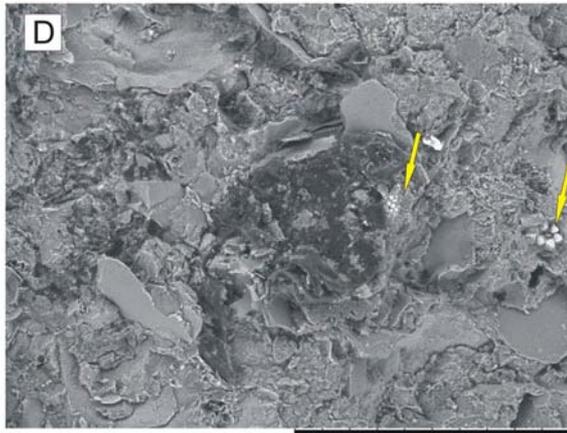
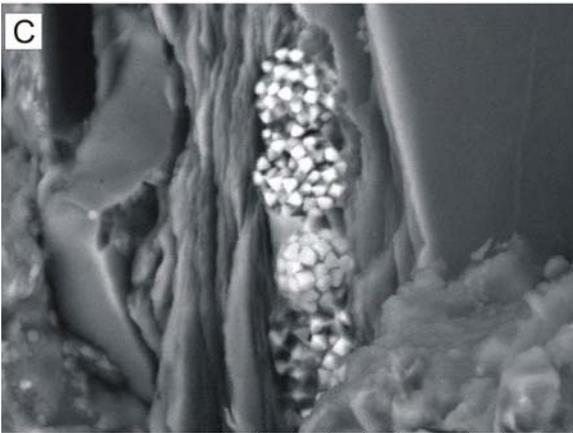
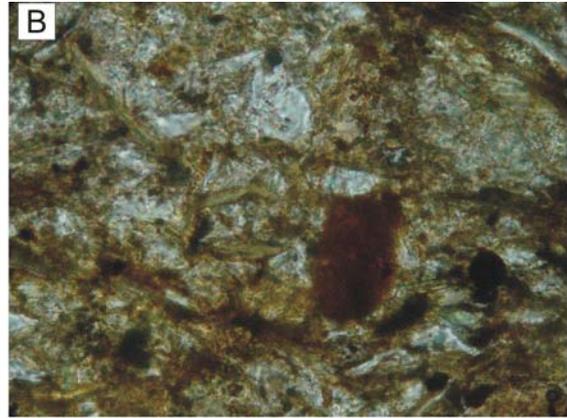
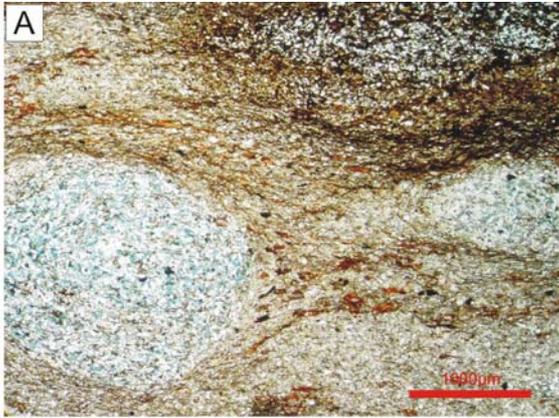
**Fotomicrografia A** – Lâmina Am B. Trama bioturbada. Observa a presença de espaço poroso dentro das bioturbações. Lentes polarizadas descruzadas. Aumento de 2,5x. Escala 1000 $\mu$ m.

**Fotomicrografia B** – Lâmina Am B. Presença de siderita em pequeno grumo. Lentes polarizadas descruzadas. Aumento de 50x. Sem escala.

**Fotomicrografia C** – Lâmina Am B. Observar pirita framboidal na região central da foto. Obtida através do MEV. Aumento de 5000x. Escala 20  $\mu$ m.

