PETROGRAFIA E GÊNESE DAS ROCHAS SEDIMENTARES DO APTIANO E ALBO-APTIANO DA BACIA DO ESPÍRITO SANTO

RAUL MOSMANN e CÍCERO DA PAIXÃO PEREIRA
Petróleo Brasileiro S.A., Rio de Janeiro.

ABSTRACT The Aptian and Albo-Aptian intervals are characterized by arkoses and subarkoses on the onshore portion of Espírito Santo Basin. These sandstones were deposited, together with a few shales and limestones, in a fluvial system of low energy. Source rocks were garnet-biotite-granulites which cropped out at the western margin of the basin in an area tectonically active and with high relief. The climate was warm and humid, during most of this time, propitiating a dense vegetation which accumulated partly as coal in the lowermost section.

Sandstones of the Aptian and Albo-Aptian sections are separated by evaporite beds deposited in a restricted environment. Sandstones above evaporites are generally massive, montmorillonitic, and have a greater clay content than those sandstones below, which have a kaolinite matrix and parallel or crossed lamination.

To the south the upper section changes to a carbonate facies deposited in a shallow marine shelf. This facies is composed of algal and pisolitic biosparites and biomicrites with some dolomitized zones. These limestones were deposited by a transgressing sea, advancing from south and east which, after a small regression at the base of the interval, finished by covering all the basin at Albian time.

INTRODUÇÃO O presente trabalho visa fornecer subsídios ao estudo da Bacia Bahia Sul-Espírito Santo, tendo-se em vista que as análises petrográficas aqui apresentadas restringem-se às seções aptianas e albo-aptianas (Cretáceo Inferior) dos poços exploratórios perfurados nas áreas de Caravelas, Conceição da Barra, São Mateus, Nativo e Foz do Rio Doce.

A escolha dessa seção foi motivada não só pela existência de maior número de testemunhos, como também por ser esse intervalo constituído por unidades lito-estratigráficas de ampla distribuição na bacia.

Os dados obtidos e as interpretações preliminares foram feitos por um grupo de geólogos do DEXPRO/DIVEX que participaram do Curso de Petrografia Sedimentar (CPES-I/70) ministrado no SETUP-BA, no período de fevereiro a maio de 1970.

MÉTODO Para esse trabalho, foram utilizadas amostras de 136 testemunhos de nove poços exploratórios, cobrindo seções do Aptiano e Albo-Aptiano das Bacias Bahia Sul-Espírito Santo.

Essa amostragem foi feita em seções dos testemunhos onde ocorreram mudanças litológicas ou com espaçamento de cerca de 2 metros onde a litologia se mostrava uniforme.

Foram obtidas 278 lâminas delgadas predominantemente de clásticos grosseiros e, em menor percentagem, de calcários, para estudo microscópico. Algumas amostras de folhelho e da fração argilosa dos arenitos foram submetidas a análise difratométrica para determinação dos minerais de argila. A interpretação dos difratogramas foi feita por J. R. Fonseca.

A seção de evaporitos constitui objeto de estudo à parte (Netto, 1971).

A composição mineralógica das rochas foi determinada por contagem de pontos, em média 150 pontos por lâmina, expressa em percentagem, utilizando-se a classificação de Folk (1968).

A terminologia e a classificação das rochas carbonáticas estudadas segue aquelas propostas por Folk (1959, 1962).

Estratigrafia — relações regionais A divisão lito-estratigráfica da Bacia Bahia Sul-Espírito Santo foi preliminarmente estabelecida por Alves (1969) fundamentando-se em dados de subsuperfície.

Os poços perfurados nessa bacia situam-se numa faixa paralela à costa (Fig. 1) que se estende desde a área ao norte da cidade de Caravelas até a foz do rio Doce. A maioria desses poços atravessou um corpo de evaporitos que constituem excelente marco estratigráfico na bacia, possuindo ampla distribuição em subsuperfície e apresentando quase sempre as mesmas relações estratigráficas. Alves denominou esses evaporitos de Unidade 3. As unidades situadas abaixo e acima dos evaporitos foram denominadas 2 e 4, respectivamente. A Unidade 2 é do Aptiano e as Unidades 3 e 4 do Albo-Aptiano.

Figura 1 — Seção crono-estratigráfica do Cretáceo Inferior

Recentemente Asmus *et al.* (1971) propuseram uma nova nomenclatura para as unidades lito-estratigráficas da bacia e criaram o Grupo Nativo que compreende as Formações Mariricu e Barra Nova. A Unidade 3 correspondente ao corpo de evaporitos, passou a

constituir o Membro Itaúnas e em substituição à Unidade 4 de Alves, foi criado o Membro São Mateus da Formação Barra Nova (Fig. 2).

O Membro Itaúnas é constituído principalmente por anidrita com alguns leitos de calcário intercalados cuja espessura chega quase a uma centena de metros; não está presente nos poços 2-FRD-1-ES, 2-FRD-2-ES e 1-NO-1-ES. Asmus e Bacoccoli (1969) admitem que o Membro Itaúnas (evaporitos) corresponderia a um intervalo de folhelhos carbonosos no 1-NO-1-ES e de calcários no 2-FRD-1-ES e 2-FRD-2-ES (Fig. 1).

Figura 2 - Ambientes deposicionais do Cretáceo Inferior

Subjacente a esse membro, aparece um pacote de clásticos grosseiros, constituído principalmente de arenitos e algumas intercalações de folhelhos. Ocorre em todos os poços da área, com exceção do 2-FRD-2-ES. Sua espessura é extremamente variável, 5 a 1550 metros. Esse conjunto de rochas e o Membro Itaúnas constituem a Formação Mariricu que está assentada discordantemente sobre o Embasamento.

Superposto ao Membro Itaúnas está o Membro São Mateus, base da Formação Barra Nova, constituído por clásticos grosseiros e leitos de calcário. Essa unidade, de espessura também bastante variável (0 a 700 metros), está ausente no poço 2-FRD-2-ES.

Caráter local **FORMAÇÃO MARIRICU (PARTE SUPERIOR, APTIANO)** *Feições megascópicas* As amostras selecionadas para o estudo petrográfico são predominantemente de arenitos de cores variadas predominando as tonalidades cinza, castanha, amarela e verde.

