

436



PHL 021351



0926

CONTRIBUIÇÃO TÉCNICA Nº: 5350.004 MES/ANO AGOSTO/79

ÓRGÃO DE AUTORIA

SUREG/RE

O BORO COMO ELEMENTO INDICADOR DE PALEOSALINIDADE NA
BACIA DO PARNAÍBA.

Carlos Alberto C. Lins



O BORO COMO ELEMENTO INDICADOR DE PALEOSALINIDADE NA
BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA

Autor: Carlos Alberto C. Lins

Novembro - 1978

RECIFE - PE

INTRODUÇÃO

A utilização do boro como elemento indicador de paleosalinidade de ambientes de deposição, tem sua origem, a partir do trabalho de GOLDSCHMIDT e PETERS (1932). Outros trabalhos, pertinentes ao assunto, foram publicados a partir daí, ratificando as observações iniciais daqueles autores e acrescentando certas limitações e propriedades particulares, desta característica do boro.

Dentre estes outros trabalhos destaca-se o do LANDERGRÉN (1945) e outros do mesmo autor de datas mais recentes.

O ciclo geoquímico do boro inicia-se a partir da cristalização magmática por duas vias, uma incorporada às rochas ígneas, enquanto que a outra, através da atividade vulcânica. As rochas ígneas através dos fenômenos de meteorização alimentam a hidrosfera, de maneira contínua, auxiliado pela grande mobilidade do elemento. Em ambiência supergênica, a atividade vulcânica através da exalação de gases e posterior condensação da atmosfera, também alimenta a hidrosfera. Esta tem como representante final, o mar.

Há um aumento de concentração do boro, das águas alimentadoras do mar para este, em torno de 256%, RANKAMA - SAHAMA (1962). Este elemento se encontra na água do mar sob a forma de ácido bórico estável com sua mobilidade sensível às modificações dos diversos parâmetros característicos do ambiente marinho, principalmente a salinidade.

O boro se precipita no mar sob a forma de boratos de cálcio e magnésio ou adsorvido nos hidrolizados marinhos e alguns oxidatos.

A utilização do boro na caracterização de ambientes salinos e não salinos deve levar em consideração uma série de fatores que poderão influir nos resultados obtidos.

A base desta utilização é a diferença entre o conteúdo de boro do ambiente salino (marinho ou lagunar) para o ambiente de água doce. Enquanto que a associação do boro com os sais de origem marinha reflete a fase mais estável do seu ciclo, a sua ausência em sedimentos não salinos de origem continental, reflete a extrema mobilidade deste

elemento que em geral não se fixa em outras fases do ciclo. Ressalte-se apenas as rochas ligadas a processos vulcânicos ricos em boro. Os fatores que deverão ser considerados na análise do caráter salino do ambiente de deposição, podem ser enumerados:

1 - Composição mineral dos sedimentos - A presença de boro-silicatos, muito comuns em sedimentos detríticos continentais ou marinhos podem elevar sobremaneira o conteúdo do boro sem caracterizar, neste caso, salinidade do ambiente de deposição;

2 - Granulometria - Segundo os estudos realizados por LANDERGREN (op.cit.) nos ambientes marinhos, o conteúdo em boro da fração argilosa dos sedimentos é diretamente proporcional à salinidade da água em que ele tenha se depositado;

3 - Presença de matéria orgânica - EAGER(1962), CURTIS (1964) e SPEARS (1966) todos em HARDER (1974) observaram em seus trabalhos uma relação inversa entre o teor em boro e o conteúdo em matéria orgânica, em sedimentos marinhos;

4 - Presença de vulcanismo rico em boro nas proximidades do ambiente de sedimentação (pode enriquecer lagos de água doce);

5 - História diagenética do sedimento: a presença de vulcanismo ou mesmo a atuação de fases de intemperismo ou ainda qualquer outro fator físico ou químico que tenha atuado sobre o sedimento durante a sua diagênese pode afetar o conteúdo em boro do mesmo.

