

CARACTERIZAÇÃO E INFLUÊNCIA DAS ARGILAS DE INFILTRAÇÃO MECÂNICA EM RESERVATÓRIOS FLUVIAIS DA BACIA DO RECÔNCAVO, NORDESTE DO BRASIL

CHARACTERIZATION AND INFLUENCE OF MECHANICALLY INFILTRATED CLAYS IN FLUVIAL RESERVOIRS OF RECÔNCAVO BASIN, NORTHEASTERN BRAZIL

Marco Antonio Schreiner Moraes e Luiz Fernando De Ros⁽¹⁾

RESUMO — Muitos dos arenitos e conglomerados fluviais da Formação Sergi (Jurássico da Bacia do Recôncavo, Bahia) apresentam teores elevados de argilas detríticas intersticiais. Estas argilas são interpretadas como produto da infiltração de águas lamosas promovida por enxurradas episódicas sob clima árido/semi-árido. Outros processos de introdução de argilas detríticas em arenitos e conglomerados são a deposição simultânea por fluxos de alta viscosidade, como fluxos de detritos e gelo, a fluidificação, a bioturbação e a compactação mecânica de fragmentos argilosos. Neste trabalho é proposta uma série de critérios petrográficos que permitem distinguir os diferentes tipos de argilas intersticiais em arenitos e conglomerados. As argilas infiltradas podem ser reconhecidas por sua disposição habitual, com cutículas (*coatings*) anisópacas compostas por lamelas dispostas tangencialmente aos grãos que recobrem. A introdução das argilas de infiltração é danosa para as características dos reservatórios onde ocorrem, devido principalmente à obstrução das gargantas de poros, mesmo quando em baixos teores. Na Formação Sergi, as características dos reservatórios situados no intervalo superior da unidade são fortemente influenciadas pela presença de argilas mecanicamente infiltradas. Além dos danos à permeabilidade, são observadas elevadas saturações de água irreduzível contida na microporosidade dos agregados e baixos índices de recuperação dos hidrocarbonetos promovidos pelas macro-heterogeneidades representadas pelos níveis de concentração das argilas e pela microgeometria específica dos sistemas porosos produzidos.

(Originais recebidos em 16.10.87.)

1 — INTRODUÇÃO

Arenitos e conglomerados da Formação Sergi (Jurássico), de origem predominantemente fluvial, constituem os principais reservatórios da Bacia do Recôncavo. As rochas da porção superior desta formação, paradoxalmente as mais grossas da unidade, exibem elevados teores de argilas intersticiais, fato que as tem levado algumas vezes a serem descritas como "diamictitos", termo que presume a existência de matriz argilosa de natureza sindeposicional.

Apenas recentemente, NETTO *et alii* (1982) e PASSOS *et alii* (1983) reconheceram que a maior parte das argilas presentes nessas rochas foi introduzida por infiltração mecânica pós-deposicional. Este processo, já conhecido pelos pedólogos (BREWER, 1964), teve sua atuação identificada em sedimentos aluviais grosseiros por CRONE (1975), WALKER (1976) e WALKER *et alii*

(1978). As pesquisas desses autores nos depósitos aluviais dos desertos do México e Novo México (EUA) mostraram que sedimentos originalmente livres de argila intersticial se tornam progressivamente mais argilosos nos níveis mais antigos. Os estudos indicaram que este aumento no teor de argila se deve basicamente à infiltração de águas lamosas que acumulam, por decantação, sua carga de suspensão na superfície dos grãos ao perderem velocidade de percolação no interior dos sedimentos.

O propósito deste trabalho é apresentar critérios petrográficos e sedimentológicos para a identificação de argilas mecanicamente infiltradas e sua diferenciação de outros tipos de materiais argilosos que ocorrem em rochas clásticas. Pretende-se, também, discutir sua gênese e acumulação, além de mostrar, utilizando-se o exemplo da Formação Sergi, como estas argilas podem influenciar as propriedades das rochas como reservató-

1 - Setor de Geologia para Exploração, Divisão de Geologia e Engenharia de Reservatórios, Centro de Pesquisas.

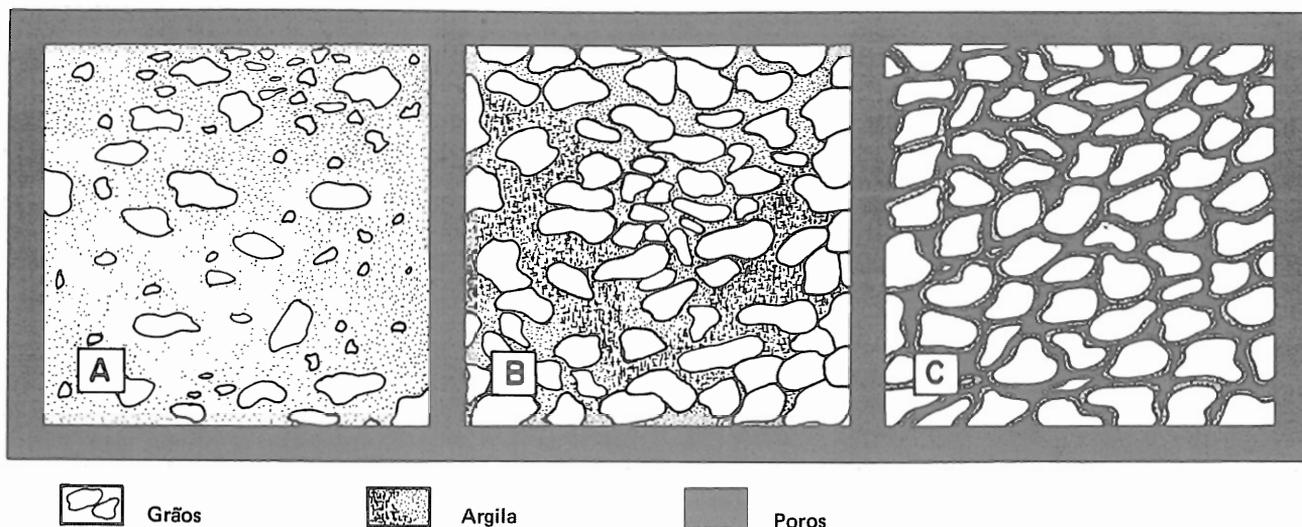


Fig. 1 - Representação esquemática da textura de arenitos contendo: a) matriz lamosa sindeposicional; b) argila intersticial originada pela compactação mecânica de clastos argilosos; c) películas de argila de infiltração mecânica.

rios de hidrocarbonetos.