Foto 1 — Arcócio biotítico, fino, argiloso, laminação paralela sublinhada por concentração de biotita. Pequena falha. Test. 34, 2-N-1-ES, prof. 2 063 m. Foto 2 — Mesma litologia da foto anterior. Acamamento convoluto, passando a laminação paralela e cruzada de canal. Test. 41, 2-N-1-ES, prof. 2 103 m. Foto 3 — Arcócio argiloso, grosseiro a conglomerático, matriz montmorilonítica, seleção pobre. Mancha de óleo na base. Test. 42, 2-CB-1-ES, prof. 1 555 m. Fotomicrografia 1 — Arcócio formado por grãos de areia média a grossa, mal selecionados, angulares, baixa esfericidade, empacotamento frouxo. Matriz argilosa montmorilonítica. Lâmina 70-152; poço 2-CB-1-ES, Test. 36, 1 486 m. Luz analisada, 22 X

Fotomicrografia 2 — Arcócio biotítico com matriz caulínítica. Aspecto sal-e-pimenta da caulinita — Lâmina 70-301; poço 1-SM-1-ES, Test. 16, 1 495 m. Luz analisada, 68 X. Fotomicrografia 3 — Detalhe aumentado da foto anterior mostrando a caulinita em agregados vermiculares, aparentemente recrystalizada. Luz analisada, 308 X. Fotomicrografia 4 — Agregados vermiculares de caulinita autigênica, parcialmente ilitizada, formada nos poros do arcócio. Lâmina 70-165; poço 2-CB-1-ES, Test. 42, 1 555 m. Luz analisada, 308 X. Fotomicrografia 5 — Grão de ortoclásio mostrando crescimento secundário com orientação óptica diferente da do núcleo. Lâmina 70-85; poço 2-N-1-ES, Test. 54, 2 921 m. Luz analisada, 68 X

Estruturas sedimentares foram observadas em algumas amostras, ocorrendo laminação paralela e cruzada, microfalhas e dobras convolutas (Fotos 1 e 2).

Características microscópicas Os arenitos são predominantemente de granulação fina a média (média das medianas em 75 amostras — 0,378 mm), classificação pobre a moderada ($\sigma > 0,5 \Phi$), grãos de quartzo angulares e subangulares e, geralmente, com esfericidade baixa. A fábrica é predominantemente homogênea.

Das lâminas estudadas, cerca de 66 % apresentam empacotamento frouxo, ocorrendo ainda os tipos normal e fechado.

A maioria das amostras apresenta sinais de orientação expressa por biotita e minerais alongados.

Mineralogia descritiva Pela ordem de abundância, quartzo, feldspatos, micas, argila e calcita são os principais constituintes dos arenitos estudados (Fig. 3).

O quartzo constitui em média 39 % dos componentes e, de acordo com a classificação descritiva de Folk (1968) temos: quartzo imediato 80 %, quartzo ondulante 12 % e policrostalinio 8 %. Bastante freqüente é a presença de inclusões e vacúolos nos grãos de quartzo, sendo os últimos mais freqüentes que os primeiros. As inclusões mais comuns são de biotita, ocorrendo ocasionalmente de turmalina, zircão, apatita, rutilo, granada, pirita e clorita, sendo as quatro últimas mais raras.

Os feldspatos representam o segundo constituinte mais abundante, totalizando em média, cerca de 26 % dos componentes. A predominância é de ortoclásio e subordinadamente o microclínio e, em pequena percentagem os plagioclásios. Alguns fragmentos de rochas granítico-gnáissicas foram observados. Entretanto ocorrem em proporções muito pequenas e foram incluídos, para efeito de classificação, no pólo dos feldspatos. Belos exemplos de crescimento secundário foram observados em grãos de feldspatos (Fotomicrografia 5). Esses crescimentos aparecem sem continuidade óptica, límpidos e inalterados, em oposição ao núcleo que geralmente está vacuolizado, ilitizado ou caulinizado. O filme que delimita o núcleo do crescimento, parece ser constituído de material argiloso e o crescimento secundário deve ter sido formado após a deposição do sedimento, pois apresenta contornos bastante angulosos sem evidências de retrabalhamento.

Os feldspatos, em grãos angulares, ocorrem frescos e alterados. As alterações, de intensidade bastante variável, pela ordem de freqüência são: vacuolização, caulinização e ilitização. A mais comum é a vacuolização (Folk, 1968) que imprime aos grãos de feldspato um aspecto nebuloso e uma coloração acastanhada. Ocorre, às vezes, em um mesmo grão, associada à caulinização e à ilitização, ou a uma delas. Às vezes, a caulinização aparece incipiente e, às vezes, bastante intensa. A ilitização, não raro, apresenta-se também bem desenvolvida e passando a sericita.

As micas, representadas pela presença quase absoluta da biotita, contribuem com cerca de 12 % do total dos constituintes. Geralmente caracterizam os planos de acamamento dos arenitos e siltitos, aparecendo também, às vezes, sem qualquer orientação. Comumente estão deformadas pela compactação, aparecendo contorcidas em torno dos grãos de quartzo e feldspato. A biotita comumente aparece alterada, principalmente para hematita, clorita e ilita.

As argilas, relativamente abundantes, constituem em média 11 % dos arenitos da seção (média de 120 amostras, de 5 poços, com intervalo de confiança de 1 % a 22 %, ao nível de confiança de 95 %). A caulinita é a argila predominante na Formação Mariricu, com cerca de 63 % (Fotomicrografias 2 e 3), aparecendo em seguida a montmorilonita e ilita subordinadas (Fig. 3). A caulinita ocorre tanto na fração detrítica, constituindo a matriz, como também autigênica, aparecendo em massas vermiculares preenchendo os

Figura 3 — Diagrama composicional dos arenitos

vazios das rochas. A montmorilonita e a illita ocorrem como fração detrítica e também como produto de alteração das biotitas e feldspatos (ilitização). A identificação de parte das argilas foi feita através de observações ao microscópio e posteriormente complementada com análises de raios X. Essas análises revelaram que, além da caulinita, montmorilonita e illita, ocorrem também interstratificados (10-14 m) e alguma clorita.

O cimento, que, em média, aparece com cerca de 10% do total dos constituintes das rochas, é predominantemente calcítico, constituído por calcita espática, mais raramente dolomita, aparecendo, também, alguma anidrita e gipsita. Grãos de quartzo e de feldspatos com feições de corrosão pela ação do cimento calcítico não são raros, aparecendo mesmo com substituição parcial pela calcita.

Os minerais acessórios perfazem cerca de 3% do total e são representados predominantemente por pirita, matéria carbonosa, carvão e granada, em ordem decrescente de ocorrência. Além desses, foram observados leucoxênio, zircão, rutilo, turmalina, hematita, limonita, apatita, epidoto e colofano. A granada, ocasionalmente, aparece em porcentagens anormalmente altas em algumas lâminas.

Rochas — Classificação Considerando o diagrama ternário de Folk (1968), cerca de 78% das rochas são arcósios (Fig. 3) e as demais são subarcósios.

Quanto à maturidade textural, cerca de 70% desses arenitos são imaturos, 28% são submaturos e 2% maduros.

Assim, os arenitos constituintes da Formação Mariricu são: arenitos finos a médios; arcósios biotíticos, imaturos, calcíticos.

Formação Barra Nova — Membro São Mateus — (Albo-Aptiano)

Feições megascópicas As amostras estudadas desse membro constam de arenitos de coloração também variável; amarelados, cinza, avermelhados e castanhos.

Os arenitos são, em geral, maciços, ocorrendo ocasionalmente laminação cruzada e paralela.

Características microscópicas De um modo geral, a granulometria desses arenitos é de areia grossa a média (média das medianas em 22 amostras — 0,454 mm), classificação pobre a moderada ($\sigma > 0,5 \Phi$), grãos de quartzo angulares a subangulares e esfericidade geralmente baixa.