Se os vários parâmetros podem ser controlados, os sedimentos poderão ser utilizados na determinação da paleosalinidade do seu ambiente de deposição. Algumas características ainda, da geoquímica do boro, devem ser ressaltadas para uma boa análise:

1 - Os calcários apresentam geralmente um conteúdo muito variável de boro. Sua fixação é principalmente nas frações argilosas contidas no calcário, daí este sedimento não ser um bom indicador pelo seu conteúdo em boro, de paleosalinidade, HARDER (op.cit.). No entanto tem-se observado que calcários e dolomitos marinhos possuem um teor um pouco mais elevado que os de água doce. O conteúdo em boro dos resíduos insolúveis dos calcários e dolomitos podem ser, no entanto, excelentes indicadores de paleosalinidade;

2 - Nos sedimentos mais grosseiros (psamitos) o conteúdo em boro, reflete não apenas a salinidade do ambiente de deposição como também a proporção da fração argilosa. A presença de boro silicatos (turmalina), certas micas e ocasionalmente vidro vulcânico pode descaracterizar o sedimento como passível de ser utilizado na análise, HARDER (1959) e ISHIZUKA (1970) in HARDER (op.cit.);

3 - Sedimentos ferruginosos marinhos e de água doce, apresentam uma grande variação no conteúdo em boro e refletem pronunciadamente os efeitos dos processos diagenéticos. Um sedimento ferruginoso, depositado originalmente em ambiente francamente marinho, pode apresentar diferentes valores de boro devido ao intemperismo atual e ao paleointemperismo. HARDER (op.cit.) cita um exemplo de um jazimento liássico de ferro (sedimento marinho), onde foram coletadas amostras de um ferro (material fresco) com 60 ppm de B, de afloramentos inalterados com 46 ppm e ocorrências alteradas com 5 a 20 ppm. A diminuição do conteúdo de boro durante o intemperismo e a diagênese é devido a incapacidade dos óxidos ou silicatos de ferro (com exceção da glauconita) para incorporar o boro na estrutura cristalina, HARDER (op.cit.).

METODOLOGIA

Para este trabalho, foram utilizadas 1086 amostras de rocha da bacia sedimentar do Parnaíba distribuídas por toda a sua área de extensão de 600.000 km² e por todas as unidades litoestratigráficas da sua coluna. As amostras foram coletadas pelos geólogos (19) do Projeto Estudo Global dos Recursos Minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba (Convênio DNPM/CPRM).

As amostras foram analisadas para boro, e para outros 29 elementos por espectrografia de emissão, que utilizou um limite inferior de detecção para boro de 10 ppm, sendo que os valores detectados abaixo deste limite foram registrados como L10. As análises foram executadas no Laboratório de Análises Minerais da CPRM (LAMIN) pelos químicos: Gloria Berenice C.T.C.B. da Silva, Elizabeth de B.B. Winter, Maria Lucia Lemos e J.C.S. Spinelli.

O processo de tratamento estatístico dos dados foi realizado em computador através da utilização do Sistema Estatístico de Amostragem Geoquímica (SEAG) da CPRM, que inclui programas de arquivamento e tratamento, com métodos de estatística uni e multivariadas. O registro dos valores encontrados para boro foi feito segundo padrões de leitura que seguem uma sequência logarítmica 1-2-5-10-20-50-100 ppm etc., e interpolações visuais entre estes valores de 1,5-3-7-15-30-70 ppm, etc. Os valores médios calculados foram considerados como sendo o valor de leitura imediatamente acima do valor real correspondente a média geométrica, assim sendo, em termos de ilustração, para uma média de 31 ppm foi admitido 50 ppm, primeiro step imediatamente acima.

Utilizou-se também neste trabalho, com caráter comparativo, análises bioestratigráficas de cerca de 120 amostras, que também foram analisadas quimicamente para boro por espectrografia de emissão. As análises bioestratigráficas foram realizadas por Norma Maria Melo da Costa e Luiz Vitor Baudouin do LAMIN. Inicialmente realizou-se um estudo comparativo entre os resultados bioestratigráficos e o conteúdo em boro, para verificar as limitações e suficiências da análise.

ESTUDO COMPARATIVO ANÁLISE BIOESTRATIGRÁFICA/CONTEÚDO EM BORO

Com a finalidade de se obter, com uma boa margem de segurança, uma funcionalidade maior na utilização do conteúdo em boro na determinação da paleosalinidade dos ambientes fez-se um estudo comparativo entre os resultados das análises bioestratigráficas e análises químicas, em 120 amostras. Esta análise comparativa foram acondicionadas nos Quadros I a VIII, separados por litologia e ambiente. Assim sendo, as amostras foram enquadradas em quatro grupos litológicos: folhelho, siltito, calcário e arenito. E para cada um destes grupos foram separadamente classificados os tipos de ambiente mais genéricos, marinho e continental.

É importante salientar que na construção destes quadros a idade e o ambiente de deposição foram determinados através do conteúdo fossilífero, enquanto que a unidade estratigráfica foi determinada a partir das observações de campo, e análises de estruturas sedimentares internas, auxiliadas secundariamente pelas análises bioestratigráficas.

