



2º CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO & GÁS

ARGILOMINERAIS E OSTRACODES COMO GEOTERMÔMETROS NA FORMAÇÃO ALAGAMAR, BACIA POTIGUAR, RN, BRASIL

Marcos J. Michelli¹, João C. Coimbra¹, Dermeval A. do Carmo², Edi M. Guimarães²

¹ Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves-9500, Porto Alegre-RS-BR, michellimj1@netscape.net

² Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília -DF-BR, derme@unb.br

Resumo – O presente estudo é baseado em amostras de testemunhos de sondagem no intervalo correspondente a Formação Alagamar (Aptiano-Albiano Inferior) da bacia Potiguar/RN. As amostras são oriundas de duas perfurações, uma localizada no alto de Macau (RN6- intervalo de 1.219,5 a 1.276,3 m) e a outra nas proximidades da falha de Ubarana (RN9 – intervalo de 2.404,55 a 2.443,15 m). Os argilominerais, identificados em análises de difração de raios-X, são representados por esmectita, illita, caulinita e interestratificados de illita/esmectita (I/E) e clorita/esmectita (C/E), ainda traços de clorita e sepiolita. Os ostracodes são representados por carapaças de espécies não-marinhas das famílias: Cyprididae, Limnocytheridae e Darwinulidae. O argilomineral interestratificado C/E, próximo ao ordenamento, indicou condições rasas de soterramento e baixas temperaturas na diagênese nas amostras da base da perfuração RN6, além das cores das carapaças de ostracodes amarelo-laranja muito claro e amarelo amarronado. Enquanto na perfuração RN9, condições de maturação da matéria orgânica são indicadas pelas cores cinza muito preto a preto nas carapaças de *Candona* sp.1 originalmente de cor esbranquiçada, além do possível ordenamento do argilomineral interestratificado de I/E. Os resultados obtidos nas amostras da Formação Alagamar sugerem a utilização destes componentes como geotermômetros em rochas geradoras de hidrocarbonetos.

Palavras-Chave: Formação Alagamar; argilominerais; ostracodes, geotermômetro, bacia Potiguar.

Abstract – Alagamar Formation samples (Aptian-Lower Albian interval) were selected in two cores from Potiguar Basin drilled in Macau High (RN6 - interval 1219,5 to 1276,3 m) and near to Ubarana fault (RN9 - interval 2404,55 to 2443,15 m). The clay minerals identified by X-ray diffraction are smectite, illite, kaolinite, mixed layer smectite/illite (I/S) and chlorite/smectite (C/S), and traces of chlorite and sepiolite. Ostracods are represented by non-marine species carapaces of Cyprididae, Limnocytheridae and Darwinulidae. C/S mixed layer clay minerals arrangement indicate sedimentation in a shallow water environment and low diagenesis temperatures in the RN6 core base, besides ostracods carapace colors ranging from a weak yellowish-orange to a brownish-yellow. Meanwhile in RN9 core, maturation conditions of the organic matter are indicated by carapace colors of *Candona* sp. 1, which were formerly white, ranging from black-gray to black, and the I/S mixed layer clay minerals arrangement. The results herein obtained suggest the utilization of those components as geothermometers in hydrocarbon source rocks.

Keywords: Alagamar Formation, clay minerals, ostracods, geothermometer, Potiguar basin

1. Introdução

A bacia Potiguar situada no nordeste brasileiro abrange mais precisamente o norte do Estado do Rio Grande do Norte e o nordeste do Estado do Ceará, entre os paralelos 4° 50'S e 5° 40'S e os meridianos 35° 0'W e 38° 30'W, com uma área aproximada de 48.000 km² na porção emersa e 26.500 km² na submersa. A Figura 1 ilustra a localização da bacia Potiguar.