A fábrica é predominantemente homogênea. Ocasionalmente aparecem fenômenos de bioturbação associados a tubos de vermes.

Cerca de 80% das lâminas estudadas exibem empacotamento frouxo, as demais, empacotamento normal.

Poucas amostras apresentam sinais de orientação, que é sempre expressa por lamelas de biotita e minerais alongados.

Mineralogia descritiva Também no Membro São Mateus da Formação Barra Nova, a predominância de quartzo sobre os demais constituintes é conspícua. Em ordem de abundância, depois do quartzo, aparecem a matriz argilosa, os feldspatos, cimento, micas e os acessórios (Fig. 3).

O quartzo compõe em média cerca de 44% das rochas da seção. Conforme a classificação descritiva de Folk, já citada anteriormente, o tipo quartzo imediato é predominante, atingindo a 92%, o quartzo ondulante aparece com 6% do total e o tipo policristalino com 2%.

Também aqui, os vacúolos e inclusões nos grãos de quartzo são muito freqüentes; vacúolos esparsos, com distribuição irregular às vezes constituindo “cadeias de poeira”,

são notáveis. Os micrólitos são menos frequentes e são constituídos predominantemente por biotita e zircão, aparecendo também, em proporção bem menor, a turmalina, moscovita e apatita. Grãos de quartzo sendo substituídos por calcita espática foram raramente observados.

Cerca de 18 % das rochas são constituídos de feldspatos, com predominância de ortoclásio e subordinadamente o microclínio. Os plagioclásios aparecem em pequena proporção, cerca de 4 %. Os fragmentos de rochas granítico-gnáissicas também ocorrem nesse membro e atingem 2 % do total. Como se disse anteriormente, para efeito de classificação, esses fragmentos de rocha foram incluídos no polo dos feldspatos. Os feldspatos ocorrem em grãos angulares, frescos e alterados. As alterações mais frequentes são vacuolização e ilitização e, mais raramente, caulinitização. Tanto a vacuolização como a ilitização ocorrem com intensidade variável e muitas vezes os grãos apresentam transição de ilitização para sericitização.

As micas, entre as quais a biotita predomina quase totalmente, representam cerca de 4 % das rochas. Em algumas amostras aparecem mais ou menos orientadas e concentradas nos planos de acamamento dos sedimentos, ou, então, dispersas sem qualquer orientação juntamente com os demais constituintes. Comumente se apresentam deformadas e contorcidas em torno dos grãos de quartzo e feldspato por efeito de compactação. Aparecem geralmente inalteradas ou alteradas em hematita, ilitizadas ou cloritizadas.

As argilas, aqui mais frequentes que na Formação Mariricu (Fig. 3), perfazem em média 29 % dos arenitos (média de 64 amostras de 3 poços, com intervalos de confiança de 14 % a 44 %, ao nível de confiança de 95 %). A predominância é de montmorilonita e, subordinadamente, ilita e caulinita (Fotomicrografia 1). A caulinita ocorre como produto diagenético, autigênica, preenchendo os poros. Nesse caso, aparece límpida e em cristais vermiculares (Fotomicrografia 4).

A montmorilonita e ilita ocorrem como matriz detrítica e, em parte, possivelmente, como produto de alteração da biotita. A ilita ocorre também substituindo os agregados vermiculares de caulinita e preenchendo veios que atravessam a matriz (Fotomicrografia 4).

O cimento constitui cerca de 5 % do total das rochas dessa seção. É constituído predominantemente por calcita espática, ocorrendo também substituição de calcita por dolomita em cristais romboédricos. O cimento calcítico parece ocorrer em duas fases. Uma, pré-compactação, na qual a calcita espática aparece concentrada em áreas de empacotamento frouxo e a fração detrítica mergulhada nessa calcita espática. A outra, pós-compactação, na qual a calcita espática e, às vezes, dolomita de substituição aparecem preenchendo os poros da rocha e mais raramente substituindo grãos de feldspato e quartzo.

Ocorre também calcita micrítica, em parte recristalizada, aparentemente depositada como matriz (lama).

Os minerais acessórios contribuem com 1 % do total dos constituintes. A granada é o mineral mais frequente, ocorrendo algumas vezes em concentrações locais. Em ordem decrescente de ocorrência aparecem ainda: pirita (associada ou não a matéria orgânica), leucoxênio (provavelmente como produto de alteração da ilmenita e da biotita), hematita, zircão e rutilo.

Rochas — Classificação Ainda de acordo com o diagrama composicional de Folk (1968), Fig. 3, a predominância é de arcósios, cerca de 82 %, e o resto subarcósios.

Apenas um caso anômalo foi observado no testemunho n.º 1 do poço 1-SM-1-ES. É uma rocha formada por nódulos de calcário imersos numa matriz montmorilonítica intensamente pigmentada por óxido de ferro, associada com areia fina a média. Representa, provavelmente, produto de alteração de solos.

Todas as amostras, à exceção de uma submatura, são imaturas texturalmente.

Portanto o tipo mais comum de rocha na seção é um arenito médio a grosseiro, argiloso; arcócio imaturo levemente biotítico.

Variações mineralógicas na estratigrafia A composição mineralógica dos arcósios e subarcósios das seções do Aptiano e Albo-aptiano, ou seja, abaixo e acima da anidrita, é qualitativamente constante. As variações observadas são de caráter quantitativo, principalmente em relação aos minerais de argila.

A caulinita, por exemplo (Fig. 3), é de ocorrência bem mais freqüente no Aptiano, diminuindo sensivelmente no Albo-Aptiano. Inversamente, a montmorilonita e a illita são mais abundantes na seção do Albo-Aptiano. Além disso, existe maior quantidade de argilas nessa seção.

As micas e o cimento carbonático predominam na seção abaixo da anidrita.

Assim, enquanto os arcósios e subarcósios situados abaixo da anidrita são menos argilosos, mais calcíticos e mais micáceos, os demais, situados acima do pacote de anidrita, são mais argilosos, menos calcíticos e menos micáceos. As interpretações para essas variações são discutidas mais adiante, no capítulo relativo ao ambiente deposicional.

Petrografia dos calcários Os únicos calcários descritos na Formação Mariricu estão associados com a zona evaporítica, no topo da seção. São dolomitos de substituição, fino a grosseiramente cristalinos, arenosos.

A fração terrígena é geralmente constituída de areia argilosa com composição de arcócio, idêntica aos arenitos associados.

A dolomita substituiu provavelmente uma lama micrítica, já originalmente dolomítica, depositada no ambiente hiper-salino da época. É conspícua a ocorrência de traços de anidrita nesses calcários; ocasionalmente ocorre calcedônia com elongação positiva, o que, segundo Pittman e Folk (1970), é indicativo de origem por substituição de evaporitos.

Na Formação Barra Nova, os calcários ocorrem principalmente na base do Membro São Mateus — logo acima das anidritas do Membro Itaúnas. Por outro lado, constituem primordialmente o Membro Regência (fácies carbonática), que transgride sobre o Membro São Mateus.