Este tipo de classificação de ambiente entre marinho e continental exige uma explicação suplementar quando analisada sob o ponto de vista de salinidade. É óbvio que todo ambiente, classificado de marinho apresenta uma salinidade normal, variando entre certos limites, no entanto, o ambiente continental na maioria das vezes foi determinado, a partir da ausência de fósseis marinhos e na presença de esporomorfos (que implica numa influência do continente), não significando assim uma determinação real da salinidade. Quando a presença de fósseis no ambiente continental possibilitava a determinação da salinidade, esta foi registrada. Outras vezes o termo continental foi substituído pelo analista, pelo de não marinho. Assim, o termo continental não implica necessariamente, salinidade baixa. Como exemplo: a Formação Pedra de Fogo foi depositada num ambiente lagunar com variações para marinho, cuja salinidade variou de água doce a penesalina, com evidências geológicas desta variação e sua classificação pelo conteúdo fóssil foi em geral continental.

No Quadro I estão os folhelhos de ambiente marinho, assim sendo, salino. Pode-se tirar deste as seguintes conclusões: 1) 72% dos resultados de boro estão acima de 100 ppm; 2) 87% estão no intervalo 70-500 ppm e os valores médio de todos os resultados é de 100 ppm; 3) a amostra AV-328 a (20 ppm) foi coletada próxima a intrusões de diabásio, que poderão ter tido influência na fixação do boro; 4) a amostra LA-356 (20 ppm) é de ambiente discutível, pois enquanto a presença de conchostraca, sugere água doce, a orbiculoidea sugere ambiente marinho; 5) a presença de matéria orgânica, calcário, ou clásticos mais grosseiros refletem-se claramente no conteúdo de boro de algumas amostras (FF-87 a, FA-319 c, FA-300, FA-317 a, PS-2 b).

No Quadro II amostras de ambiente continental, temos uma certa heterogeneidade nos valores de boro refletindo a variação de salinidade deste ambiente. As amostras AO-161 e LA-413 a, que por sua vez

apresentam os teores mais elevados em boro (200 ppm) são pela sequência litológica a que pertencem de ambiente de salinidade média, sua caracterização continental é devido a ausência de fósseis marinhos. Outras amostras de ambiente salobro a salino são as amostras EL-98, LA-182, AV-213 b, EF-124, todas da Formação Pedra de Fogo, de ambiente predominantemente lagunar. Concluindo-se, chega-se a: 1) 80% dos valores de boro do Quadro II, independente das observações mencionadas, ficam entre 20-70 ppm; 2) o valor médio de todos os valores é 50 ppm, metade da média dos folhelhos marinhos.

O Quadro III - siltitos marinhos, apresenta um valor médio de 100 ppm, e 77% das amostras localizam-se entre 70 e 500 ppm. É interessante notar que os três mais baixos valores do boro, amostras AT-81 (10 ppm), AO-2c (20 ppm) e EF-145b (30 ppm), são ricas em Fe (mais que 20%) refletindo a incapacidade dos óxidos de ferro de incorporarem o boro do ambiente, HARDER (op.cit.).

O Quadro IV apresenta valores bem elevados de boro, no entanto, todas as amostras das formações Pedra de Fogo e Codó, deste quadro, são por evidências litológicas, de ambientes salobros a salinos, não existe nenhuma comprovadamente de água doce.

Nos Quadros V e VI estão as amostras de calcários marinhos e continentais, no entanto entre estes últimos apenas a amostra LA-126c é de água doce, os demais atestam as incursões marinhas no ambiente de deposição Codó, sendo que a amostra AO-222a é provavelmente de ambiente salobro. O calcário quando muito puro, amostras AO-188b, AO-189, JR-600d, apresentam muito baixo teor em boro, mesmo de ambiente marinho. O boro em calcário está ligado a fração argilosa que possa estar misturada aos carbonatos. Na amostra de conteúdo argiloso mais elevado, AO-123b, o teor em boro é relativamente elevado (150 ppm).

O Quadro VII - arenitos marinhos - demonstra muito bem as relações diretas, boro/contéudo argiloso e as inversas, boro/ferro e boro/matéria orgânica.

O Quadro VIII - arenitos continentais, novamente reflete a dificuldade desta análise comparativa, quando a determinação do ambiente não é completa em relação a salinidade, pois, somente a presença de esporomorfos e ausência de fósseis marinhos não podem atestar a salinidade original do ambiente. No entanto, mais uma vez, aqui neste caso, o boro vem ratificar observações de campo, que atestam uma sequência marinha para a amostra AT-111a.