2 - ARGILAS DETRÍTICAS EM ARENITOS E CONGLOMERADOS

O termo *matriz* tem sido aplicado de forma descuidada a quaisquer materiais argilosos presentes nos interstícios de rochas clásticas, comumente implicando a interpretação de uma origem basicamente detrítica e sindeposicional para estes materiais. Esta atitude tem ocasionado grande confusão de conceitos e diversas interpretações sedimentológicas equivocadas.

A partir dos trabalhos de CUMMINS (1962), WHETTEN & HAWKINS (1970) e DICKINSON (1970), reconheceu-se a origem predominantemente pós-deposicional e diagenética das argilas intersticiais dos arenitos e conglomerados, o que levou à restrição do uso do termo *matriz*, quando não qualificada, a material detrítico fino (menor que 0,03 mm) cuja origem na rocha é incerta ou não especificada (MCBRIDE, 1985; basicamente, um termo de descrição textural. MCBRIDE (1985) utiliza *matriz detrítica* especificamente para finos transportados e depositados simultaneamente com areia e/ou cascalho e aplica o termo *pseudomatriz* a materiais argilosos introduzidos no espaço intersticial por compactação de fragmentos argilosos dúcteis.

Numa revisão mais recente do problema

de identificação genética do material argiloso de arenitos e conglomerados, DE ROS & CÉSERO (1986) reconheceram oito diferentes processos ou conjuntos de processos capazes de colocar uma fração fina nos espaços intersticiais de rochas clásticas; destes, os responsáveis pela introdução de argilas detríticas seriam:

a) Deposição simultânea

Por razões hidrodinâmicas, ligadas especialmente à diferença entre a energia deposicional de materiais finos e grossos (KUENEN, 1966), a acumulação de uma matriz detrítica verdadeiramente sindeposicional junto a areia e/ou cascalho, a partir de fluxos aquosos, é muito restrita, limitando-se a algum material capturado por efeito de aspereza de fundo ou alta taxa de sedimentação (como nos arenitos com *climbing ripples*). Na maior parte das vezes, a acumulação sindeposicional de matriz detrítica deve-se a fluxos de alta viscosidade, como escorregamentos rotacionais (*slumps*), gelo e fluxos de detritos (*debris flows*) (DE ROS & CÉSERO, 1986). Nos escorregamentos rotacionais, o movimento de sedimentos inconsolidados em estado semiplástico ao longo de superfícies curvas pode promover a mistura local de sedimentos finos e grossos, deixando, entretanto, características de fácil reconhecimento macroscópico. O gelo, como agente transportador de extrema competência, é capaz de carregar e depositar, simultaneamente e

com textura maciça, desde blocos gigantes até argila. O material fino possui, normalmente, predominância síltica, como produto de um intemperismo predominantemente físico (fig. 1a). O processo de deposição simultânea de mais larga atuação são os fluxos de detritos, ocorrentes em diversos ambientes sedimentares. Nestes, o fluxo é sustentado por uma mistura de água e argila que flui plasticamente. Os clastos maiores são suportados pela resistência coesiva da matriz e pelo empuxo de flutuação, ficando comumente imersos na fração fina (foto 18), algumas vezes mostrando orientação subparalela na base e topo do depósito, bem como granocrescência ascendente.

b) Fluidificação

Pode afetar sedimentos recém-depositados, perturbados por escorregamentos ou abalos sísmicos, ou nos instantes finais de sua deposição por fluxos turbidíticos. As partículas são suspensas no fluxo ascendente dos fluidos que escapam do espaço intersticial, o que pode promover a mistura de argila e areia. Estruturas preexistentes são parcial ou totalmente destruídas, gerando-se laminação convoluta, estruturas em prato (*dish*) e em chama, diques clásticos e homogeneização. Ao microscópio, litologias fluidificadas costumam exibir um aspecto fluidal caótico e fragmentos remanescentes de material argiloso.

c) Bioturbação

Organismos que se alimentam, se movem e vivem no interior ou superfície dos sedimentos podem promover apreciável mistura das frações fina e grossa. Mais comum em depósitos marinhos, a bioturbação é mais facilmente reconhecida em exame macroscópico, seja pela presença de icnofósseis (*trace fossils*) distintos, seja pelo aspecto mosqueado que as rochas bioturbadas costumam apresentar.

d) Compactação

Clastos argilosos, como fragmentos de folhelhos, ardósias, filitos ou outros materiais alterados para argilominerais (rochas vulcânicas, minerais ferromagnesianos e feldspatos, especialmente), bem como partículas argilosas agregadas no próprio ambiente sedimentar (oóides, pelóides ou péletes fecais de glauconita, chamosita e outros minerais) e, mais comumente, fragmentos de sedimentos argilosos erodidos e redepositados no próprio ambiente deposicional (intraclastos argilosos) são materiais de caráter dúctil, fraco. Sob soterramento crescente, essas partículas são compactadas entre os clastos adjacentes, conformando-se entre eles e fluindo, semiplasticamente, para os espaços intersticiais. Em 1970, DICKINSON denominou o material argiloso produzido por esse processo de *pseudomatrix*, termo que obteve larga aceitação e aplicação. Esse autor propôs alguns critérios para a identificação petrográfica da pseudomatrix: a) projeções alongadas dos clastos esmagados estendendo-se para os espaços entre os grãos rígidos adjacentes; b) textura pseudo-fluidal no interior dos clastos esmagados conformando-se às margens dos grãos adjacentes; c) grandes lacunas heterogeneamente distribuídas no arcaçouço, contendo material argiloso muitas vezes de composição variável de uma lacuna para outra (foto 1). Arenitos líticos ou intraclásticos podem, portanto, evoluir para rochas com grande volume de pseudomatrix, que seriam classicamente descritas como *diamicctitos* ou *graywackes* (*graywackes*), o que poderia levar a interpretações sedimentológicas e petrológicas bastante equivocadas. Este processo promove uma redução sensível na

porosidade e permeabilidade das rochas onde atua. Estima-se que com apenas 35% de clastos dúcteis um arenito pode ter seu espaço poroso totalmente obliterado por este processo (MCBRIDE, 1978).

