

6º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

ANÁLISE DE FÁCIES SEDIMENTARES APLICADA A ESTUDOS DE RESERVATÓRIOS EM DEPÓSITOS FLUVIAIS DA FORMAÇÃO RIO DA BATATEIRA E CARBONÁTICOS DA FORMAÇÃO CRATO, BACIA DO ARARIPE, NORDESTE DO BRASIL: RESULTADOS PRELIMINARES

AUTORES:

José Acioli B. de Menezes Filho³, Gelson Luís Fambrini¹, Virginio H.M.L. Neumann¹ Dunaldson E.G.A. Rocha², Bruno Buarque Varela³

INSTITUIÇÃO:

¹DGEO/UFPE - PRH-26/ANP/FINEP/UFPE (g_fambrini@yahoo.com, neumann@ufpe.br); ²Pós-Graduação DGEO/UFPE; ³Graduação DGEO/UFPE

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 6º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 6º PDPETRO, realizado pela a Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 09 a 13 de outubro de 2011, em Florianópolis-SC. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 6ºPDPETRO.

ANÁLISE DE FÁCIES SEDIMENTARES APLICADA A ESTUDOS DE RESERVATÓRIOS EM DEPÓSITOS FLUVIAIS DA FORMAÇÃO RIO DA BATATEIRA E CARBONÁTICOS DA FORMAÇÃO CRATO, BACIA DO ARARIPE, NORDESTE DO BRASIL: RESULTADOS PRELIMINARES

Abstract

This study proposes the geological reservoirs characterization of Rio da Batateira–Crato petroleum system, Araripe basin by undertaking mega, meso and micro-scale facies analysis. These analysis consisted of descriptions of the facies analysis, depositional architecture, and petrographic microscopy, as way of contributing for the exploratory fomentation of Araripe Basin, considered "boundary". The main aspect of this work is the study of reservoirs from the siliciclastic-carbonatic system of Rio da Batateira and Crato formations, respectively. Collectively the formations comprises a continuous stratigraphic succession of approximately 250 m, from the Rio da Batateira and Crato formations, which occurs on the Batateira River in the municipality of Crato, CE and are exhibited within regional quarry exposures. These reservoirs are extremely heterogeneous and at times difficult to interpret, showing variations in both porosity and permeability. For this reason the integration of both mega, meso and micro-scale techniques were critical to the study of these fluvio-deltaic and carbonate reservoirs. This work enhances our understanding of the regional petroliferous system, which is increasingly seen as a frontier in petroleum exploration.

Introdução

A caracterização geológica de reservatórios petrolíferos tem sido um dos principais enfoques dos estudos sedimentológicos e estratigráficos realizados. Deste modo, a distinção do sistema petrolífero Rio da Batateira–Crato da Bacia do Araripe através da análise de fácies, do ponto de vista da arquitetura deposicional (mega e mesoescala), e petrográfica (microescala), como forma de contribuir para o fomento exploratório da Bacia do Araripe, considerada “bacia de fronteira”. O enfoque principal é o estudo de reservatórios do sistema siliciclástico-carbonático das formações Rio da Batateira e Crato, respectivamente, com base na análise de fácies e arquitetura deposicional. O estudo de caso compreende uma sucessão estratigráfica contínua de cerca de 250 m das formações Rio da Batateira e Crato que ocorre no rio da Batateira, Município de Crato, CE, além de boas exposições em pedreiras da região, como a Mina Caldas em Barbalha, CE.