Como conclusão desta análise comparativa pode-se enumerar o seguinte:

1 - As melhores rochas para análise ambiental de salinidade, pelo conteúdo em boro, são os folhelhos e siltitos, preferencialmente pobres de matéria orgânica e de material ferruginoso.

2 - Os arenitos e calcários não se prestam como bons indicadores de paleosalinidade, a não ser que o seu conteúdo argiloso seja elevado. No caso dos calcários pode-se utilizar seu resíduo insolúvel.

3 - Intrusões e derrames de rochas ígneas, influenciam o conteúdo em boro da rocha.

4 - É válida a utilização, para folhelhos e siltitos, na Bacia Sedimentar do Parnaíba, do limite de 70 ppm para separar ambientes salinos e de água doce, admitindo-se uma faixa intermediária para ambientes salobros.

ANÁLISE AMBIENTAL DE PALEOSALINIDADE DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA

Com a utilização do teor em boro, nas amostras coletadas dentro da sequência sedimentar da bacia do Parnaíba, pode-se analisar a paleosalinidade dos ambientes de deposição, com base nos critérios da análise comparativa executada. Serão consideradas nesta análise as evidências de caráter geológico (estruturas sedimentares internas) e paleontológico que foram utilizadas pelo Projeto Estudo Global na Bacia Sedimentar do Parnaíba (Convênio DNPM/CPRM) para determinar o ambiente deposicional. Estas evidências não serão discutidas neste trabalho.

Foram analisadas 1086 amostras, sendo que 811 rochas sedimentares e 275 entre ígneas extrusivas e intrusivas e metamorfitos. Para efeito desta análise serão consideradas apenas as rochas sedimentares, respeitando-se a sua posição estratigráfica da base para o topo. Não foi utilizado, nenhum critério de pré-seleção das amostras, nem de distribuição vertical ou horizontal. Admitiu-se uma certa aleatoriedade de coleta. Os valores de boro das rochas ígneas, são extremamente baixos, chegando ao máximo de 20 ppm (raros) indicando um vulcanismo pobre em boro.

Formação Serra Grande - Unidade constituída predominantemente de clásticos médios e grosseiros. O conteúdo médio em boro é o mais elevado de toda a sequência sedimentar da bacia (150 ppm com uma amplitude de 30-1000 ppm), no entanto, grande parte deste é devido a presença de turmalina entre os minerais formadores da rocha principalmente na base da unidade. O ambiente é predominantemente marinho, principalmente da seção mediana para o topo. Não foram encontrados fósseis para uma comparação ambiental com o boro. Foram analisadas 19 amostras.

Formação Pimenteiras - Foram analisadas 122 amostras desta unidade, com um valor médio de boro de 70 ppm, numa amplitude de 110 a 1000 ppm. O conteúdo em boro desta unidade foi grandemente prejudicado pela predominância de oxidatos e reduzatos, não favoráveis a fixação do boro. Porém a salinidade, evidenciada pela maioria das camadas de folhelhos e siltitos e o conteúdo fóssil atestam um ambiente marinho de salinidade normal. Entre os clásticos finos o valor médio de boro é 100 ppm, e entre os clásticos médios e grosseiros é de 50 ppm, que é o de se esperar para ambientes francamente marinhos. Deve-se ressaltar bem a influência dos oxidatos, representado por oolitos ferruginosos, que sofreram em superfície um intemperismo forte, e que se destacam com uma grande representação na amostragem.

Formação Cabeças - Desta unidade, foram coletadas 48 amostras, apresentando o conteúdo médio em boro de 50 ppm, o mais baixo, entre as formações Paleozóicas. A amplitude de valores ficou entre 110 e 1000 ppm. Além de se repetir com esta unidade, o mesmo fenômeno da Formação Pimenteiras, com a predominância de oxidatos, predomina também clásticos médios, arenito em geral muito limpos variando de finos a conglomeráticos, apresentando litologia monótona em grande espessura. Nos clásticos finos evidencia-se para esta unidade uma variação de ambientes salinos e salobro (indicando uma variação de marinha a deltaica). Entre os clásticos finos o valor médio sobe a 7 ppm e entre os clásticos grosseiros, 30 ppm.