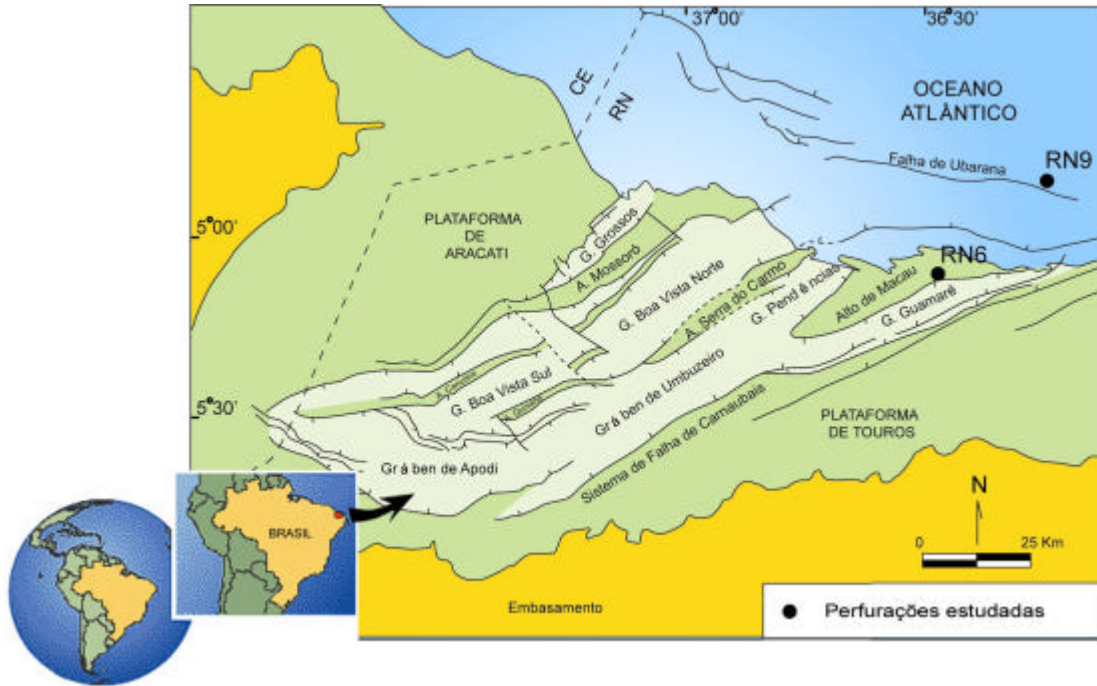


Figura 1. Localização da bacia Potiguar e das perfurações estudadas

A Figura 2 ilustra o intervalo na carta cronoestratigráfica referente a Formação Alagamar, esta corresponde ao estágio transicional na evolução tectono-sedimentar da bacia Potiguar, sendo representada inicialmente por um ambiente flúvio-deltaico, passando a lagunar restrito com a deposição de material sedimentar com indícios de incursões marinhas (Souza, 1982) (Fig. 2).

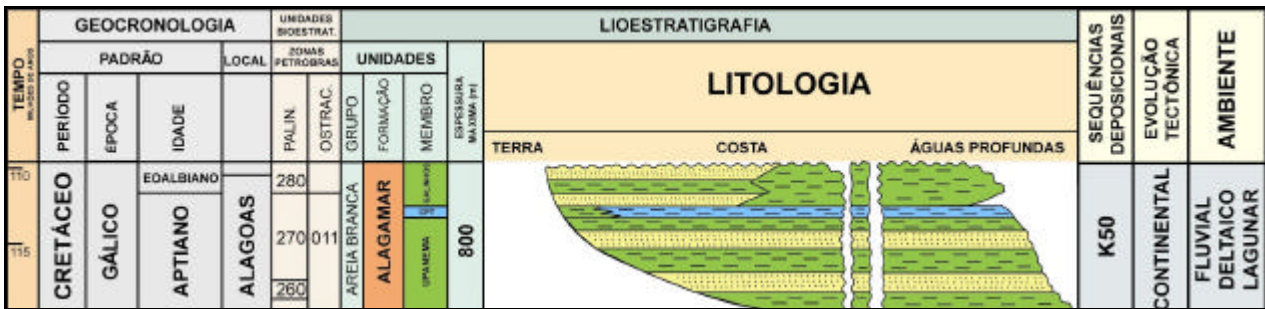


Figura 2. Seção esquemática da Formação Alagamar na carta cronoestratigráfica da bacia Potiguar (Araújo & Feijó, 1994)

Propõe-se neste trabalho, a partir das associações de argilominerais identificadas em análises de difração de raios-X e as mudanças de coloração das carapaças de ostracodes, verificar a possibilidade da utilização destes constituintes como indicadores térmicos da maturação da matéria orgânica presente nas rochas da Formação Alagamar.

2. Material e Metodologia

A realização do presente estudo contou com 17 amostras selecionadas ao longo de dois cilindros de sondagem em intervalo correspondente a Formação Alagamar (Aptiano-Albiano Inferior) da bacia Potiguar, respectivamente denominadas de RN6 e RN9 (Fig. 1). As amostras são oriundas de duas perfurações, uma localizada no alto de Macaú

(RN6- intervalo de 1.219,5 a 1.276,3 m) e a outra nas proximidades da falha de Ubarana (RN9 – intervalo de 2.404,55 a 2.443,15 m).