Metodologia

Os principais métodos empregados incluem: (1) Fotointerpretação e mapeamento geológico de detalhe de afloramentos selecionados do sistema Rio da Batateira–Crato; (2) Descrição da arquitetura deposicional (análise de fácies, geometria dos estratos e superfícies de acamadamento) de afloramentos com auxílio de painéis fotográficos, para avaliar heterogeneidades faciológicas de reservatório (mega e mesoescala) com base em Miall (1978, 1996). A análise de elementos arquiteturais compreende o estudo de corpos tridimensionais de rochas sedimentares, formados por uma ou mais fácies relacionadas geneticamente e limitados por superfícies com significado genético (Miall, 1996); (3) coleta de amostras para análises petrográficas para entendimento da evolução diagenética; (4) caracterização petrográfica (microscopia de luz polarizada) das amostras coletadas em afloramento para (i) auxiliar a caracterização (classificação composicional) das litofácies e (ii) discutir a qualidade do reservatório em função da evolução diagenética (geração/preservação/destruição de

pososidade); (5) vinculação dos dados de arquitetura deposicional e petrográficos com perfis estratigráficos de afloramento, para contextualização estratigráfica local e regional (correlações propostas) e (6) discussão final da análise de heterogeneidade (em escala meso- e microscópica) e qualidade do sistema Rio da Batateira–Crato como rochas-reservatório de hidrocarbonetos.

Resultados e Discussão

ANÁLISE DE FÁCIES DA FORMAÇÃO RIO DA BATATEIRA

A análise de fácies sedimentares e arquitetura deposicional permitiram o entendimento da distribuição e da evolução das rochas sedimentares da Formação Rio da Batateira, tendo sido realizado o detalhamento dos conjuntos previamente identificados, o reconhecimento de alguns sistemas deposicionais de menor abrangência anteriormente não observados e uma correlação mais clara das transições laterais dos sistemas deposicionais. A Tabela 1 sintetiza as principais litofácies encontradas na unidade, aqui separadas em dois ciclos deposicionais.

Dois ciclos sedimentares principais constituem a unidade, de acordo com Assine (2007), Neumann (1999) e Chagas *et al.* (2007): 1) basal, representada por uma associação fluvial, constituída por arenitos friáveis, micáceos, alaranjados, com intercalações de folhelhos (Fig. 1); 2) superior, representada por uma associação fluvio-lacustre-deltaica, constituída por arenitos finos de coloração amarelada a cinza e folhelhos acinzentados (Fig. 1). Na porção intermediária ocorre uma seqüência lutítico-carbonática que Hashimoto *et al.* (1987) denominaram de Camadas Batateira.

Código	Litofácies	Estruturas Sedimentares
<i>Cm</i>	conglomerados maciços ou grosseiramente acamadados, polimíticos	comumente maciços, por vezes raro acamadamento horizontal,
<i>At</i>	arenitos médios a muito grossos, por vezes com seixos	estratificações cruzadas tabulares de pequeno e médio porte.
<i>Ap</i>	arenitos (areia muito fina a muito grossa, podendo conter seixos), localmente associados a dobras convolutas.	Estratificação plano paralela, maciços
<i>Aa</i>	Arenitos médios a finos, calcíferos	estratificações cruzadas acanalada solitária ou agrupadas.
<i>Fl</i>	folhelhos verdes calcíferos	laminação muito evidente
<i>Fo</i>	folhelhos silticos vermelhos	laminação fina, ondulações de pequena amplitude, nódulos de argila e manganês

Tabela 1- Litofácies encontradas na Formação Rio da Batateira. Código de litofácies a partir de Miall (1978).

No ciclo inferior (1º ciclo) sobressaem-se arenitos grossos a médios, por vezes conglomeráticos, dispostos em camadas decimétricas a métricas, portando estratificações cruzadas acanaladas (Fácies St) e estratificações cruzadas tabulares (Fácies Sp), ou ainda com estratificação plano-paralela (Fácies Sh) (Fig. 1). Mais para o topo do 1º ciclo ocorrem arenitos médios a finos das Fácies Sp e St, subarredondados a subangulares, em geral bastante friáveis, argilosos e micáceos, às vezes seixosos e/ou portadores de feldspatos caulinizados e bolas de argila. É característica comum destas fácies a presença de clastos e bolas de argila de diversos tamanhos (até seixo) dispersos na matriz e granodecrescência ascendente. Estas fácies arenosas intercalam-se a camadas de folhelhos silticos vermelhos (Fácies Fl), de espessura decicentimétrica. Este ciclo inferior encerra-se com as denominadas “Camadas Batateira”, intervalo de folhelhos pirobetuminosos pretos, papiráceos, que alcançam valores de carbono orgânico total (COT) de até 25% (Chagas *et al.*, 2007). Esses folhelhos são abundantemente fossilíferos, ricos em ostracodes, laminações carbonáticas algálicas, níveis com