Formação Longá - Apresenta o mais elevado conteúdo médio em boro 100 ppm (amplitude de 110-700 ppm) em 173 amostras coletadas. Os teores elevados em boro concentram-se nos folhelhos, siltitos e arenitos finos ficando os valores baixos restritos aos oxidatos. A salinidade do ambiente, além de elevada é constante praticamente em todo o perfil da unidade. Os valores mais baixos, predominam no topo onde concentram-se zonas de oxidatos. O comportamento geoquímico do boro nesta unidade assemelha-se bastante ao registrado na Formação Pimenteiras, sendo que nessa há uma predominância maior de oxidatos. O valor médio dos clásticos finos é semelhante aos da unidade em geral 100 ppm, enquanto que para os clásticos grosseiros o valor é de 70 ppm, valores estes que localizam-se claramente dentro de um ambiente predominantemente salino.

Formação Poti - A amplitude de valores de boro (110 a 200) com um valor médio de 70 ppm, em 47 amostras, reflete muito bem a existência de ambientes salinos e não salinos na unidade. Enquanto a base, com uma boa uniformidade de sedimentação depositou-se em ambiente marinho, o topo passa a um ambiente flúvio-deltaico de salinidade mais baixa. As amostras de clásticos finos apresentaram um valor médio de 100 ppm, enquanto os clásticos médios e grosseiros 30 ppm.

Formação Piauí - Nesta unidade, foram coletadas 29 amostras, com um teor médio de 70 ppm (amplitude de 110 a 200), repetindo o mesmo comportamento geral da Formação Poti. O ambiente deposicional da Formação Piauí é predominantemente fluvial, com alguma contribuição eólica e com breves incursões marinhas. O ambiente predominante (fluvial-eólico) representado por arenitos foi muito pouco amostrado (25% das amostras) enquanto o marinho, melhor amostrado, influenciou sobremaneira o valor médio alto da unidade.

Formação Pedra de Fogo - O ambiente deposicional desta unidade é continental lagunar (salino) e fluvial (restrito), com contribuição eólica, ocorrendo incursões marinhas, com ciclos evaporíticos. A existência de variações no ambiente, de água doce a penesalino é evidenciada pela larga amplitude de valores de boro (110-500 ppm) com um valor médio para a unidade de 70 ppm. A grande quantidade de calcários amostrada, 30% das amostras, refletiu-se bastante na diminuição do valor médio da unidade. Entre as amostras de clásticos finos a médios é 100 ppm, numa amplitude de 110 a 500 ppm, mais representativa do cará-

ter salino do ambiente. Nesta unidade foram coletadas 116 amostras sendo 60% de clásticos finos, 30% de calcários e 10% de clásticos médios e grosseiros.

Formação Motuca - O comportamento do boro nesta unidade é bastante similar a Formação Pedra de Fogo, no que se refere a valor médio, 70 ppm, no entanto sua amplitude é bem menor 110 a 150. Entre os clásticos finos, a amplitude é a mesma com uma média de 100 ppm, o que evidencia o caráter mais salino destes.

A formação é considerada de ambiente flúvio-eólica, com incursões marinhas e ambientes lagunares na seção mediana, que foi realmente a mais bem representada na amostragem (76% das amostras). Foram coletadas 39 amostras nesta unidade, sendo 20 entre clásticos finos e calcários.

Formação Sambaíba - Apenas 5 amostras foram coletadas nesta unidade e destas somente 3 tiveram valores acima de 10 ppm duas de 20 ppm e outra de 500 ppm. Esta última corresponde a um arenito eólico, rico em turmalina. O ambiente deposicional é continental, flúvio-eólico, sem participação de ambientes salinos.

Formação Pastos Bons - Nesta unidade, foram coletadas 26 amostras, que deram um teor médio de 50 ppm, numa amplitude de 10 a 200 ppm. Os valores mais elevados concentram-se entre os clásticos finos (50% das amostras) associados a calcários na região de Barro Duro e Buri Bravo, indicando uma certa salinidade no ambiente de deposição. Nas demais áreas de coleta de amostras, evidenciou-se um ambiente de baixa salinidade. O ambiente deposicional desta unidade foi determinada como lacustrino preenchendo paleodepressões continentais. Pode-se acrescentar através da análise do boro que a salinidade em algumas destas lagoas era alto.

Formação Corda - A Formação Corda é de ambiente continental, fácies lacustre, de águas calmas. O valor médio de boro é 30 ppm (amplitude 10-70 ppm) em 17 amostras coletadas. A salinidade do ambiente é muito baixa, refletindo-se muito bem no conteúdo do boro.

Formação Codó - A Formação Codó é de ambiente marinho e salobro-lacustrino. O conteúdo médio de boro é de 50 ppm (amplitude de 110-200) em 81 amostras coletadas. As amostras foram coletadas 67% entre os clásticos finos, 23% entre os calcários, e 10% entre os clásticos grosseiros.