A preparação das amostras para a análise dos argilominerais por difração de raios-X (DRX), iniciou com a separação em duas frações, $>2 \mu\text{m}$ e $<2 \mu\text{m}$, e em seguida os demais procedimentos de concentração e confecção de lâminas, conforme técnicas convencionais utilizadas no Laboratório de Raios-X do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (IG/UnB) e adaptadas de Alves (1987).

As duas frações obtidas na separação e concentração dos argilominerais, foram submetidas à análise por difratômetro de raios-X, marca RIGAKU GEIGERFLEX, modelo D/MAX - 2AC, operando com tubo de cobre e filtro de Ni, sob 40 kV e 20 mA, sendo a velocidade de varredura de $2^\circ/\text{min}$.

As amostras orientadas na fração $<2 \mu\text{m}$ foram examinadas por DRX após as rotinas de tratamentos de secagem ao ar, de saturação com etileno-glicol e de aquecimento a 490°C por 3h30min. O intervalo de análise para as amostras de fração $<2 \mu\text{m}$ foi de 2° a $35^\circ 2\theta$. As amostras na fração $>2 \mu\text{m}$ foram analisadas no intervalo de 2° a $60^\circ 2\theta$.

A fauna de ostracodes identificada neste trabalho, primeiramente caracterizada por Do Carmo (1998), compreende espécies pertencentes a três famílias de ostracodes não-marinhos muito comuns no Cretáceo: Cyprididae, Limnocytheridae e Darwinulidae.

As carapaças dos ostracodes foram analisadas em lupa binocular Wild, com a iluminação de lâmpadas de cor branca para a análise da variação de cor das carapaças, esta segundo o padrão de cor Munsell (*Munsell Colour*, 1975).

2. Resultados

Os resultados obtidos nas análises por DRX nas duas frações, $> 2 \mu\text{m}$ e $< 2 \mu\text{m}$, demonstraram variação na composição mineralógica ao longo das perfurações. A principal característica foi a forte contribuição de minerais detríticos na fração $>2 \mu\text{m}$ e a predominância de argilominerais na fração $<2 \mu\text{m}$ representados por esmectita, illita, caulinita, clorita, sepiolita e interestratificados de illita/esmectita (I/E) e clorita/esmectita (C/E).

As carapaças de ostracodes identificadas correspondem a espécies não-marinhas de três famílias mais comuns no Cretáceo: Cyprididae, Limnocytheridae e Darwinulidae.

2.1. Argilominerais

Na fração $<2 \mu\text{m}$ ocorrem picos estreitos e intensos nas posições correspondentes aos argilominerais, se distinguem da fração maior com reflexões baixas e largas. Os argilominerais identificados têm variadas intensidades e alguns são sensíveis aos tratamentos utilizados.

Na **perfuração RN6**, intervalo de 1.219,5 a 1.220,5 m referente ao **Membro Galinhos**, os argilominerais são esmectita, illita e caulinita. A clorita é sugerida como constituinte traço nos níveis da base. O interestratificado I/E foi identificado no tratamento com etileno-glicol com reflexões largas e de baixa intensidade.

Nas **CPT** da perfuração RN6, intervalo de 1.231 a 1.247,42 m, a fração $< 2\mu\text{m}$ apresenta os argilominerais esmectita e illita como os mais abundantes nos níveis terrígenos, nestes secundariamente caulinita e o interestratificado I/E. A esmectita ocorre como traço nos níveis mais carbonáticos. A clorita só é identificada em uma amostra, como constituinte traço. Os interestratificados C/E e o I/E ocorrem com reflexões de diferentes intensidades.

No **Membro Upanema**, intervalo de 1.263 a 1.276,3 m, da perfuração RN6, os argilominerais comuns a todas as amostras são o interestratificado C/E e a illita. Argilominerais interestratificados I/E e a clorita ocorrem como traço em algumas amostras. O interestratificado C/E mostra reflexões largas e mal definidas nos níveis do topo, mas nos níveis inferiores são marcados por picos intensos e estreitos. A Figura 3 ilustra difratogramas dos tratamentos utilizados neste intervalo na fração argila, onde são identificados os argilominerais.