e) Infiltração

Sedimentos aluviais grosseiros, bem como as rochas produzidas por sua litificação, podem conter elevados teores de argilas detríticas mecanicamente infiltradas (fig. 1c), tal como enunciado na introdução deste trabalho. Este será o principal assunto da discussão que se segue.

3 – ORIGEM DAS ARGILAS DE INFILTRAÇÃO

A infiltração das águas turvas em sedimentos permeáveis de regiões áridas e sua provável rota vertical no sentido do lençol freático, normalmente muito rebaixado nessas áreas, já eram do conhecimento dos estudiosos de sedimentos aluviais desérticos há alguns anos (Spiegel, 1955 e Buckan, 1970, citados por CRONE, 1975; BULL, 1968). Apenas mais recentemente, entretanto,

CRONE (1975) e WALKER (1976) se preocuparam em determinar o destino da carga argilosa carreada por essas águas para o interior dos depósitos grossos.

Nos aluviões cenozóicos das regiões áridas da América do Norte, WALKER (1976) reconheceu três mecanismos como principais responsáveis pela acumulação de argilas mecanicamente infiltradas:

a) Concentrações na zona vadosa (fig. 1a)

Quando o fluxo de infiltração não alcança o nível freático, seja pelo extremo rebaixamento deste, seja pelo volume insuficiente de água, o material em suspensão acaba sendo aprisionado ainda na zona vadosa. As argilas acumulam-se na superfície dos grãos a partir dos filmes peliculares, meniscos e gotas pendulares que a água gera nessa zona. Este mecanismo de acumulação é pouco eficiente, gerando concentrações limitadas inferiormente por superfícies irregulares que marcam o alcance máximo da infiltração, e superiormente pelo nível de retrabalhamento dos sedimentos, processo em geral muito intenso nesses ambientes.

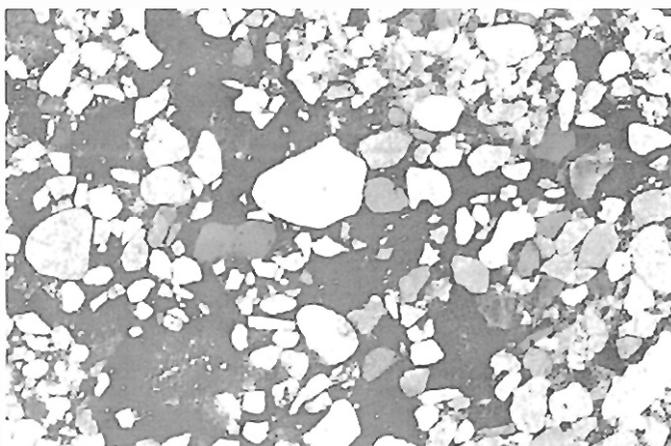
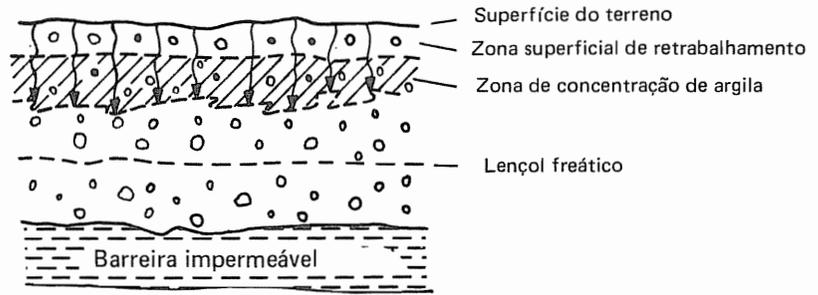


Foto 1 - Arenito da Formação Sergi com abundante pseudomatrix gerada pela compactação de intraclastos argilosos. Observar a heterogeneidade de empacotamento e composição. Poço 7-BA-158-BA, 780,15 m. Nicóis cruzados + placa de mica (1/λ). Campo fotografado: 0,8 x 1,15 mm.

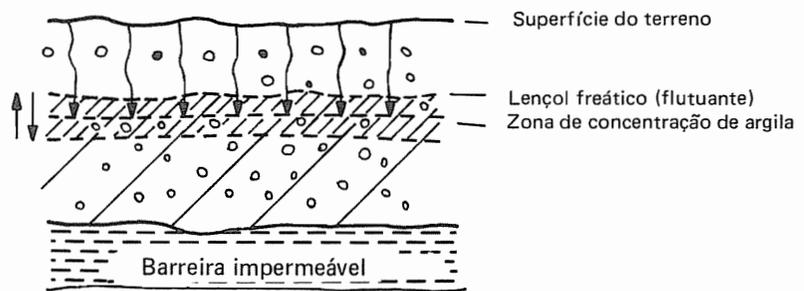
a – Concentração na zona vadosa



b) Concentrações no nível freático (fig. 2b)

Quando as águas lamosas atingem o lençol freático, sua velocidade, que era relativamente alta na percolação gravitacional vertical através da zona vadosa, diminui consideravelmente. As argilas em suspensão decantam-se na superfície dos grãos, acumulando-se em níveis aproximadamente horizontais, que podem, inclusive, interceptar as feições deposicionais preexistentes. As flutuações na posição do lençol freático determinam a espessura vertical da zona de acumulação. Grandes volumes de argila podem ser concentrados por esse mecanismo, sob condições de infiltração abundante e/ou repetida.