nódulos e coprólitos, restos de peixes (*Dastilbe elongatus*) e fragmentos vegetais carbonizados. A idade desta camada de folhelhos pirobetuminosos foi considerada aptiana superior (P-270), obtida a partir da análise de palinomorfos (Hashimoto *et al.*, 1987). Neste intervalo, em sua parte superior, ocorre de forma constante nos perfis uma camada decimétrica de calcário com aspecto brechóide e mineralizada em sulfetos (galena, pirita, esfalerita) presentes no cimento da rocha, denominada de "Camadas Batateira" por Hashimoto *et al.* (1987). Este ciclo termina com uma discordância erosiva no topo pela presença de conglomerados (Fácies Cm) e de arenitos conglomeráticos (Fácies Acg, At e Aa) através do truncamento erosivo dos folhelhos pirobetuminosos pretos das Camadas Batateira. Os conglomerados da Fácies Cm são polimíticos, com fragmentos de rochas ígneas e metamórficas de grânulos a pequenos calhaus, comumente maciços, e espessura nunca superior a 1 metro. Os arenitos conglomeráticos (Fácies Acg) são grossos, com fragmentos da granulometria seixo, também polimíticos mas com composição mais quartzosa, maciços a estratificados (estratificação cruzada acanalada). Além dos conglomerados da Fácies Cm compõem a sucessão arenitos grossos a finos similares aos do primeiro ciclo, quer sejam, fácies At constituída por arenitos com estratificações cruzadas tabulares, fácies Aa formada por arenitos com estratificações cruzadas acanaladas e, subordinadamente, fácies Ap composta por arenitos com estratificação, ou mesmo, laminação plano-paralela, dispostas em camadas de médio e pequeno portes. Os pelitos (folhelhos, siltitos e argilitos) são mais numerosos e de maior espessura, com colorações mais variegadas. O conjunto todo compõe sucessão granodecrescente ascendente para o topo, assim como o primeiro ciclo. O topo do segundo ciclo é marcado pela presença de folhelhos esverdeados calcíferos (Fácies Fl) que se acham sobrepostos de forma concordante por calcários laminados e folhelhos relacionados à Formação Crato.

ANÁLISE DE FÁCIES DA FORMAÇÃO CRATO

Esta formação está constituída principalmente por seis unidades carbonáticas denominadas informalmente de C1 a C6, separadas entre si, tanto lateral como verticalmente, por rochas siliciclásticas como arenitos, siltitos, margas e folhelhos (alguns ricos em matéria orgânica – *oil shales*) (Neumann, 1999; Silva, 2003) (Figs. 2 e 3).