Os finos apresentam um conteúdo médio de boro de 70 ppm com uma variação de 30-100 ppm, refletindo ambientes de salobro a salino, referendando as observações de campo. É importante registrar que uma grande parte dos clásticos finos é rico em matéria orgânica, o que vem retrair o comportamento do boro.

Os calcários apresentam uma variação de 110 a 50 ppm de boro muito embora todos sejam de ambiente marinho.

Entre os clásticos grosseiros o conteúdo de boro varia de 20 a 70 ppm.

Formação Areado - O ambiente deposicional da Formação Areado é de ambiente de águas doces e salobras, com períodos curtos de maior salinidade, caracterizando possivelmente ambiente flúvio-lacustre com alguma contribuição deltáica.

Foram coletadas 14 amostras, apresentando um teor médio de 70 ppm, numa variação de 20-150 ppm. A amostragem concentrada especificamente nos horizontes de clásticos finos fossilíferos e calcíferos (ambiente lagunar) influiu conspicuamente nos teores elevados de boro para uma unidade predominantemente de água doce e salobra.

Formação Itapecuru - Coletaram-se 75 amostras desta unidade, tendo o boro sido detectado em apenas 34 numa amplitude de 110 a 100 ppm. O valor médio destas foi de 50 ppm. O teor em boro é uniformemente baixo, caracterizando um ambiente deposicional não salino, continental.

CONCLUSÕES

Como principais fatos conclusivos desta análise de salinidade ambiental através do boro pode-se enumerar:

- 1) A validade da metodologia, demonstrada pela análise comparativa com a bioestratigrafia e com a litologia (estruturas sedimentares internas).
- 2) A utilização do método deve ser feita de preferência com clásticos finos, (folhelhos e siltitos) isentos de matéria orgânica e oxidados de ferro.
- 3) A utilização de calcário e clásticos grosseiros, deve ser feita com reservas, desde que os fatores que limitam o comportamento do boro sejam conhecidos e controlados.
- 4) É importante o conhecimento da história diagenética do sedimento.
- 5) É válido, na Bacia Sedimentar do Parnaíba, a utilização do limite de 70 ppm (clásticos finos) para separar ambientes salinos e não salinos admitindo-se uma faixa de 50-100 ppm para variação do mesmo.
- 6) O conteúdo em boro definiu como ambientes predominantemente salinos o das formações Pimenteiras e Longá e como não salinos os das formações Sambaíba, Corda e Itapecuru. As demais unidades, Serra Grande, Poti, Piauí, Pedra de Fogo, Motuca, Pastos Bons, Areado e Codó, apresentam uma mesclagem de ambientes salinos e não salinos.

BIBLIOGRAFIA

- BRASIL. DNPM/CPRM - 1978 - Projeto Estudo Global dos Recursos Minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba. Convênio DNPM/CPRM, 4 v., relatório inédito.
- GOLDSCHMIDT, V.M.; PETERS, C. - 1932 - Zur Geochemie des Bors, Teil I und II. Nachr. Ges. d. Wiss. Math.-Phys. Kl.III/25 and IV/27, Göttingen.
- HARDER, H. - 1974 - Boron, in Handbook of Geochemistry II-I. ed. K. H. Wedepohl. Springer-Verlag Berlin. Heidelberg.
- LANDERGREN, S. - 1945 - Contribution to the geochemistry of boron. Ark. Kem. Min. Geol. 19 A, 1.
- RANKAMA, K.; SAHAMA, Th G. - 1962 - Geoquímica - 2ª ed., Madrid, Ediciones Aguilar. 862 p.