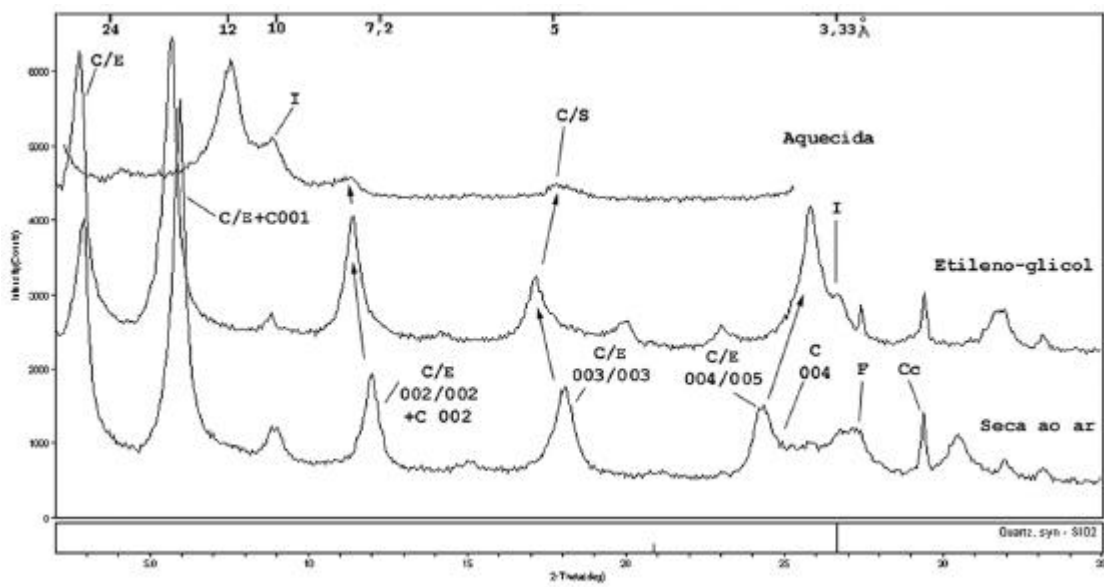


Figura 3. Difratogramas fração <2 µm amostra perfuração RN6 (1.276,3 m)

Legenda: E=Esmectita; I=Ilita;; K=Caulinita; C/E=Clorita/Esmectita; I/E=Ilita/Esmectita; Qz=Quartzo; Cc=Calcita; F=Feldspatos; Qz+I=sobreposição de picos; E001=posição dos picos

Na **perfuração RN9** foram estudadas amostras de profundidades entre 2443,15 m e 2404,55 m, a fração >2µm os difratogramas evidenciam, em duas amostras, as reflexões características de ilita, caulinita (serpentina), quartzo, albita, pirita e gipsita. A amostra carbonática é formada por dolomita, contendo também gipsita e pirita.

A Figura 4 ilustra a fração argila deste intervalo, onde são identificados os argilominerais, sendo identificados os argilominerais ilita e caulinita (ou serpentina).

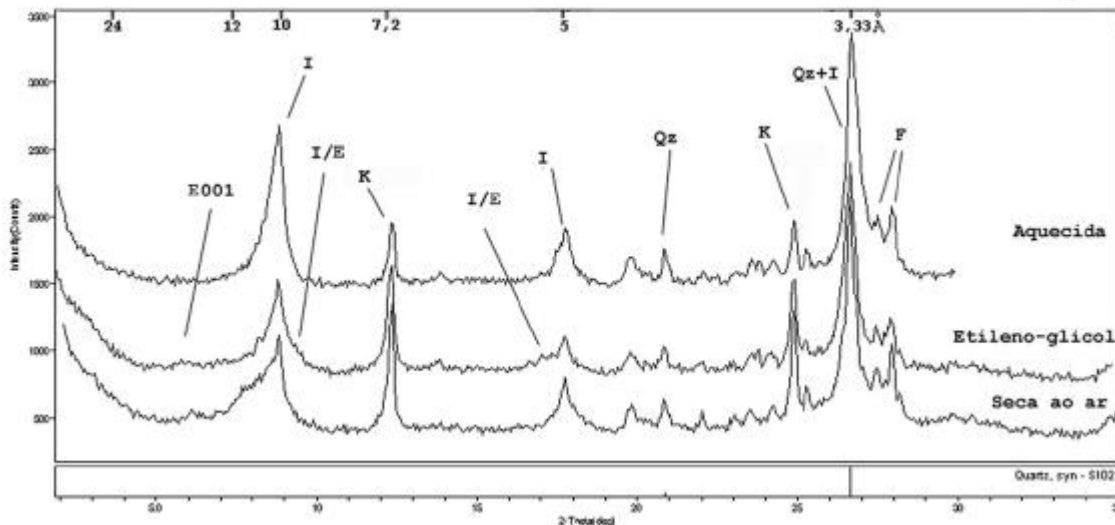


Figura 4. Difratogramas fração < 2µm amostra RN9-03 (2.443,15 m)