A sucessão litofaciológica no Afloramento da Mina Caldas (Fig. 2) é constituída pelo conjunto de fácies ilustrado na Fig. 3, e descrita abaixo segundo Silva (2003). Na base ocorre o nível carbonático C3 (Fig. 2), constituído essencialmente pela litofácies de calcilutito laminado com uma espessura de 4,5m. Seu contato inferior se dá com um folhelho escuro rico em microfósseis de ostracodes e mais raramente de conchostráceos. Acima destaca-se um nível de 1,5 m de espessura de uma litofácies de marga cinza esverdeada, bastante rica em ostracodes, contendo grãos de quartzo dispersos na matriz micrítica argilosa. A seguir aparece a litofácies de arenitos com 5,5 m de espessura, de granulação fina a média e coloração cinza esverdeada, com estratificações cruzadas tangenciais de pequeno a médio porte, com dois padrões de paleocorrentes, um principal para nordeste, e outro secundário para sudeste. Esta variação no sentido das paleocorrentes representa a desembocadura de diferentes canais distributários deltaicos. Posteriormente ocorre um nível com 0,5 m de espessura composto por uma litofácies de siltitos arenosos (litofácies 4) de coloração cinza escura, com granodescrescência ascendente. Os siltitos descritos anteriormente passam para uma camada de 1,3 m de folhelhos negros pirobetuminosos, muito rico em ostracodes e conchostráceos, sendo que foram identificados ainda fósseis de vegetais carbonizados, moldes internos e externos provavelmente de moluscos (às vezes com as duas valvas), e concreções carbonáticas centimétricas (coprólitos). Acima ocorre a unidade carbonática C4, que mede 1,90m de espessura. Esta é composta pela alternância de duas camadas de calcilutitos laminados com dois níveis de folhelhos negros pirobetuminosos. Nova camada de folhelho negro pirobetuminoso repousa sobre a unidade carbonática C4 apresentando espessura de 1,6 m com as mesmas características do folhelho descrito anteriormente.