Os calcários da base do Membro São Mateus são micritos, microesparitos e biomicritos com calcíferas e ostracodas, piritosos, em parte arenosos, intercalados com calcarenitos médios, arenosos, compostos de biosparitos de algas vermelhas. A fração terrígena, arenosa, tem composição arcosiana. Ocorrem também arenitos finos, compostos de arcósios imaturos, fossilíferos e dolomíticos. Os fósseis aí são representados por fragmentos de algas vermelhas.

Os calcários do Membro Regência, que ocorrem no topo do Albo-Aptiano nas áreas de Caravelas e Conceição da Barra, são constituídos por micritos arenosos, recristalizados, com fração terrígena de areia fina e argila, de composição arcosiana e de biosparitos arenosos, mal selecionados, constituídos de fragmentos de pelecípodos, gastrópodos, equinodermas, foraminíferos bentônicos e ostracodas. Ocorrem associados arenitos de granulção fina a grosseira, classificados como arcósios imaturos, fossilíferos e dolomíticos, com restos de pelecípodos, gastrópodos e equinodermas.

Os calcários testemunhados no topo do Membro Regência, na área da foz do rio Doce, são calcarenitos grosseiros, mal selecionados, constituídos de pisosparitos de algas, fossilíferos; intrasparitos fossilíferos, arenosos; e intrasparitos pisolíticos, peletíferos e oolíticos, fossilíferos, no poço 2-FRD-2-ES. Os fósseis mais comuns são algas vermelhas, gastrópodos, pelecípodos, equinodermas, algas verdes e foraminíferos bentônicos. No poço

2-FRD-1-ES, ocorrem pelmicritos e pelmicroesparitos passando a pelsparitos, arenosos, com calcíferas, ostracodas e foraminíferos bentônicos. Subordinadamente ocorrem calcirruditos compostos de biosparitos idênticos aos do poço 2-FRD-2-ES.

Ambos os poços testemunharam também os calcários da base da seção. No poço 2-FRD-1-ES ocorrem calcirruditos bem selecionados, compostos de biosparitos de algas, pisolíticos e dolomitizados, semelhantes aos do topo da seção. Os fósseis são algas vermelhas, gastrópodos, pelecípodos e equinodermas. No poço 2-FRD-2-ES a seção é representada por dolomitos desde fino até grosseiramente cristalinos, originados pela substituição de calcários oolíticos e de dismicritos. Ocorrem restos de colofano.

Área-fonte A composição mineralógica dos arenitos estudados, arcósios e subarcósios, indica uma área-fonte constituída de rochas com uma composição granítica a granodiorítica, ricas em biotita. A presença de granada em quantidades apreciáveis e a ocorrência, nas frações mais grosseiras, de fragmentos de granada, biotita e granulito indicam ter sido a fonte constituída por esse tipo de rocha metamórfica, de alto grau e caráter ácido.

Os poços perfurados na área, que testemunharam o embasamento Pré-Cambriano, revelaram o mesmo tipo de rocha, com a seguinte composição média: quartzo imediato, 15%; quartzo ondulante, 18%; ortoclásio e microclínio, 27%; plagioclásio andesina (An_{33}), 18%; biotita, 17%; e granada, 5% (testemunhos n.ºs 4, 5 e 6 do 2-FRD-2-ES e n.º 66 do 2-N-1-ES). A estrutura metamórfica — gnaissosidade — dessas rochas é já pouco visível, e o caráter quase homogêneo indica metamorfismo de alto grau (fácies granulito). O caráter plutônico das rochas da área-fonte indica que a desnudação do Escudo Pré-Cambriano Brasileiro já era intensa à época da deposição dos arenitos em questão — Cretáceo Inferior.

O tectonismo que, como se verá adiante, soergueu a área-fonte e produziu a formação dos espessos pacotes arcosianos, contribuiu ainda mais para expor as raízes profundas do Escudo Brasileiro.

A polaridade composicional dos arenitos (Fig. 3) mostra a existência de uma única litologia — biotita granulito, servindo como fonte para os sedimentos.

Os dados até aqui disponíveis sobre a Bacia do Espírito Santo permitem concluir que os sedimentos arcosianos são provenientes da borda oeste da bacia, onde atualmente ocorre a litologia considerada como rocha-mãe. Asmus e Bacoccoli (1969), por outras linhas de evidências, já haviam chegado a essa conclusão.

Os mesmos autores e, também, Asmus e Ponte (1970) concluem que o tectonismo que soergueu as áreas-fonte da borda oeste ocorreu com maior intensidade no pré-Aptiano, sendo subordinado durante o Aptiano e Albiano. Tal diminuição de atividade tectônica teria permitido, inclusive, o desenvolvimento de extensa discordância regional que aplainou o relevo tectônico pré-existente.

Os dados aqui apresentados permitem divergir, em parte, dessa interpretação.

Os arenitos da seção pré-aptiana (2-N-1-ES), assim como os da seção aptiana (2-N-1-ES, 1-SM-1-ES, 1-N-2-ES, 1-NO-1-ES e 2-C-1-BA), são composicionalmente idênticos; é impossível distingui-los com base em critérios litológicos, sedimentológicos e de perfil elétrico. Caracterizam-se por extrema imaturidade mineralógica representada pela abundância de minerais instáveis como feldspatos — arcósios e subarcósios, biotita e granada. Tal associação comprova a continuidade da atividade tectônica na área-fonte e sugere sedimentação contínua nas áreas onde a seção aptiana ocorre sobre a seção pré-aptiana (e.g. 2-N-1-ES). Mais ainda, a composição mineralógica dos arcósios e subarcósios do Albo-Aptiano (acima da zona de evaporitos) indica que, embora outras condições tenham mudado, a atividade tectônica da área-fonte continuava intensa. Essas rochas caracteri-

zam-se igualmente por uma baixa maturidade mineralógica (áreas do 2-CB-1-ES, 2-N-1-ES e 2-C-1-BA).

Durante o tempo da deposição das camadas evaporíticas (parte superior do Aptiano) houve provavelmente uma diminuição da atividade tectônica na fonte, acompanhada de drástica mudança climática.

Pode-se concluir que, ao menos na borda oeste da Bacia do Espírito Santo, ocorreu intensa deformação vertical desde o pré-Aptiano (Wealden) até o Albo-Aptiano, interrompida ou diminuída brevemente no topo do Aptiano. Essa deformação vertical criou relevos acentuados na área-fonte, que propiciaram a erosão e deposição rápidas de espessos pacotes de sedimentos mineralogicamente imaturos.

Durante o pré-Aptiano e a parte inferior do Aptiano, a deformação vertical foi acompanhada de subsidência acentuada, porém localizada em baixos estruturais, como o Baixo de Barra Nova, o de Mucuri (?) e o baixo situado entre o Alto de Nativo e a borda oeste da bacia (Fig. 1). As outras áreas estavam sendo erodidas e funcionavam como áreas-fonte, ou não recebiam deposição.