Pode ser sugerida a formação de interestratificado de C/E, na base da perfuração RN6, e não de I/E, devido a preferência de agradação de íons de Mg em detrimento aos íons de K a partir de esmectitas, sugerido por Lucas & Ataman (1968) *In*: Dunoyer de Segonzac (1970). Na amostra RN6-14, maior profundidade amostrada na perfuração RN6, o interestratificado de C/E estaria próximo ao ordenamento com clorita em porcentagens de 60%, conforme tabelas disponibilizadas por Moore & Reynolds (1997).

Chang (1983) determinou, no seu estudo na bacia Potiguar, que o interestratificado de C/E iniciou seu ordenamento em profundidades mais rasas nos arenitos do que nos folhelhos; para os arenitos a partir de 1.500 m e nos folhelhos a partir 2.000 m, cujas temperaturas equivalentes próximas a 60^o C e 70^o C, respectivamente. A composição total das rochas não foi determinante nos ordenamentos em temperaturas diferentes, mas sim a alta permeabilidade dos arenitos que propicia a maior interação local de fluido/rocha.

O interestratificado de ilita/esmectita (I/E) ocorre em proporções variáveis nas amostras abaixo de 1.230 m, em RN6. Do topo para a base, os picos de I/S, esmectita e ilita se tornam distintos. Estas características evidenciam que a reação de transformação de ilita ocorre a partir de esmectitas via interestratificado I/E. A temperatura e a composição são as variáveis determinantes para as diferenças na composição e no ordenamento destes argilominerais (Chang, 1983).

2.1. Ostracodes

A coloração das carapaças dos ostracodes sofreu significativa alteração somente nas amostras referentes à perfuração RN9, mais precisamente na amostra RN9-02 com profundidade de 2.434,60 m.

O conjunto de ostracodes da amostra RN9-02 é representado pela fauna monoespecífica de *Candona* sp.1 que possui a cor original das carapaças branca (5 YR S/1 a 10 YR 8/1), sendo sua coloração modificada para cinza muito preto (5 Y 3/1) a preto (5 Y 2,5/1) e a superfície não apresenta rugosidade (corrosão) (Fig. 4).

Segundo a sequência de alteração das cores nas carapaças dos ostracodes, determinada por Ainsworth *et al.* (1990), o nível de alteração para as carapaças da amostra RN9-02 sugere a referência ao nível 6. Ainda com referência ao trabalho de Ainsworth *et al.* (1990), o qual comparou os níveis de alteração das cores obtidos em seu trabalho com os índices de reflectância da vitrinita, a amostra RN9-02 estaria posicionada na “janela de geração de óleo” da maturação da matéria orgânica, nos índices 1 e 2 da reflectância da vitrinita.

Os constituintes orgânicos expelidos dos sedimentos entram, ou advêm dos próprios ostracodes, na estrutura interna das carapaças dos ostracodes, onde esta se tornou permeável pela remoção de constituintes quitinosos (Ainsworth *et al.*, 1990).

A influência do betume, identificada na amostra RN9-02, sugere que este seja o principal determinante na coloração atual das carapaças. Na presente situação, a temperatura parece ter um papel fixador dos constituintes orgânicos na estrutura interna das carapaças.

As carapaças das amostras das perfurações RN6 sofreram modificações pouco representativas para a determinação da influência termal. Os níveis de alteração de cor obtidos foram de 2 e 3 (Ainsworth *et al.*, 1990), respectivamente cores entre o amarelo-laranja muito claro (2,5 Y 8/4) e amarelo amarronado (10 YR 6/6), portanto níveis imaturos quanto a maturação da matéria orgânica.

Os resultados obtidos no estudo das carapaças de ostracodes da Formação Alagamar com os níveis de alteração de cor obtidos por Ainsworth *et al.* (1990) mostra uma correlação positiva entre o escurecimento das carapaças e o aumento da temperatura a que os estratos foram submetidos (Fig.5).