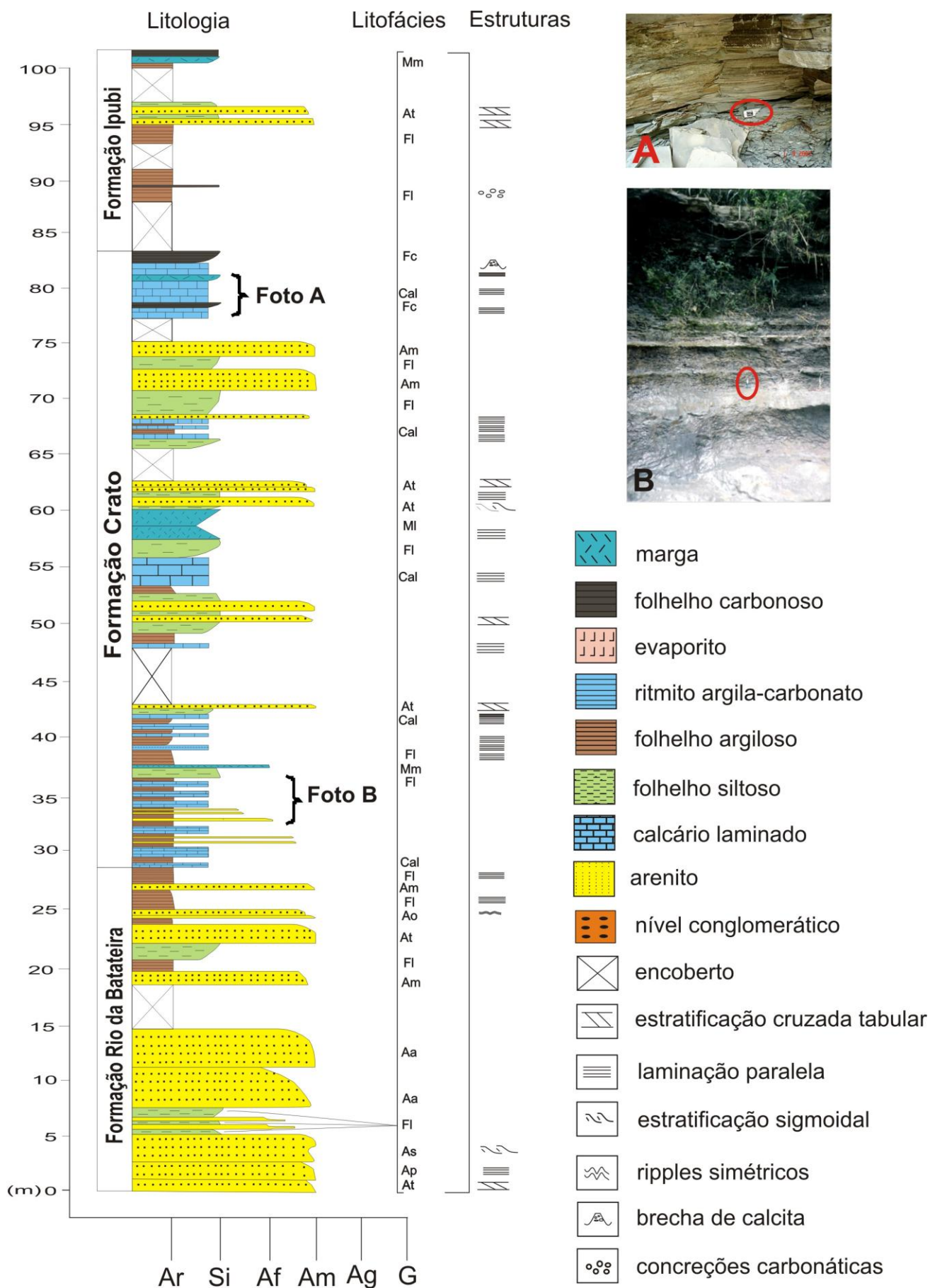


Figura 1- Seção estratigráfica do rio da Batateira (modificado de Neumann, 1999).



Figura 2 – Calcários laminados com intercalações de folhelhos da Formação Crato. Mina Caldas.

Estes folhelhos são recobertos por camada de 1, 8m de espessura de siltito arenoso de coloração esverdeada. Esta litofácies apresenta as mesmas características do siltito descrito na litofácies 4. Delgada camada (0,5m) de arenito de cor bege amarelada (litofácies 9) de granulação média recobre a anterior. Esta litofácies arenosa, diferente daquela descrita anteriormente, não ocorre continuamente em toda a pedreira da Mina Caldas, apresentando terminações em forma de lente. As litofácies descritas a seguir (número 10 até 14) aparecem nas porções mais elevadas do Afloramento da Mina Caldas à época da realização dos trabalhos de campo, dificultando o acesso sem os equipamentos necessários. Desta feita, as espessuras e litologias foram estimadas de forma visual e por meio de painéis fotográficos. A litofácies 10, formada por uma camada de folhelho negro com espessura estimada de 0,45 m, recobre a litologia anterior. A litofácies seguinte é aparentemente uma marga esverdeada, com cerca de 0,5 m de espessura. Mais uma camada que parece ser de folhelho, com espessura avaliada em 1,2 m recobre a litofácies anterior. Recobrendo os folhelhos anteriores encontra-se a unidade carbonática C5, com uma espessura de 0,7 m. Da mesma forma que na unidade carbonática C4, ocorre na base da unidade C5 uma camada de folhelho negro, com espessura de cerca de 0,1 m. Depois da unidade carbonática C5, nova litofácies de folhelho negro ocorre, com espessura estimada na ordem de 2,0 m. Por sobre os folhelhos anteriores ocorre uma nova camada de uma litofácies arenosa de cerca de 3,0 m de espessura, intercalada na base com uma camada de siltito de 0,5 m de espessura. Esta litofácies é semelhante a litofácies 9, sendo que também não é contínua em todo o afloramento. Um nível (com espessura estimada em 3 m) de folhelho negro recobre a litofácies anterior. Na parte norte do Afloramento 1 ocorre intercalada uma lente de arenito com continuidade para norte, apresentando espessura média na casa de 0,8 m. Encerrando a sucessão sedimentar da Mina Caldas, ocorre a unidade carbonática C6, que apresenta uma espessura de 4,0 m. Esta litofácies é constituída por calcilutitos laminados. Estes acham-se distribuídos em lâminas plano-onduladas e onduladas, de cores bege e marrom. As lâminas de cor bege são constituídas por calcita micrítica. As lâminas de cor marrom são mais finas, e formadas por calcita micrítica, com proporções semelhantes de pirita framboidal que podem estar alteradas formando óxido de ferro, e secundariamente por grãos de quartzo. Na porção média superior do nível C6 ocorrem dois horizontes com cerca de 15 cm de espessura apresentando estruturas de escorregamentos. O nível C6 é finalizado na maior parte dos afloramentos por um nível centimétrico com laminação deformada, apresentando concentrações de sílica em forma de *chert*, geodos de calcita, brechas e talvez paleossolos, e gretas de contração.