No final do Aptiano cessou ou diminuiu a movimentação de blocos dentro da bacia, embora a borda oeste continuasse com relevo acentuado. A bacia passou então a subsidir como um todo, provavelmente basculando-se para leste, propiciando a deposição de arcósios tanto nos baixos como nos altos estruturais pré-existentes. Formou-se então um lençol contínuo de sedimentos que assoreou a bacia, nivelando-a. Essa situação é bem evidenciada na seção crono-estratigráfica da Fig. 1. Portanto, nesse tempo, a sedimentação extravasou dos baixos estruturais e transgrediu sobre áreas antes em desnudação, ampliando os limites da bacia.

Aproximadamente na passagem do Aptiano para o Albo-Aptiano deu-se a primeira ingressão marinha na bacia, que, associada a condições de clima semi-árido e de estabilidade tectônica, permitiu a deposição de uma camada de anidrita (na área estudada) com grande extensão regional. Essa camada ou zona de anidrita, com espessura média de 50 metros, é conhecida desde a área de Nativo até a de Caravelas, constituindo-se em excelente camada-chave e marco de tempo. Netto (1971) apresenta um estudo petrográfico detalhado dessa sequência.

A deposição de evaporitos é interrompida no início do Albo-Aptiano, como resultado da nova reativação das áreas-fonte na borda oeste da bacia. É possível que haja uma relação estreita entre essa movimentação tectônica e o desaparecimento das restrições que causaram a deposição dos evaporitos, conjuntamente com diminuição da aridez climática.

O soerguimento das bordas, acompanhado de subsidência geral da bacia, originou novamente espesso pacote de arcósios e subarcósios que constituem o Albo-Aptiano, em sua maior parte. A litologia da área-fonte continuava a mesma, pois a composição mineralógica essencial dos arenitos é similar à dos arenitos do Aptiano.

A deposição na bacia foi generalizada, tendo havido formação de pacotes com espessura idêntica em áreas que anteriormente tinham comportamento estrutural diferente. Essa relação é mostrada na Fig. 1, que evidencia ainda a mudança de uma fácies arenosa para uma fácies carbonática, em direção ao sul (área da foz do rio Doce). Essa mudança de fácies no intervalo crono-estratigráfico do Albo-Aptiano sugere que, nesse tempo, o tectonismo era mais ativo na porção centro-norte da borda da bacia, com relevos acentuados na área-fonte; em direção ao sul o relevo diminuía gradativamente, permitindo que se desenvolvesse na área da foz do rio Doce, uma plataforma de deposição carbonática.

Essa fácies carbonática transgrediu, no tempo, em direção ao norte, indicando que a atividade tectônica também cessava ao tempo do Albiano, causando diminuição de

relevo nas bordas da bacia e permitindo que as áreas-fonte fossem sendo gradativamente afogadas pela transgressão marinha.

Ambiente deposicional Os arcósios depositados no Aptiano (Fotomicrografia 1) caracterizam-se por um teor moderado de matriz argilosa (média de 11 %) e sua fração arenosa é mal selecionada ($\sigma > 0,5 \Phi$); a mediana está em torno de 0,378 mm. São, portanto, arenitos textualmente imaturos (Folk, 1951). Mostram em geral laminação paralela, laminação cruzada de canal e laminação convoluta, além de ótima orientação de partículas alongadas, como lamelas de biotita, grãos de quartzo e feldspato e fragmentos de carvão. À exceção de restos vegetais carbonizados, são, em geral, afossilíferos.

Os folhelhos associados são micáceos de elevada fissilidade, laminados, íliticos ou montmoriloníticos a cauliníticos.

Essas características indicam deposição por correntes unidirecionais, em ambiente continental, ou seja, por um sistema fluvial. Os arenitos representam os depósitos de calha e os folhelhos intercalados e subordinados correspondem aos depósitos de planície de inundação. Os conglomerados, que ocorrem em alguns poços como intercalações nos arenitos, ou na base da seção, podem representar as extremidades de depósitos de piemonte, tipo leque aluvial, que certamente ocorrem junto às maiores falhas limitantes da bacia.

O teor de argila desses arenitos sugere que os rios estavam sobrecarregados de detritos e, embora tivessem capacidade para transportar areia, lama e até mesmo cascalho, não tinham competência para lavar a argila de entre os grãos.

Por outras evidências já discutidas, pode-se afirmar que a deposição desses arenitos foi rápida, produzida por subsidência constante da bacia, associada a soerguimento e relevo acentuado nas bordas. Pode-se imaginar que essa situação geomórfica produziria uma drenagem que despejaria na bacia grandes quantidades de sedimentos. Após a quebra de gradiente no sopé dos leques aluviais, a carga sedimentar seria ainda considerável, mas o gradiente pequeno, e os rios transportariam e depositariam esse material, sem conseguir separá-lo em classes de tamanho.

As únicas rochas químicas intercaladas nessa seção, que foram testemunhadas, ocorrem cerca de 50 metros abaixo da zona de anidrita. São representadas por dolomitos de substituição, arenosos, de cristalinidade fina a média, com alguma anidrita, nos poços 2-C-1-BA* e 2-N-1-ES. Nesse último ocorre ainda uma zona de arcósios com cimento de anidrita, cerca de 50 metros abaixo do corpo principal de anidrita. Também no poço 1-SM-1-ES ocorre uma camada de anidrita, com cerca de 2 metros de espessura, intercalada nos arcósios, a 25 metros abaixo da anidrita principal. Ocorre também dolomito arenoso, grosseiramente cristalino.

Essas ocorrências representam as primeiras manifestações da deposição químico-evaporítica que passou a predominar no fim do Aptiano e que deu origem à "zona de anidrita".

Seção Albo-Aptiana Os arenitos amostrados que compõem essa seção, nos poços 2-C-1-BA, 2-CB-1-ES, 2-N-1-ES, e parte do 2-FRD-1-ES e 2-FRD-2-ES possuem elevado teor de matriz argilosa (média de 29 %) e são extremamente mal selecionados ($\sigma > 0,5 \Phi$).

São em geral mais grosseiros que os arenitos do Aptiano — mediana em torno de 0,454 mm, e apresentam-se geralmente maciços e com pouca orientação dos grãos alongados. Raras vezes são visíveis laminações paralelas e cruzadas, muito tênues. Aparentemente são afossilíferos.

As rochas pelíticas associadas são em geral lamitos* arenosos, maciços, sem qualquer estrutura orientada.

*Lamito é tradução livre de *mudstone*

Na porção média da seção albo-aptiana, as litologias apresentam-se com cores vermelho-acastanhado a castanho-avermelhado, em parte variegadas, indicando condições de oxidação intensa. Nas porções inferior e superior, predominam as cores cinza e cinza-esverdeado.

Do ponto de vista textural, os arenitos dessa seção não diferem grandemente daqueles do Aptiano. Entretanto os dados disponíveis concentram-se quase que exclusivamente nos poços 2-C-1-BA e 2-CB-1-ES. Pelo menos para esses dois locais, pode-se postular um ambiente deposicional semelhante àquele dos arenitos do Aptiano. Isto é, deposição num sistema fluvial, em calhas de rios e planícies de inundação tendo os rios menor capacidade de seleção do material transportado. O caráter oxidado dos sedimentos indica que a deposição foi predominantemente subaérea, provavelmente em regiões de pouca vegetação.