QUADRO - I - FOLHELHOS MARINHOS

Nº DE ORDEM	IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	FORMAÇÃO	CONTEÚDO FÓSSIL	IDADE	AMBIENTE DE DEPOSIÇÃO	B ppm	OBS.
1	-FA 07B FAQ 478	PIMENTEIRAS	CHITINOZOA ESPOROMORFOS	NEODEV.	MARINHO	100	
2	-FA 56B FAQ 480	"	CHITINOZOA ESPOROMORFOS, ACRITARCHA	NEODEV EOCARB	"	100	
3	-FF 09 FAQ 484	"	CHITINOZOA ESPOROMORFOS	NEODEV	"	100	
4	-FF 35A FAQ 486	"	CHITINOZOA ESPOROMORFOS, ACRITARCHA	NEODEV EOCARB	"	70	
5	-FF 87A FAQ 488	"	"	NEODEV	"	50	INTERCALAÇÕES DE ARENITO
6	-FF 97 FAQ 968	"	"	NEODEV EOCARB	"	100	
7	-AV 92 FAR 077	"	"	NEODEV	"	100	
8	-FF 98B FAR 079	"	"	"	"	100	
9	-EF 145A FAR 965	"	CHITINOZOA, ESPOROMORFOS ACRITARCHA, TASMANACEAE	"	"	100	
10	-AF 106 FAR 967	"	CHITINOZOA ESPOROMORFOS	"	"	70	
11	-FF 221 FAS 312	"	"	"	"	500	ARGILITO
12	-FA 319C FAU 069	"	CHITINOZOA, ESPOROMORFOS TASMANACEAE	"	MARINHO NERITICO	70	PRESENÇA DE PIRITA
13	-FA 300 FAU 072	"	"	"	"	70	CALCÍFERO SILTOSO RESTOS DE PLANTA
14	-FA 317A FAU 073	"	CHITINOZOA ESPOROMORFOS	"	"	70	SILTOSO RESTOS DE PLANTA
15	-JQ 83A FAQ 114	LONGA	"	NEODEV. EOCARB.	MARINHO	100	
16	-JQ 85E FAQ 117	"	"	NEODEV.	"	100	
17	-PS 2C FAQ 966	"	CHITINOZOA ESPOROMORFOS, ACRITARCHA	NEODEV EOCARB	"	100	
18	-AV 87D FAQ 967	"	"	"	"	100	
19	-PS 2B FAQ 974	"	"	"	"	50	PRESENÇA DE MAT. ORGÂNICA
20	-EH 238 FAR 941	"	CHITINOZOA ESPOROMORFOS	"	"	100	

QUADRO - I (Cont.) - FOLHELHOS MARINHOS

Nº DE ORDEM	IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	FORMAÇÃO	CONTEÚDO FÓSSIL	IDADE	AMBIENTE DE DEPOSIÇÃO	B ppm	OBS.
21	-EH 244A FAR 942	LONGÁ	CHITINOZOA ESPOROMORFOS	DEV.	MARINHO	100	
22	-LA 198 FAR 948	"	CHITINOZOA, ESPOROMORFOS, ACRITARCHA	NEODEV EOCARB	"	100	
23	-LA 197 FAR 949	"	CHITINOZOA, ESPOROMORFOS ACRITARCHA, TASMANCEAE	"	"	100	
24	-LA 195 FAR 950	"	"	"	"	100	
25	-EF 137A FAR 966	"	CHITINOZOA ESPOROMORFOS	"	"	100	
26	-CG 196 FAR 965	"	CHITINOZOA, ESPOROMORFOS, ACRITARCHA, TASMANCEAE	"	"	200	
27	-CG 200 FAR 986	"	CHITINOZOA ESPOROMORFOS	DEVON	"	200	
28	-AO 143 FAR 992	"	CHITINOZOA, TASMANCEAE, ESPOROMORFOS	NEODEV. EOCARB	"	200	
29	-AO 123D FAR 995	"	"	"	"	200	
30	-EH 210 FAS 305	"	CHITINOZOA ESPOROMORFOS	"	"	100	
31	-AS 43 FAS 320	"	CHITINOZOA, ESPOROMORFOS TASMANCEAE, ACRITARCHA	"	"	200	
32	-JR 294B FAS 328	"	CHITINOZOA ESPOROMORFOS	"	MARINHO NERITICO	200	
33	-JP 294A FAS 329	"	CHITINOZOA, ESPOROMORFOS ACRITARCHA, TASMANCEAE	"	"	100	
34	-AO 236 FAS 332	"	CHITINOZOA ESPOROMORFOS	"	MARINHO	20	
35	-EH 200 FAR 940	CABEÇAS	"	NEODEV.(?)	"	100	
36	-EH 188 FAS 304	"	"	"	"	100	
37	-FA 320 FAU 084	P. FOGO	ESPOROMORFOS, ACRITARCHA, TASMANCEAE	" (?)	"	70	
38	-AV 328A FAT 448	PASTOS BONS	PISCES(HOLOSTEI)	NEOTRIASS.	MARINHO, ÁGUAS RASAS, ESTUÁRIO	20	INTECALAÇÕES DE DIABÁSIO
39	-LA 356 FAU 698	CORDA	CONCHOSTRACA, OSTRACODA, ORBICULOIDEA	—	" (?)	20	