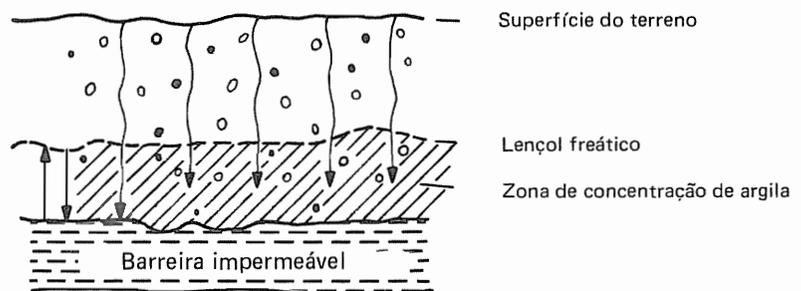
b – Concentração no nível freático



c) Concentrações sobre barreiras impermeáveis (fig. 2c)

Algumas vezes, a percolação descendente das águas lamosas rumo ao lençol freático é interrompida pela existência de barreiras impermeáveis, como níveis de sedimentos finos, solos soterrados ou mesmo rochas subaflorentes. Estas barreiras represam bolsões de água estagnada onde grandes volumes de argilas infiltradas podem acumular-se. Este tipo de mecanismo tende a formar zonas de concentração lenticulares cuja continuidade lateral é função das dimensões da barreira de permeabilidade.

c – Concentração sobre barreiras impermeáveis



WALKER (1976) mostrou que a estreita associação entre as zonas de infiltração e de concentração de argilas sugere que o volume destas deve, geralmente, aumentar nas proximidades das principais áreas de recarga. Portanto, nos aluviões sob os canais são infiltradas maiores quantidades de argila do que sob as zonas intercanal. Quando os canais aluviais efêmeros migram lateralmente, o mesmo ocorre com as faixas de concentração de argila. Zonas com maior implantação e persistência dos canais devem, dessa maneira, acumular os maiores teores de argilas infiltradas. Da mesma forma, depósitos conglomeráticos e grosseiros mais proximais mostram maior potencial de infiltração e concentração do que os sedimentos mais finos e distais, alcançados apenas muito periodicamente pela recarga.

Fig. 2 - Principais processos de acumulação de argilas por infiltração mecânica no interior de aluviões grosseiros: a) acumulação por evaporação de água na zona vadosa; b) acumulação por perda de velocidade das águas que atingem o lençol freático; c) acumulação por estagnação das águas sobre barreiras de permeabilidade (modificação de WALKER, 1976).

A introdução de argilas em sedimentos porosos e permeáveis ocorre sempre que uma parte da descarga superficial infiltrar-se, o que pode atingir desde alguns centímetros até dezenas de metros. Como já foi comentado, o processo é mais eficiente em sedimentos aluviais grosseiros de clima árido. Outros ambientes podem, entretanto, desenvolver infiltração mecânica de argilas em escala e eficiência mais limitadas que o aluvial ári-

do. O processo foi, na verdade, reconhecido inicialmente em solos (Qashu & Buol, 1967; Birkeland, 1974, citados por CRONE, 1975; BREWER, 1964; ANDREIS, 1981), situação em que a infiltração é, em geral, restrita verticalmente e associada a bioturbação, oxidação e outras feições de exposição. MOLENAAR (1986) descreve uma sequência continental do Devoniano Médio da Bélgica com espessas cutículas

(*coatings*) de argilas e óxidos de ferro (os *ferri-argilans* de BREWER, 1964) recobrimo os grãos de areia, acumuladas, aparentemente, por processo pedogenético de infiltração. ANDREIS (1981) descreve essas feições como um dos indicadores mais persistentes em paleossolos.

Alguma infiltração mecânica de argilas pode também desenvolver-se em rochas que já sofreram processos diagenéticos, muitas vezes em subsuperfície, e que foram expostos em afloramento ou subafloramento (telodiagênese) sob condições climáticas e topográficas que permitiram um fluxo vertical ativo de águas superficiais através dos poros destas rochas. Esta situação promove a acumulação de cutículas sobre crescimentos secundários ou outros minerais autigênicos e a introdução de argilas em poros secundários intragranulares, mólidos, etc. (foto 2), o que permite a distinção entre argilas infiltradas eogenéticas (introduzidas em sedimentos inconsolidados, como é mais comum ocorrer); e telogenéticas (introduzidas em rochas aflorantes ou subaflorantes).

Referências a infiltração mecânica de argilas em outros ambientes sedimentares antigos são muito raras e superficiais. LOUCKS *et alii* (1984) invocam este

processo para explicar *clay coats* presentes em alguns arenitos depositados em deltas e ilhas de barreira no Terciário da Costa do Golfo, mas não desenvolvem maiores comentários a respeito. KESSLER (1978) identifica cutículas de argila e hematita em arenitos de duna e wadi do Permiano do Mar do Norte como acumuladas por infiltração mecânica, citando características convergentes com as descritas por WALKER (1976). A introdução de grandes volumes de argila por infiltração mecânica parece estar, entretanto, relacionada, basicamente, com sistemas aluviais entrelaçados sob clima árido/semi-árido. WALKER *et alii* (1978) reportam que os depósitos terciários e pleistocênicos do Sudoeste americano contêm comumente de 10 a 20% de argilas infiltradas. Este teor representa uma grande quantidade de material introduzido pós-deposicionalmente em sedimentos originalmente livres de argila.

O processo de infiltração mecânica promove, como se vê, modificações marcantes na textura, mineralogia e composição química dos sedimentos onde atua. Seu reconhecimento é, portanto, fundamental para a correta interpretação da história deposicional e diagenética dos arenitos e conglomerados onde ocorre.

4 – RECONHECIMENTO DAS ARGILAS DE INFILTRAÇÃO

O que se pretende aqui é demonstrar que o reconhecimento de argilas mecanicamente infiltradas é plenamente possível em sedimentos antigos e que a análise de lâminas delgadas é a melhor ferramenta para sua identificação e descrição.