É possível que para sul e para leste dessa região encontre-se uma fácies depositada em ambiente transicional a marinho franco, embora os dados disponíveis não permitam fazer tal inferência com o uso da petrografia.

Essa suposição decorre da observação da seção da Fig. 1 e da própria história deposicional da área. A seção mostra que, para o sul, o intervalo crono-estratigráfico torna-se mais e mais carbonático, até atingir-se o poço 2-FRD-2-ES, onde os calcários dominam inteiramente a seção.

Esses calcários, que formam a maior parte da seção na área da foz do rio Doce, e que ocorrem no topo da seção nas áreas de Nativo e São Mateus, constituem-se em calcarenitos e calcirruditos aloquímicos, espáticos, com intercalações de calcários micríticos e dolomitos de substituição, todos com abundante fauna e flora marinha, como foraminíferos, equinodermas e algas vermelhas.

Mais para o norte (áreas de Conceição da Barra e Caravelas), ainda no topo da seção, esses calcários gradam para folhelhos, siltitos e arenitos calcíferos, intensamente bioturbados, com restos de tubos de vermes e pelecípodos marinhos (*Inoceramus* sp.).

Portanto a porção superior da seção albo-aptiana de Nativo (no mínimo) para o norte e quase toda a mesma seção na área da foz do rio Doce foram depositadas num ambiente marinho raso, próximo à costa, ora agitado, ora mais protegido. Essa deposição deu-se durante uma transgressão que progrediu do sul e, provavelmente, do leste.

A porção inferior da seção albo-aptiana, imediatamente acima da "zona de anidrita", apresenta uma série de intercalações pelíticas e carbonáticas que tende a se espessar em direção ao sul, fundindo-se com a porção superior na área da foz do rio Doce.

Essas intercalações são constituídas de arenitos como já descritos, porém de cor cinza a cinza-esverdeado, folhelhos e siltitos também de tonalidades esverdeadas e de calcarenitos com algas vermelhas (2-CB-1-ES) e biomicritos com ostracodas e calcisferas (2-CB-1-ES e 2-BM-1-ES). Nos demais poços, não há testemunhagem desse intervalo, embora tenham sido descritos calcários oolíticos no poço 1-SM-1-ES.

Pode-se, por isso, considerar essa porção inferior do Albo-Aptiano como o resultado de deposição em ambiente marinho, predominantemente lacustre, em parte litorâneo e, talvez, nerítico.

Em síntese, a história deposicional do Albo-Aptiano na área estudada seria (Fig. 2):

- 1) Transgressão marinha generalizada no fim do Aptiano, associada à formação de restrições e condições de clima semi-árido, originando os evaporitos.
- 2) Reativação das áreas-fonte, provocando grande influxo de sedimentos na bacia, cuja deposição causou a progradação da linha de costa e conseqüente regressão do mar (porção inferior da seção); na área da foz do rio Doce continuava a deposição marinha.

3) Continuação da deposição (porção média da seção) com início da diminuição de relevo na área-fonte; depósitos fluviais nas áreas de Caravelas e Conceição da Barra, provavelmente transicionais (litorâneo e deltaico) em São Mateus e Nativo e marinho raso na área da foz do rio Doce.

4) Cessação do influxo de sedimentos, propiciando o avanço do mar em nova transgressão marinha e a deposição de rochas carbonáticas (porção superior da seção) nas áreas de Nativo e para o norte.

A seção carbonática da área da foz do rio Doce, embora pouco testemunhada nos dois poços aí existentes, revela-se constituída predominantemente por pisosparitos de algas, fossilíferos, biosparitos de algas, intrasparitos e alguns oosparitos, mal selecionados a bem selecionados, intercalados com biomicritos, pelmicritos e micritos fossilíferos com foraminíferos, calcisferas e ostracodas, em parte dolomitizados. Essa litologias indicam que tal seção foi depositada em ambiente marinho, em região de plataforma carbonática, próximo à costa, com alternância de níveis de energia: águas calmas — rochas micríticas; águas moderadamente agitadas — calcarenitos mal selecionados; e águas agitadas — oosparitos e calcarenitos bem selecionados.

A seção carbonática do poço 2-FRD-2-ES é colocada inteiramente acima da “zona de anidrita” pelo fato de o último testemunho aí cortado (17 metros acima do embasamento) ser constituído, em parte, por calcário oolítico dolomitizado.

Clima Na seqüência de arcósios do Aptiano foi constatada a presença de restos de plantas carbonificadas e fragmentos de carvão nos arenitos, com poucas intercalações de leitos de carvão. Os arenitos são, em geral, de cor cinza, embora ocorram arenitos e folhelhos com diferentes tonalidades de castanho e vermelho.

Tais observações mostram que, nesse tempo, houve condições para o desenvolvimento de uma vegetação mais ou menos densa que, nas áreas mais baixas da planície aluvial, algo pantanosas, decompunha-se, produzindo um ambiente ácido e redutor. Os óxidos de ferro que eram trazidos da fonte eram reduzidos, o que resultava na descoloração dos sedimentos.

Entre os indicadores paleoclimáticos das rochas sedimentares clásticas, encontram-se os feldspatos através do tipo e intensidade de sua alteração. Os arcósios do Aptiano contêm misturas variáveis de feldspatos angulares, frescos e intensamente alterados. As alterações principais são vacuolização (Folk, 1968), sericitização e caulínização. Essa associação é indicativa, segundo Krynine (1950) e Folk (1968), de condições de relevo acidentado numa área-fonte submetida a intemperismo químico moderado a intenso. O clima seria de tipo intermediário entre tropical e temperado, com pluviosidade em torno de 1 000 mm/ano, temperatura média de 20°C e duas estações bem definidas (Milot, 1964).

Nessas condições, ocorre lixiviação parcial das alterações na rocha-fonte, havendo liberação de óxidos de ferro, sílica e alumina, porém restando ainda minerais não alterados (feldspatos e micas, além do quartzo). As argilas resultantes do intemperismo são a caulinita, montmorilonita ou ilita, dependendo das condições locais de lixiviação.

O exame de dois seixos de granada biotita granulito, testemunhados no poço 2-N-1-ES, mostra essas diferenças de alteração, ainda na rocha-mãe. No primeiro, a biotita, que é originalmente castanho-avermelhado, encontra-se totalmente descolorida para cores verde a verde pálido, em parte cloritizada, indicando perda de Fe, possivelmente Ti e K em parte. Os feldspatos estão intensamente caulinizados, tanto os potássicos como os sódico-cálcicos. Observa-se também sericitização parcial dos plagioclásios. A granada está intacta.

O segundo seixo, menos alterado, mostra apenas uma incipiente sericitização dos feldspatos, ao longo de microfissuras. A biotita, no entanto, já começa a liberar Fe, que se deposita como limonita preenchendo todas as fraturas existentes na rocha.

O estudo da composição dos minerais de argila de uma seqüência sedimentar pode fornecer, também, importantes evidências paleoclimáticas. Essas evidências podem, no entanto, ser mascaradas pelas mudanças diagenéticas a que os minerais de argila são suscetíveis.