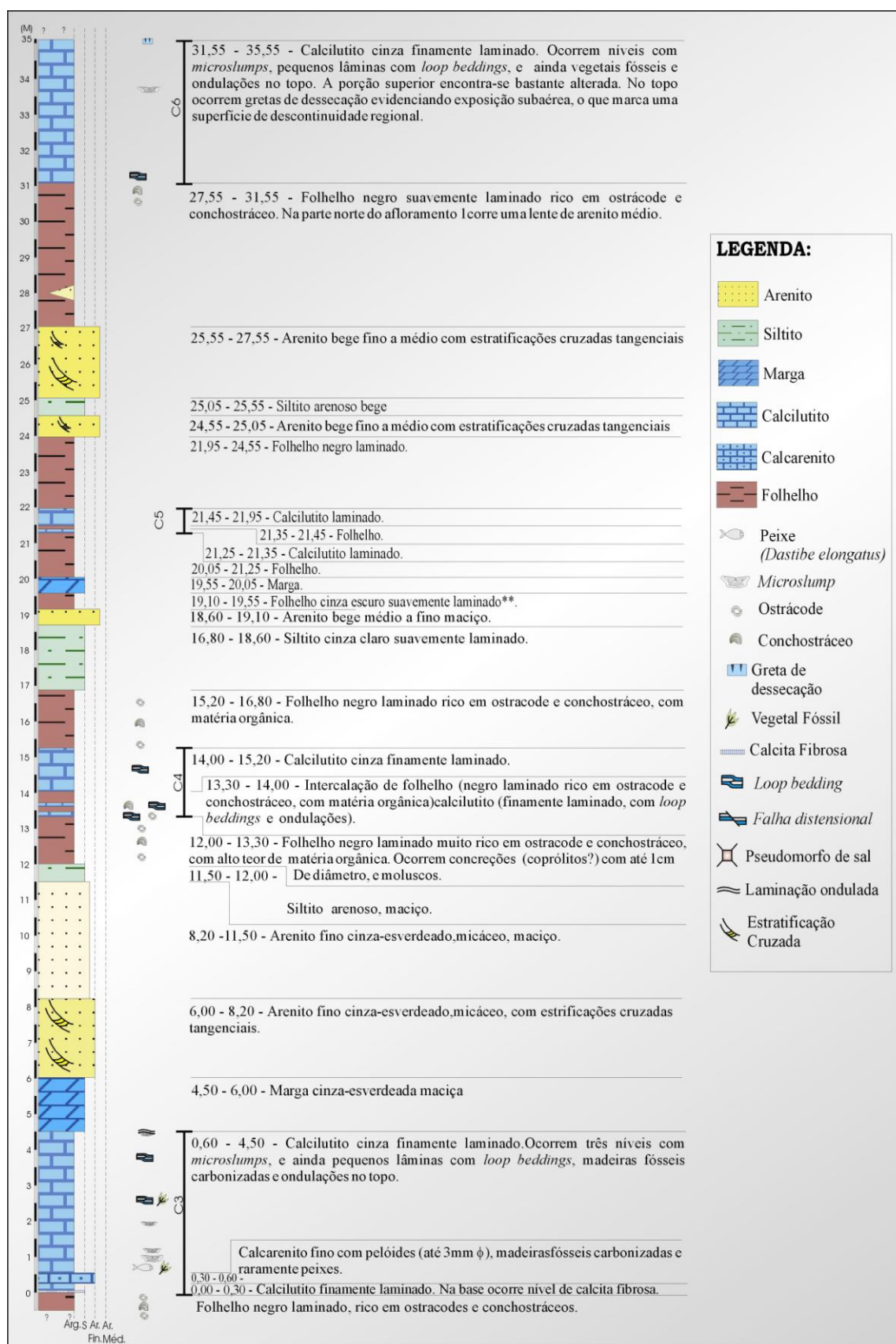


Figura 3 - Desenho esquemático mostrando o perfil litofaciológico do Afloramento da Mina Caldas (modificada de Silva, 2003).