Estudos de CRONE (1975) com infiltração artificial em tanques de sedimento e observações de WALKER *et alii* (1978), KESSLER (1978) e DE ROS (1985) em seqüências antigas e recentes mostraram que as argilas infiltradas ocorrem sob cinco hábitos básicos:

- cristas ou pontes de lamelas orientadas perpendicularmente à superfície dos grãos, produzidas na zona vadosa pela decantação da argila nos meniscos de água entre os grãos (foto 3);
- fábricas geopetais (sedimento interno), com acumulações de argila no topo dos grãos maiores e feições pendulares (foto 4) desenvolvidas igualmente na zona vadosa;
- agregados frouxa e caoticamente floculados, considerados por CRONE (1975) como formados sob condições estagnantes, sendo bastante raros;
- cutículas (*coatings*) envolvendo os

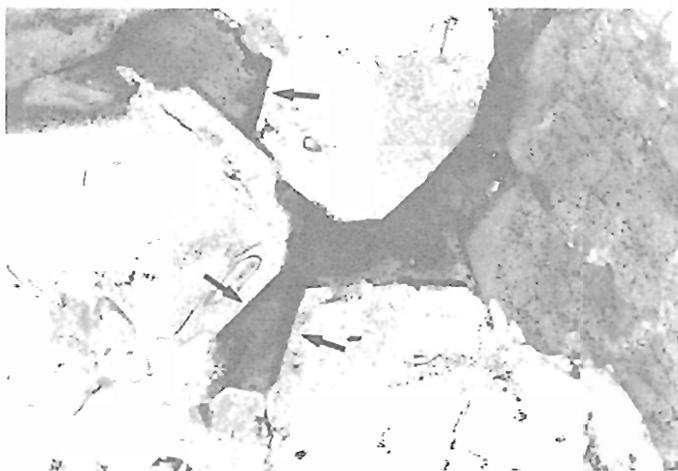


Foto 2 - Infiltração telodiagenética de argilas sobre crescimentos secundários de quartzo (setas), no arenito Furnas (Devoniano), aflorante próximo a Ponta Grossa, Paraná. Nicóis cruzados + placa de mica. Campo: 0,6 x 0,9 mm.

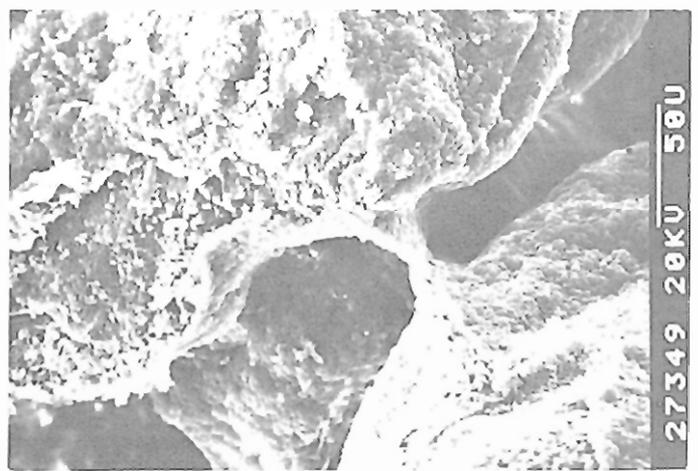


Foto 3 - Ponte formada na zona vadosa por decantação em menisco entre grãos cobertos por cutículas argilosas. Formação São Sebastião (Cretáceo Inferior), Campo de Araçás. MEV (microscópio eletrônico de varredura). Escala = 50 μ .

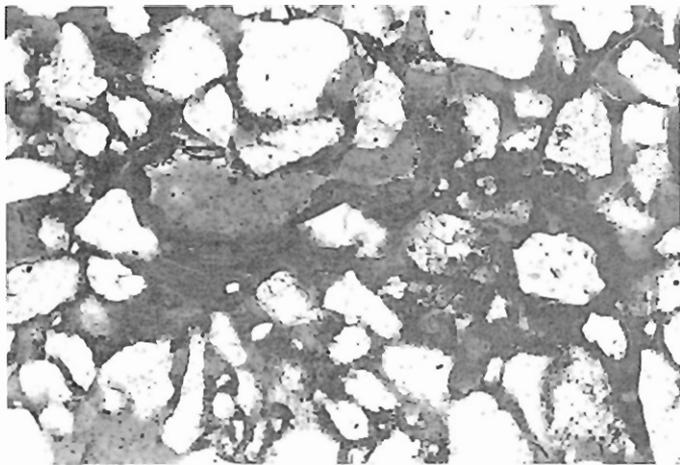


Foto 4 - Preenchimento geopetal por argila infiltrada na zona vadosa de arenito da mesma procedência da foto 3. Luz natural. Campo: 1 x 1,5 mm.

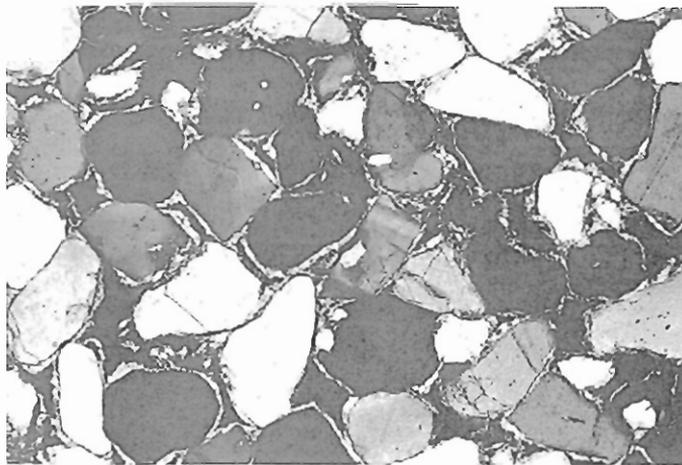


Foto 5 - Arenito da Formação Sergi com os grãos cobertos por cutículas de argilas mecanicamente infiltradas. Poço 7-DJ-695-BA, 226,1 m. Nicóis cruzados. Campo: 1,3 x 1,85 mm.

grãos, compostas por lamelas orientadas tangencialmente à sua superfície (fotos 5 e 6), desenvolvidas sob condições freáticas; é a textura mais habitual da argila infiltrada;

- e) agregados compactos ocupando totalmente os poros, por espessamento das cutículas em condições de infiltração abundante e/ou continuada (foto 7).