Os dados da mineralogia das argilas aqui discutidos são, em sua maioria, obtidos ao microscópio, com apenas algumas análises difratométricas realizadas em amostras dos poços 2-N-1-ES e 2-CB-1-ES. Por isso essas interpretações devem ser tomadas com reservas.

Observou-se que a fração argilosa dos arcósios do Aptiano é composta essencialmente de caulinita, com alguma montmorilonita (M_{14} e M_{12}), ilita e interestratificados (10–14 m). Na parte mais inferior da seção, ocorre também clorita. A caulinita, ao microscópio, apresenta-se em agregados vermiculares bem desenvolvidos (Fotomicrografias 2 e 3), evidenciando um processo de formação ou transformação diagenético (Millot, 1964).

Os folhelhos e siltitos finos intercalados são constituídos, em grande parte, por montmorilonita (M_{12} e M_{14}) e, subordinadamente, por caulinita e ilita. Na base da seção a montmorilonita dá lugar à ilita e à clorita.

Os folhelhos e siltitos, por serem muito menos permeáveis que os arenitos, podem fornecer melhores evidências da composição do material original, menos modificada pela diagênese, conforme Glass, Potter, Siever (1956), Shelton (1964) e Millot (1964). Conclui-se assim que a caulinita presente nos arenitos é, em grande parte, um produto diagenético. Ela deve ter-se formado pela lixiviação, em meio ácido, da montmorilonita e ilita originais. Essa lixiviação encaixa-se perfeitamente no ambiente deposicional acima proposto, onde a putrefação da matéria vegetal, em ambiente algo pantanoso, aumentaria a acidez das águas percolantes. A caulinitização da matriz argilosa foi um fenômeno diagenético, contemporâneo com a deposição.

A composição das argilas originais, indicada pela análise dos folhelhos, sugere que a área-fonte era recoberta por solos nos quais a montmorilonita predominava, acompanhada de caulinita e alguma ilita. Essa composição dos solos da área-fonte é compatível com as condições climáticas inferidas e indica ainda drenagem ineficiente nas áreas elevadas ou, mais provável, rápida desnudação da cobertura de solos.

Como já visto anteriormente, no final do Aptiano ocorreu uma mudança brusca e oscilatória do clima, que se tornou semi-árido, favorecendo a deposição dos evaporitos.

A seqüência de arcósios do Albo-Aptiano sobreposta aos evaporitos indica que, nesse tempo, dominaram condições climáticas semelhantes às do Aptiano, porém com menor pluviosidade e, aparentemente, com vegetação mais rala. Nas rochas interpretadas como depósitos continentais predominam as cores vermelhas e variegadas, estando ausentes restos de plantas e carvão. Os feldspatos, ainda bastante alterados, apresentam caulinitização subordinada. A fração argilosa é predominantemente constituída por montmorilonita (M_{14} e M_{12}), com alguma ilita e caulinita. Ocorre alguma caulinita autigênica.

Os folhelhos intercalados são constituídos essencialmente de montmorilonita, com traços de ilita.

A área-fonte era, pois, coberta por solos nos quais predominava a montmorilonita. Na bacia de deposição, as áreas algo pantanosas com vegetação densa eram subordinadas, fato que tornou rara a caulinitização das argilas e que permitiu a precipitação dos óxidos de ferro, dando a coloração avermelhada dessas rochas.

Diagênese A história diagenética dos arenitos da Formação Mariricu (porção aptiana), obtida através das relações de lâmina dos minerais cimentantes e autigênicos, começa com a caulinição da matriz argilosa original, logo após sua deposição. Esse processo já foi discutido na análise do ambiente deposicional. Simultaneamente ocorreu a formação de pirita, disseminada na rocha e associada com matéria carbonosa.

Em algumas áreas, deu-se nessa fase, ainda, a cimentação dos sedimentos ainda pouco compactados, por calcita espática.

Num estágio posterior, já durante o soterramento, ocorreu a formação de crescimentos secundários de feldspatos em torno de núcleos clásticos (Fotomiografia 5). O crescimento ocorre tanto por precipitação nos poros como por substituição da matriz e, de qualquer modo, implica num aporte de potássio. Esse potássio pode provir das soluções super-salinas desenvolvidas durante a deposição evaporítica, ou da alteração da biotita por soluções intra-estratais. A última hipótese parece mais viável, pois a autigênese de feldspatos foi observada até em arenitos situados na base da seção aptiana (900 metros abaixo do evaporito).

Ainda nessa fase e, talvez, mais tardiamente houve a formação de dolomita em certas áreas e níveis estratigráficos. Essa dolomita preenche poros e substitui a calcita pré-existente. Finalmente, num estágio mais tardio, a calcita espática torna a ser precipitada, preenchendo espaço poroso remanescente, em algumas áreas.

Afora essa seqüência diagenética normal, ocorre cimentação dos arenitos por anidrita, gipsita e dolomita, nos níveis próximos aos evaporitos.

As análises difratométricas dos folhelhos indicam que houve transformação diagenética, por soterramento, da montmorilonita e da caulinita, que passam para ilita e clorita na base da seção.

Nos arenitos da seção albo-aptiana (Formação Barra Nova) a diagênese começa também com a caulinição e precipitação de calcita espática, em algumas áreas, à semelhança da seqüência inferior. Ao invés da formação de pirita, ocorre oxidação da biotita, com liberação de óxidos de ferro, formando um pigmento de hematita. Esse processo já foi analisado anteriormente.

Numa segunda fase diagenética ocorre ilitização da caulinita autigênica (Fotomiografia 4), e formação de crescimentos secundários nos feldspatos. A ilitização ocorre nos arcósis da formação – Membro São Mateus, e é idêntica à formação descrita por Millot (1964) nos arenitos cambro-ordovicianos de Hassi Messaoud, do Saara central. O crescimento secundário dos feldspatos é observado em dolomitos arenosos do Membro Regência (fácies carbonática, marinha). Dá-se, principalmente, por substituição de calcário. Tanto a ilitização como a autigênese de feldspatos indicam um aporte regular de potássio, que está possivelmente relacionado com a transgressão marinha verificada nesse tempo. Essa transgressão deve ter produzido um aumento na salinidade das águas de formação.

Numa terceira fase, provavelmente logo após a anterior, deu-se a formação de dolomita em alguns dos arenitos, por substituição da calcita e a dolomitização dos calcários da fácies marinha.

Finalmente, ocorreu, em fase tardia, cimentação esparsa dos arenitos por calcita espática precipitada nos poros remanescentes.

Os arenitos da Formação Barra Nova, pelas suas características texturais (elevado teor de matriz argilosa) são péssimos reservatórios, característica que foi acentuada, em geral, pelos processos diagenéticos. Já os calcários da fácies marinha podem eventualmente apresentar porosidade elevada, face à dolomitização ocorrida em certos níveis.

Os arenitos da Formação Mariricu são reservatórios regulares, pois o teor de argila ainda é acentuado. Entretanto a caulínização da matriz argilosa aparentemente aumentou a porosidade original, talvez pelo rearranjo do material nos poros e por diminuição de volume (perda de cátions e sílica). É justamente nas áreas de caulínização mais intensa — topo da seção — que se encontram as acumulações de hidrocarboneto (São Mateus).