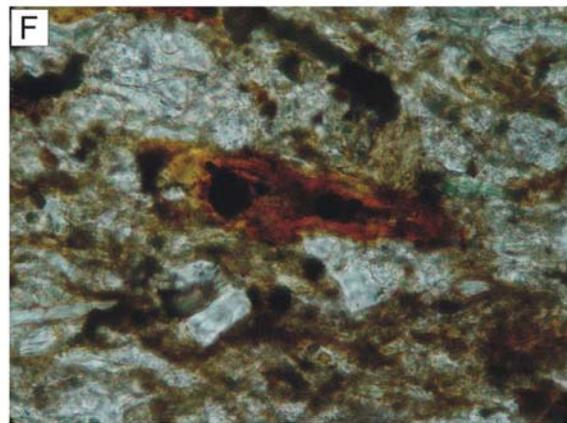
**Fotomicrografia D** – Lâmina Am B. Partes de piritas framboidais (setas amarelas). Observar também a falta de orientação da trama da rocha. Obtida através do MEV. Aumento de 400x. Escala 200  $\mu$ m.

**Fotomicrografias E e F** – Lâmina Am B. Algas tasmanites associadas a pirita framboidal, em diferentes “níveis” de substituição da alga pela pirita. Lentes polarizadas descruzadas. Aumento de 50x. Sem escala.



TM-1000\_0773 2008/09/04 12:13 L D2.4 x5.0k 20 μm

TM-1000\_0786 2008/09/04 13:25 L D2.2 x400 200 μm



**Apêndice I – Estampa de fotomicrografias da microfácies Ss**

**Fotomicrografia A** – Argilominerais e micas sem orientação preferencial. Notar aspecto bioturbado, porém não se consegue definir a bioturbação. Lentes polarizadas cruzadas. Aumento de 2,5x. Escala 1000 $\mu$ m.