O potencial de preservação dos hábitos a, b e c em seqüências mais antigas é bastante baixo, pois eles tendem a ser destruídos por retrabalhamento no topo da zona vadosa, ou a evoluírem para os tipos d e e pela flutuação do nível freático na base desta zona.

A observação detalhada das argilas infiltradas revela um conjunto de outras características passíveis de fornecerem critérios para a sua identificação petrográfica. A disposição tangencial aos grãos indica nitidamente que estas argilas se acumularam por um processo físico de decantação de lamelas detríticas que aderiram às superfícies de modo mais ou menos irregular, o que faz com que as cutículas apresentem espessura variável (são anisópacas) (foto 8). Argilas autigênicas neoformadas, precipitadas quimicamente a partir das águas intersticiais, formam, ao contrário, franjas isópacas de lamelas crescidas perpendicularmente à superfície dos grãos (foto 9). Outra feição indicativa da origem detrítica das argilas de infiltração é a presença de impurezas (basicamente matéria orgânica e óxidos) infiltradas e acumuladas junto com as lamelas argilosas, sob a forma de pequenas inclusões ou

mesmo de filetes ou faixas que salientam a disposição tangencial e anisópaca dos agregados (fotos 8 e 10).

A feição mais notável das argilas infiltradas em seqüências antigas envolve sua evolução diagenética. Como as argilas detríticas de climas áridos/semi-áridos são, normalmente, de composição esmectítica (portanto com água intercambiada), sua diagênese envolve forçosamente uma regeneração ou transformação em espécies mais estáveis em am-

biente diagenético, basicamente ilitas e cloritas, passando por interestratificados (camadas mistas) illita-esmectita ou clorita-esmectita. Essa regeneração representa, quimicamente, liberação de água e fixação de potássio ou magnésio e, fisicamente, uma redução expressiva de volume. Conseqüentemente, a evolução diagenética das esmectitas mecanicamente infiltradas reflete-se, em geral, numa contração (*shrinkage*) bastante espetacular, que descola as cutículas dos grãos e fragmenta os agregados compactos (fotos 11 e 12). A regeneração diagenética mais desenvolvida promove um rearranjo cristalográfico que reorienta opticamente as argilas perpendicularmente à superfície dos grãos (foto 13), mantendo, entretanto, a morfologia e a disposição características do material infiltrado. As características geométricas, os padrões de contração e as impurezas inclusas permitem a identificação óptica das argilas infiltradas mesmo após intensas transformações diagenéticas.

5 – ARGILAS DA FORMAÇÃO SERGI

Os arenitos e conglomerados da Formação Sergi são os principais reservatórios da Bacia do Recôncavo (cerca de 50% das reservas e 40% da produção acumulada da bacia). Estes depósitos representam o produto da progradação de um sistema aluvial de correntes entrelaçadas através de uma bacia cratônica jurássica anterior à formação dos *rift-valleys*, primeiro estágio da separação dos continentes africano e sul-americano (ASMUS & PONTE, 1971). A bacia ou conjunto de bacias onde ocorreu esta

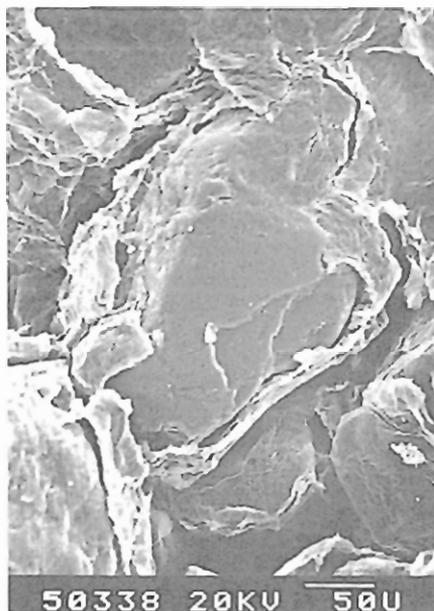


Foto 6 - Cutículas de argila infiltrada recobrendo grãos no arenito Sergi. Poço 7-BA-121-BA, 583,50 m. MEV. Escala = 50 μ .

deposição possuía certamente extensão muito superior à atual, como indicam as inúmeras ocorrências de sedimentos correlacionáveis com tal sistema aluvial e com o sistema lacustre-fluvial que ele recobre (Formação Aliança e equivalentes) ao longo de todo o Nordeste

brasileiro e da África Ocidental (GHIGNONE & NORTHFLEET, 1971).

A Formação Sergi mostra ocorrência formalizada nas bacias de Almada, Camamu, Recôncavo, Tucano e Jatobá. Nas áreas mais exploradas e estudadas,

em especial no Recôncavo, a formação apresenta uma seqüência *coarsening up*, passível de ser subdividida em três intervalos principais, como proposto por NETTO *et alii* (1982) e PASSOS *et alii* (1983):

– *Sergi Inferior ou Distal*: caracterizado

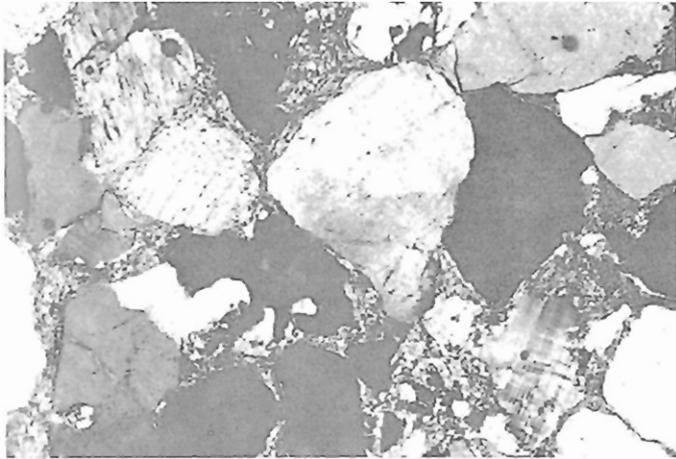


Foto 7 - Agregados compactos de argilas infiltradas obliterando todos os poros de arenito grosseiro da Formação Sergi. Poço 6-MGP-1-BA, 4 189,3 m. Nicóis cruzados. Campo: 1,12 x 1,76 mm.