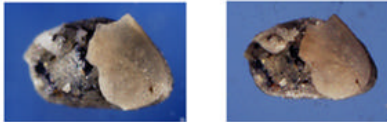


| Cores das carapaças dos ostracodes Formação Alagamar | Ainsworth <i>et al.</i> (1990) | |
|--|--------------------------------|--|
| | Níveis de alteração de cor | Cores (Munsell Colour, 1975) |
|  RN6-12 - 1263,60 m - <i>Harbinia</i> sp.3 | 2 | Amarelo-laranja muito claro (2,5 Y 8/4 a 10 YR 8/4) |
|  RN6-13 - 1274,33 m - <i>Ilyocypris</i> sp.1 | 3 | Âmbar a amarelo amarronado (10 YR 6/6) |
|  RN9-02 - 2434,60 m - <i>Candona</i> sp.1 | 6 | Cinza-marrom muito escuro (2,5 YR N 3/2) a preto (10 YR 2,1) |

Figura 5. Coloração das carapaças dos ostracodes da Formação Alagamar e comparação segundo índices de Ainsworth *et al.* (1990)

4. Conclusões

A associação dos argilominerais ilita, esmectita e interestratificados não ordenados indicam condições rasas de soterramento e baixas temperaturas de diagênese das amostras da base da perfuração RN6, no alto de Macau (RN6), além da coloração apresentada entre o amarelo-laranja muito claro (2,5 Y 8/4) e amarelo amarronado (10 YR 6/6), portanto, com níveis imaturos quanto a maturação da matéria orgânica.

Na perfuração RN9, próxima a falha de Ubarana, condições de maturação da matéria orgânica são indicadas pelas cores cinza muito preto (5 Y 3/1) a preto (5 Y 2,5/1) apresentadas pelas carapaças de *Candona* sp.1, originalmente de cor branca (5 YR S/1 a 10 YR 8/1). As intensidades e a forma dos picos da ilita e da caulinita (ou serpentina), a ausência de interestratificados e de argilominerais expansivos indicam condições de diagênese mais intensas que em RN6.

Os resultados obtidos nas amostras da Formação Alagamar mostram a possibilidade da utilização destes componentes como indicadores de maturação da matéria orgânica presente em rochas geradoras de hidrocarbonetos.

7. Agradecimentos

À Agência Nacional do Petróleo pela concessão de bolsa no Programa de Geologia do Petróleo do Convênio UFRGS/ANP – PRH-ANP/MME/MCT nº 12. Aos professores e colegas que contribuíram de maneira decisiva na elaboração deste trabalho.

8. Referências

- ALVES, D. B. Desenvolvimento da metodologia de preparação de amostras para análise difratometria de argilominerais no Centro de Pesquisas da Petrobrás. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, v. 1, n. 2, p. 157-174, 1987.
- AINSWORTH, N. R., BURNETT, R. D., KONTROVITZ, M. Ostracod colour change by thermal alteration, offshore Ireland and Western UK. *Marine and Petroleum Geology*, v. 7, p. 288-297, 1990.
- ARARIPE, P. de T. & FEIJÓ, F. J. - Bacia Potiguar. *Boletim Técnico da PETROBRÁS*, 8(1)127-141, 1994.
- CHANG, H. K. Diagenesis and mass transfer in Cretaceous sandstone-shale sequences, offshore Brazil. *Tese de Doutorado em Geociências*, Evanston, Illinois, Northwestern University, p. 338, 1983.
- DO CARMO, D. A. Taxonomia, paleoecologia e distribuição estratigráfica dos ostracodes da Formação Alagamar (Cretáceo Inferior), Bacia Potiguar, Brasil. *Tese de Doutorado*, UFRGS, Porto Alegre, RS, p. 156, 1998.
- DUNOYER DE SEGONZAC, G. The transformation of clay minerals during diagenesis and low-grade metamorphism: a review. *Sedimentology*, v. 15, p. 181-346, 1970.
- MOORE, D.M. & REYNOLDS Jr., R.C. *X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals*, Oxford, Oxford University Press, p. 378, 1997.
- MUNSELL COLOUR. *Munsell Soil Color Charts*. Baltimore, Macbeth Division, Kollmorgen Corporation, 8 charts, 1975.
- SOUZA, S.M. Atualização da litoestratigrafia da bacia Potiguar. *In: Congresso Brasileiro de Geologia*, 32, Salvador, 1982. *Anais*. Salvador, SBG. v.5, p. 3292-2406, 1982.