QUADRO - II - FOLHELHOS CONTINENTAIS

Nº DE ORDEM	IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	FORMAÇÃO	CONTEÚDO FÓSSIL	IDADE	AMBIENTE DE DEPOSIÇÃO	B ppm	OBS.
1	-AO 161 FAS 333	LONGÁ	ESPOROMORFOS	EOCARB	CONTINENTAL	200	
2	-EL 98 FAR 947	PEDRA DE FOGO	"	EOPERM.	"	70	
3	-LA 182 FAR 951	"	"	"	"	70	
4	-LA 126B FAS 310	"	CHORDATA (INDET.), PISCES ESPOROMORFOS	"	CONTINENTAL AGUA DOCE	20	PLEURACANTHUS
5	-AV 213B FAS 322	"	ESPOROMORFOS	"	CONTINENTAL	100	SEQUÊNCIA CALC./SILEX/SILT
6	-EF 124 FAS 327	"	"	"	"	100	
7	-AV 474 FAU 696	"	CONCHOSTRACA	---	"	30	
8	-HB 49A FAU 708	PASTOS BONS	OSTRACODA	---	"	50	
9	-AV 415A FAU 709	"	"	---	"	100	PRESENÇA DE DIABÁSIO
10	-LA 342 FAU 075	CORDA	CONCHOSTRACA OSTRACODA	NEOJURASS. (?) EOCRET.	"	20	
11	-LA 346 FAU 076	"	CONCHOSTRACA	"	"	30	
12	-LA 376 FAU 700	"	CONCHOSTRACA OSTRACODA	---	"	20	
13	-LA 378 FAU 701	"	CONCHOSTRACA	---	"	20	
14	-AO 127B FAR 993	CODÓ	LAMELLIBRANCHIATA ESPOROMORFOS	EOCRET	"	20	
15	-JR 600A FAU 067	"	OSTRACODA	---	NÃO MARINHO	30	
16	-AF 232A FAU 068	"	ESPOROMORFOS	EOCRET	"	30	
17	-LA 413A FAU 702	"	"	APTIANO	"	200	1000 ppm. Zn 10% Ca, 5% Mg
18	-LA 417 FAU 750	"	OSTRACODA	---	CONTINENTAL	70	
19	-LA 424 FAU 751	"	OSTRACODA CONCHOSTRACA	---	"	50	
20	-EL 216 FAU 752	"	"	---	"	50	

QUADRO III - SILTITOS MARINHOS

Nº DE ORDEM	IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	FORMAÇÃO	CONTEÚDO FÓSSIL	IDADE	AMBIENTE DE DEPOSIÇÃO	B ppm	OBS.
1	-A02C FAQ 122	PIMENTEIRAS	CHITINOZOA ESPOROMORFOS	MESODEV.	MARINHO	20	Fe > 20 %
2	-A02A FAQ 477	"	"	NEODEV.	"	70	
3	-FF111 FAQ 969	"	"	"	"	100	
4	-FF129 FAQ 970	"	CHITINOZOA ESPOROMORFOS ACRI-TARCHA	NEODEV. EOCARB.	"	100	
5	-FF143 FAQ 971	"	CHITINOZOA ESPOROMORFOS	"	"	100	
6	-EL73A FAR 072	"	ESPOROMORFOS	NEODEV.	"	70	ARENOSO
7	-FF96 FAR 078	"	ESPOROMORFOS, ACRI-TARCHA, TASMANACEAE	"	"	100	
8	-EF145B FAR 964	"	ESPOROMORFOS TASMANACEAE	"	"	30	Fe > 20 %
9	-FF180 FAS 311	"	CHITINOZOA, ESPOROMORFOS	"	"	100	
10	-JR134 FAS 330	"	"	"	"	500	
11	-EH314 FAR 943	LONGA'	"	NEODEV. EOCARB	"	100	
12	-AT150 FAR 968	"	"	DEV.(?)	"	70	
13	-AT144 FAR 969	"	"	"	"	70	
14	-AT90A FAR 978	"	"	NEODEV. EOCARB	"	70	
15	-AT83 FAR 979	"	"	"	"	50	
16	-AT81 FAR 980	"	"	"	"	10	Fe > 20 %
17	-AT78B FAR 982	"	"	"	"	70	
18	-AT78A FAR 983	"	CHITINOZOA, ESPOROMORFOS ACRI-TARCHA	"	"	50	MAT. ORGÂNICA
19	-CG192 FAR 984	"	CHITINOZOA, TASMANACEAE ESPOROMORFOS	"	"	100	
20	-CG171C FAR 987	"	CHITINOZOA ESPOROMORFOS	DEV.	"	70	