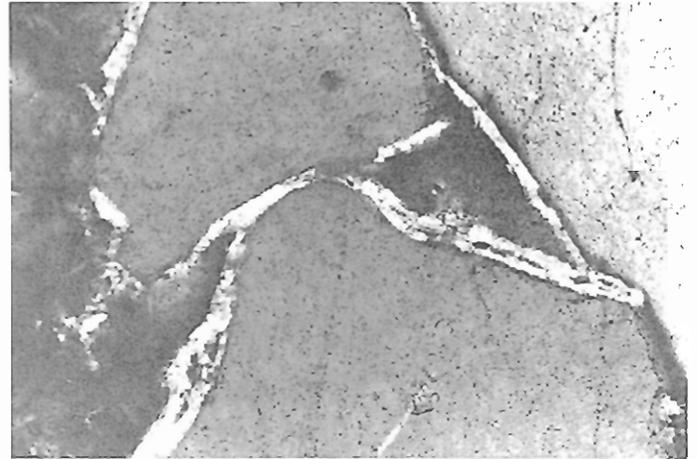


Foto 8 - Hábito anisópaco das cutículas de argila infiltrada. Observar a disposição das lamelas de argila e das impurezas escuras inclusas. Formação Sergi, aflorante na BR 101, Recôncavo. Nicóis cruzados. Campo: 0,1 x 0,14 mm.

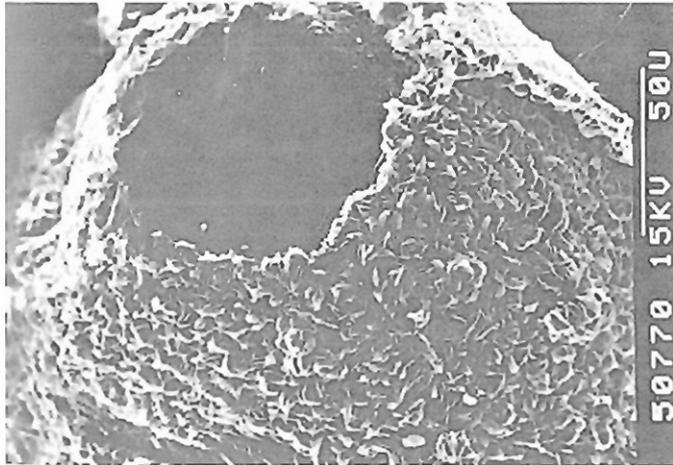


Foto 9 - "Franja" de clorita autigênica neoformada recobrin-do grão de quartzo no arenito Sergi a 2 358,1 m do poço 7-SE-10-BA. Observar hábito isópaco condicionado pelo crescimento regular de lamelas perpendicularmente à superfície do grão. A área circular corresponde à região de contato intergranular. MEV. Escala = 50 μ .

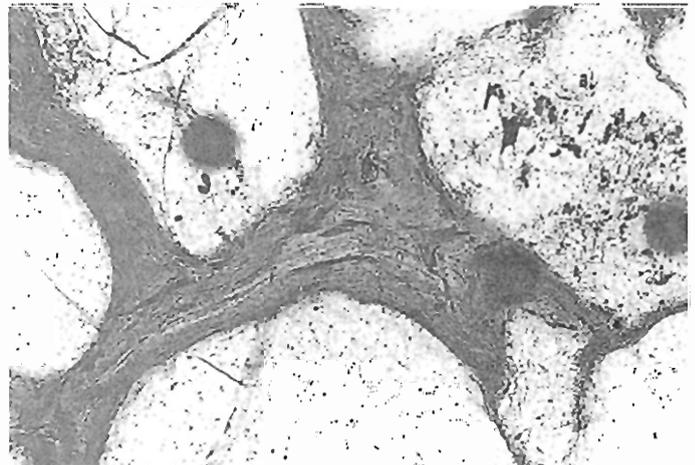


Foto 10 - Impurezas inclusas em agregado compacto de argilas infiltradas salientam a obliteração gradativa dos poros. Formação Sergi, poço 6-MGP-1-BA, 4 189,3 m. Luz natural. Campo: 0,38 x 0,55 mm.

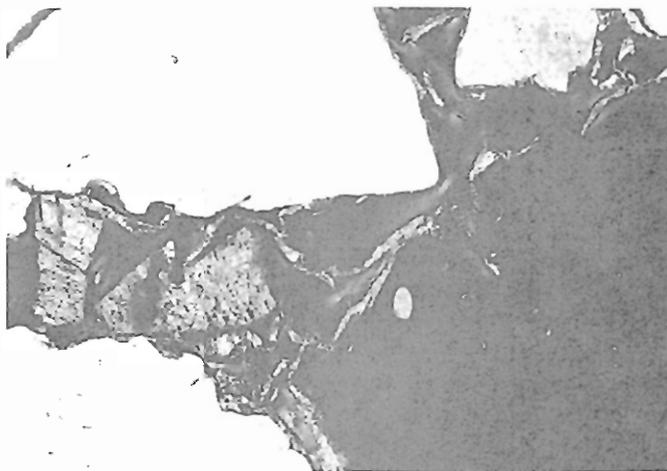


Foto 11 - Descolamento das cutículas da superfície dos grãos promovido pela incipiente contração devido à ilitização das esmectitas infiltradas. Formação Sergi, poço 8-DJ-750-BA, 294,10 m. Nicóis cruzados. Campo: 3,84 x 5,54 mm.

por arenitos de finos a médios com freqüentes intercalações de folhelhos, correspondendo a depósitos de rios meandrantos e/ou à interação entre canais entrelaçados de baixa energia e o sistema lacustre da Formação Aliança;

- *Sergi Médio ou Mediano*: compreendendo espessos e contínuos pacotes de arenitos médios com níveis basais conglomeráticos e raras e muito descontínuas intercalações de folhelhos, representando depósitos de canais entrelaçados de energia moderada;
- *Sergi Superior ou Proximal*: compos-

to por conglomerados granuloso e arenitos grosseiros, interpretados como o registro de canais entrelaçados de alta energia.