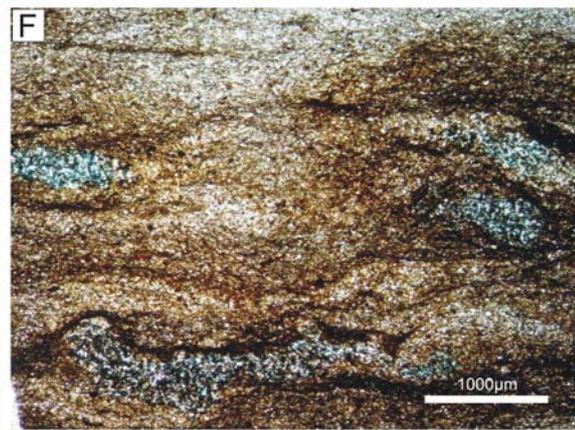
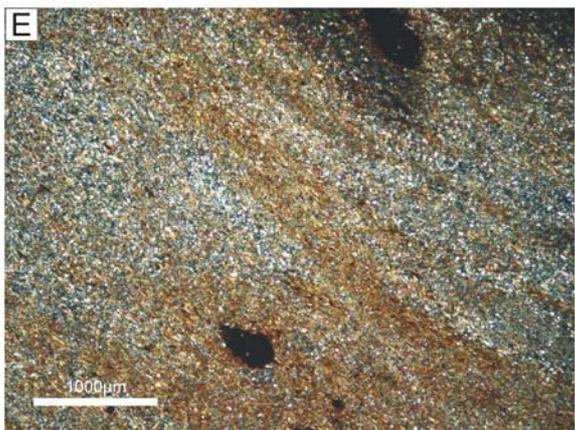
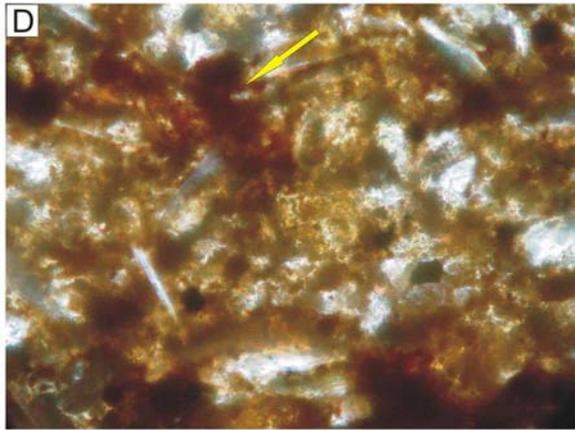
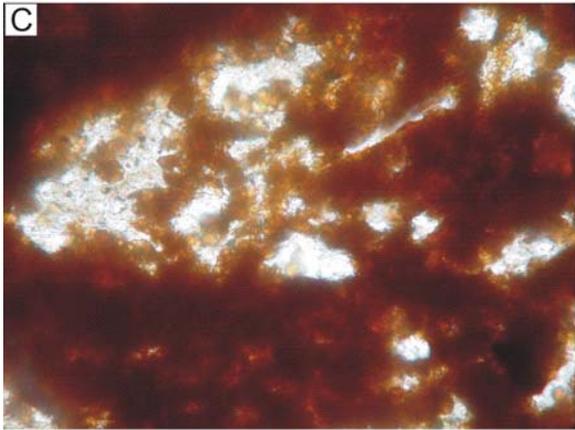
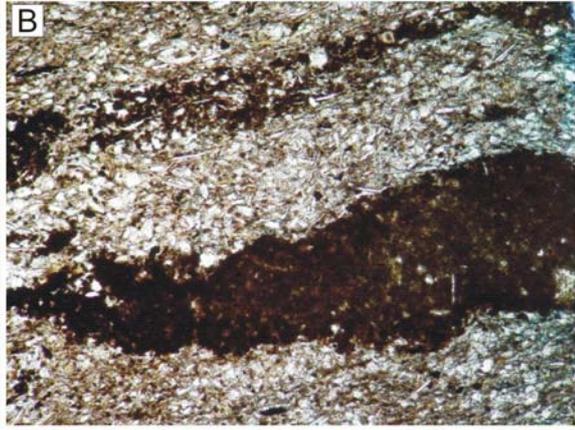
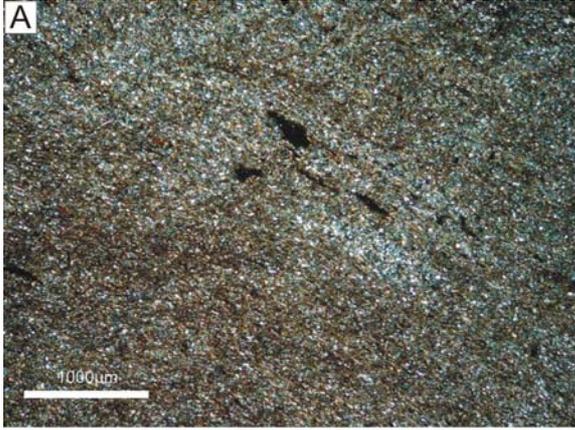
**Fotomicrografia B** – Concentração de siderita em bioturbação. Notar que siderita também está presente disseminada por toda a fotomicrografia. Lentes polarizadas descruzadas. Aumento de 10x. Sem escala.

**Fotomicrografia C** – Concentração de siderita da bioturbação da fotomicrografia B. Lentes polarizadas descruzadas. Aumento de 50x. Sem escala.

**Fotomicrografia D** – Observar grumo de siderita, também presente nesta microfácies. Lentes polarizadas descruzadas. Aumento de 50x. Sem escala.