Os depósitos flúvio-deltaico-lacustres e carbonáticos consistem em excelentes reservatórios de hidrocarbonetos, segundo comprovam diversos reservatórios espalhados pelas várias bacias do mundo.

As rochas do pacote sedimentar da Formação Rio da Batateira podem ser consideradas como rochas reservatórios e geradoras, e no empilhamento sedimentar da Formação Crato as rochas podem ser avaliadas como rochas reservatórios, geradoras e selantes.

Conclusões

O estudo integrado da análise estratigráfica e litofaciológica constituem uma ferramenta importante para a pesquisa de sistemas petrolíferos, e que neste trabalho permitiu, em caráter preliminar, esboçar algumas heterogeneidades dos reservatórios flúvio-deltaico-lacustres e carbonáticos do sistema petrolífero Rio da Batateira—Crato em escalas meso e macroscópica.

Agradecimentos

Agradecimentos são devidos ao PRH-26/ANP/UFPE na pessoa dos Coordenadores Profs. Drs. João Adauto de Souza Neto (atual) e Mário Lima Filho (precedente) pelo suporte financeiro e pela concessão de bolsas de graduação aos estudantes José Acioli B. de Menezes Filho e Bruno Buarque Varela. Este trabalho recebeu ainda auxílio financeiro do CNPq (Processo Universal 476232/2006-6 concedido em nome do coordenador G. L. Fambrini) a quem agradecemos o apoio e também a bolsa concedida (bolsa de produtividade em pesquisa de V.H.M.L. Neumann). Ao LAGESE pelo apoio logístico e material. Ao Prof. Dr. Haydon Mort (UFPE) pela criteriosa revisão do Abstract.

Referências Bibliográficas

- ASSINE, M.L. Bacia do Araripe. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, v. 15, n. 2, p. 371-389, 2007.
- CHAGAS, D.B.; ASSINE, M.L.; FREITAS, F.I. Facies Sedimentares e ambientes deposicionais da Formação Barbalha no Vale do Cariri, Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 26, n. 4, p. 313-322, 2007.
- HASHIMOTO, A.T.; APPI, C.J.; SOLDAN, A.L.; CERQUEIRA, J.R. O neo-Alagoas nas Bacias do Ceará, Araripe e Potiguar (Brasil): caracterização estratigráfica e paleoambiental. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 17, n. 2, p. 118-122, 1987.
- MIALL, A.D. Lithofacies types and vertical profile models in braided-rivers deposits: a summary. In: Miall, A.D. (ed.) *Fluvial Sedimentology*. Calgary, Canadian Society of Petroleum Geologists. 1978. p. 597-604. (Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir, 5).
- MIALL, A. D. Methods of Arquitetural-Element Analysis. In: MIALL, A. D. (ed). *The geology of fluvial deposits – sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology*, Springer Verlag, p. 75-98, 1996.
- NEUMANN, V.H.M.L. *Estratigrafía, sedimentologia, geoquímica y diagénesis de los sistemas lacustres Aptienses-Albienses de la Cuenca de Araripe (Noreste de Brasil)*. 1999. Tesis (Doctorado), Universidad de Barcelona, Barcelona 244p.
- SILVA, A.L. 2003. Estratigrafia Física e Deformação do Sistema Lacustre Carbonático Aptiano-Albiano da Bacia do Araripe em afloramentos selecionados. Dissertação de Mestrado, UFPE. Recife. 108p.