CONCLUSÕES Os arenitos da seção aptiana e albo-aptiana são predominantemente arcósios e, subordinadamente, subarcósios. De um modo geral, são: imaturos, argilosos, micáceos (biotíticos), calcíticos e mal selecionados.

A polaridade composicional dos arenitos mostra a existência de uma única litologia — biotita granulito — servindo como fonte para os sedimentos. A presença de granada em quantidades apreciáveis e a ocorrência, nas frações mais grosseiras, de fragmentos de granada biotita granulito, indicam ter sido a fonte constituída por esse tipo de rocha metamórfica de alto grau, caráter ácido e localizada na borda oeste da bacia.

Durante o pré-Aptiano e parte inferior do Aptiano, a deformação vertical foi acompanhada de subsidência acentuada com sedimentação contínua, comprovada pela presença dos arcósios e subarcósios.

No fim do Aptiano e início do Albo-Aptiano, deu-se a primeira ingressão marinha na bacia, associada a condições de clima semi-árido e a estabilidade tectônica permitiu a deposição de uma camada de anidrita.

Com a reativação do tectonismo na área-fonte, no início do Albo-Aptiano, interrompe-se a deposição de evaporitos e o soerguimento das bordas da bacia propicia novamente condições para a formação de espesso pacote de arcósios e subarcósios. A litologia na área-fonte continuava a mesma, demonstrada pela composição mineralógica dos arenitos.

As rochas da seção aptiana são continentais. Os arenitos representam depósitos de calha fluvial e os folhelhos intercalados correspondem aos depósitos de planície de inundação. Os calcários que ocorrem nessa seção são dolomíticos, geralmente associados a alguma anidrita e provavelmente representam as primeiras manifestações de deposição química evaporítica que passou a predominar no fim do Aptiano.

A porção inferior do Albo-Aptiano é interpretada como depósitos de ambiente marinho, predominantemente lagunar, em parte litorâneo e talvez nerítico.

Para os sedimentos da porção média do Albo-Aptiano, postula-se também um ambiente deposicional semelhante àquele dos arenitos do Aptiano, isto é, deposição num sistema fluvial, em calhas de rios e planície de inundação. Na área da foz do rio Doce continuava a deposição marinha.

Já a parte superior do Albo-Aptiano é caracterizada pela cessação do influxo de sedimentos, propiciando o avanço do mar em nova transgressão marinha e a deposição de rochas carbonáticas de Nativo para o norte e em quase toda a mesma seção na área da foz do rio Doce.

A associação de feldspatos angulares, frescos e intensamente alterados, indica relevo acidentado numa área-fonte submetida a intemperismo químico moderado a intenso. O clima seria intermediário entre temperado e tropical, com alto índice pluviométrico.

No final do Aptiano ocorreu brusca mudança no clima, que se tornou semi-árido, favorecendo a deposição de evaporitos.

A sequência de arcósios do Albo-Aptiano, sobreposta aos evaporitos, indica que voltaram a existir condições climáticas semelhantes às do Aptiano.

Agradecimentos Os autores expressam seus agradecimentos ao geólogo Hernani A. F. Chaves pelas sugestões e colaboração na parte de análise estatística; ao geólogo Antônio Sérgio T. Netto pelos comentários e sugestões ao relatório; ao auxiliar técnico especializado Carlos F. Lima pela confecção das lâminas delgadas e ao analista-I José Dionízio Leite pela execução dos trabalhos fotográficos.

BIBLIOGRAFIA

- ALVES, RONALDO J. — 1969 — Contribuição ao estudo da litoestratigrafia da bacia Bahia Sul-Espírito Santo. Salvador, PETROBRÁS, Região de Produção da Bahia. (Rel. Int. 13.104)
- ASMUS, H., e BACOCOLI, G. — 1969 — Bacia do Espírito Santo, relatório de Progresso. In: — Margem continental brasileira. Rio de Janeiro, PETROBRÁS, Departamento de Exploração e Produção, Divisão de Exploração. Vol. 1, pp. 41-59
- ASMUS, H., GOMES, J. B., e PEREIRA, A. C. B. — 1971 — Integração geológica regional da bacia do Espírito Santo. Rio de Janeiro, PETROBRÁS. Congresso Brasileiro de Geologia, 25.º, São Paulo
- ASMUS, H., e PONTE, F. C. — 1970 — Bacias da margem continental brasileira. Rio de Janeiro, PETROBRÁS, Departamento de Exploração e Produção, Divisão de Exploração, pp. 34-9
- PETROLEO BRASILEIRO S.A. — 1970 — Estudo petrográfico preliminar do Aptiano e Albo-Aptiano da bacia do Espírito Santo. Salvador, PETROBRÁS, Divisão de Desenvolvimento de Pessoal. 62 p. (Curso de Petrografia Sedimentar-I; Relatório Técnico, n.º 4)
- FOLK, R. L. — 1951 — Stages of textural maturity in sedimentary rocks. *Journal of Sedimentary Petrology*, Tulsa, Okla., **21**: 127-30
- FOLK, R. L. — 1959 — Practical petrographic classification of limestones. *American Associates of Petroleum Geologists Bulletin*, Tulsa, Okla., **43** (1): 1-38
- FOLK, R. L. — 1962 — Spectral subdivision of limestone types. In: *American Association of Petroleum Geologists*, Tulsa, Okla. Memoir n.º 1. Tulsa, pp. 62-84
- FOLK, R. L. — 1968 — Petrology of sedimentary rocks, Hemphill's. Austin. Texas, 170 pp.
- GLASS, H. D., POTTER, P., e SIEVER, R. — 1956 — Clay mineralogy of some basal Pennsylvanian sandstones, clays and shales. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, Tulsa, Okla., **40** (4): 747-54
- KRYNINE, P. D. — 1950 — Petrology, stratigraphy and origin of the triassic sedimentary rocks of Connecticut. *Connecticut Geological and Natural History Survey Bulletin* 73, 239 pp.
- MILLOT, G. — 1964 — Géologie des argiles. Paris, Masson, 499 pp.
- NETTO, A. S. T. — 1971 — Análise e interpretação petrográfica de evaporitos cretáceos perfurados na parte terrestre da bacia do Espírito Santo. Rio de Janeiro, PETROBRÁS, Divisão de Desenvolvimento de Pessoal, 1971. 18 pp. Congresso Brasileiro de Geologia, 25.º, São Paulo
- PITTMAN, J. S., e FOLK, R. L. — 1970 — Length-slow chalcedony: a new testament for vanished evaporite minerals. Abstract. Annual joint Geological Society of America & Allied Societies MTG. (Milwaukee, 11/11-13/70) Program 2 (7): 654-5; Petroleum Abstracts 10 (48) Abstract n. 136.774
- SHELTON, J. W. — 1964 — Authigenic kaolinite in sandstones. *Journal of Sedimentary Petrology*, Tulsa, Okla., **34** (1): 102-11