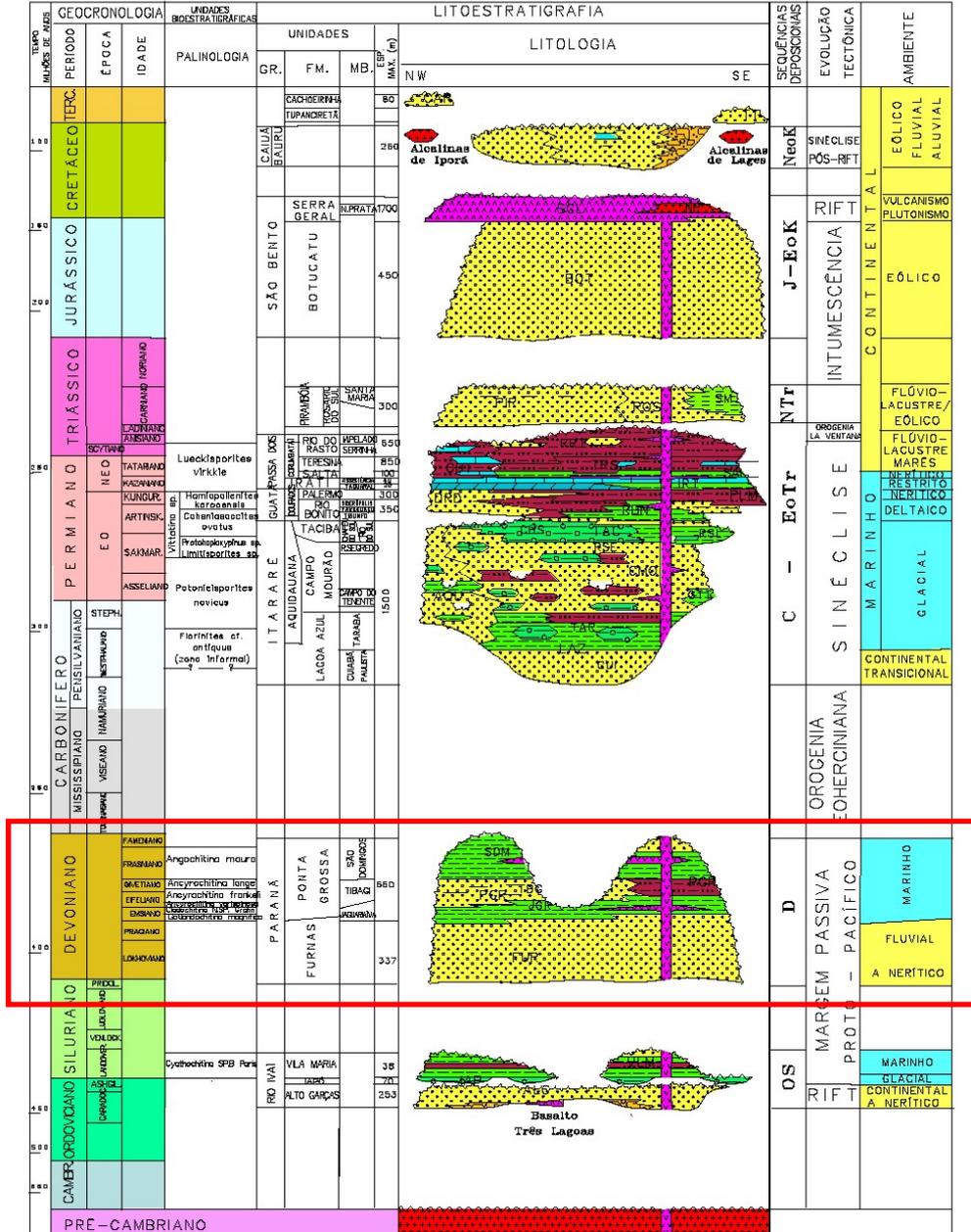
**Fotomicrografia E** - Observar trama com leve orientação dos argilominerais, com aspecto bioturbado, sem se conseguir definir o local exato da bioturbação, parecido com o que acontece na fotomicrografia A. Lentes polarizadas cruzadas. Aumento de 2,5x. Escala 1000 $\mu$ m.

**Fotomicrografia F** - Bioturbações com paredes, devido a algum tipo de muco secretado do organismo bioturbados. Porosidade presente nas bioturbações. Lentes polarizadas descruzadas. Aumento de 2,5x. Escala 1000 $\mu$ m.



Anexo A – Diagrama estratigráfico da bacia do Paraná (Milani *et al.* 1993, *apud* ANP, via <http://www.anp.gov.br>). A supersequência Paraná, na qual está inserida a Formação Ponta Grossa, está destacada no diagrama abaixo, dentro do retângulo vermelho.

## CARTA ESTRATIGRÁFICA DA BACIA DO PARANÁ PARANÁ BASIN STRATIGRAPHIC CHART



Anexo B – Mapa de isópacas da Formação Ponta Grossa (Candido 2007)