Níveis de retrabalhamento eólico ocorrem intercalados nestes intervalos em diferentes posições laterais e verticais, mas o mais persistente e importante recobre o intervalo superior na maior parte da bacia. Além dos depósitos eólicos, outros critérios permitem inferir condições climáticas de marcante aridez como atuantes durante a deposição da formação, em especial nódulos e crostas de

carbonato (caliches ou calcretes) e de sílica (silcretes), bem como a grande escassez de restos ou traços de organismos.

A figura 3 apresenta as características litológicas e os padrões de perfil típicos da Formação Sergi na Bacia do Recôncavo. Observa-se a elevada argilosidade do intervalo superior, paradoxalmente o que apresenta granulometria mais grosseira e mais alta energia das correntes. Numa primeira hipótese, atribuem-se os altos teores de argilas a uma neoformação intensa de argilominerais autigênicos. Argilas autigênicas são, na verdade, abundantes na Formação Sergi, onde predominam minerais dos grupos das caulinitas e das cloritas.

Caulinitas autigênicas ocorrem como cimento tardio dominante na maior parte dos reservatórios Sergi mais rasos (menos que 1 500 metros de profundidade), nos compartimentos central e sul da Bacia do Recôncavo e na Bacia de Tucano. O hábito das caulinitas é caracteristicamente o de agregados discretos, localizados predominantemente nos poros maiores, que muitas vezes preenchem totalmente (*pore filling*) (foto 17).

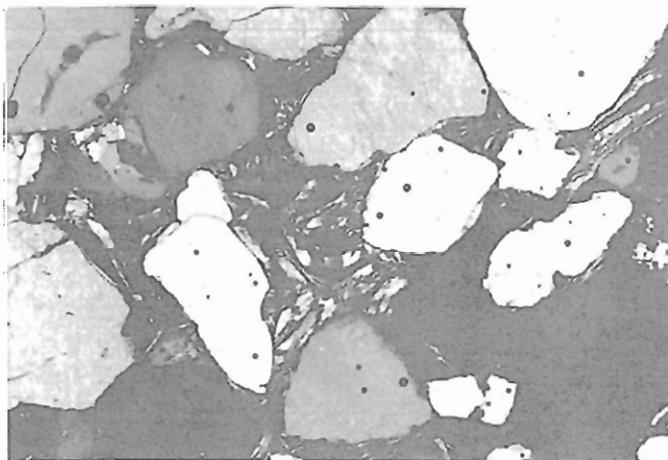


Foto 12 - Contração intensa e fragmentação de agregados compactos de argilas infiltradas (neste caso, convertidas em camadas mistas I-S com 58% de ilita). Formação Sergi, poço 7-AG-212-BA, 1 305,3 m. Nicóis cruzados. Campo: 2,46 x 3,57 mm.

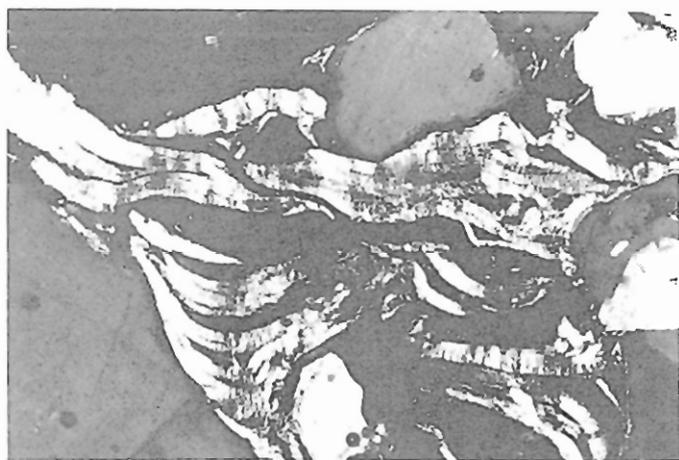


Foto 13 - Detalhe da mesma rocha da foto 12, salientando, além da contração, a reorientação óptica da argila pela regeneração diagenética. A manutenção da fábrica dos agregados e da disposição das impurezas inclusas denuncia, entretanto, a origem das argilas como produto de infiltração. Nicóis cruzados. Campo: 1,22 x 1,76 mm.

Nos reservatórios mais profundos, entretanto, as argilas autigênicas dominantes são cloritas, sob a forma de *franjas (pore lining)* isópacas de finas lamelas orientadas perpendicularmente à superfície dos grãos (foto 8). Esta morfologia promove uma redução radical na permeabilidade e na resistividade dos reservatórios.

As argilas dominantes no intervalo superior da Formação Sergi não mostram, entretanto, características de nenhuma destas espécies. Sua disposição em cutículas anisópacas ou agregados compactos de lamelas de esmectitas ou interestratificados illita-esmectita permite seu reconhecimento imediato como argilas mecanicamente infiltradas sob condições deposicionais similares às identificadas por CRONE (1975) e WALKER (1976) em seqüências cenozóicas. Toda a série de critérios petrográficos de infiltração mecânica é reconhecível, bem como padrões de concentração indicativos dos mecanismos propostos por WALKER (1976). Níveis de concentração que interceptam as estruturas deposicionais estão, aparentemente, relacionados com antigas posições do nível freático. São igualmente reconhecíveis concentrações sobre corpos de sedimentos finos acumulados em canais abandonados e sobre crostas de caliche.

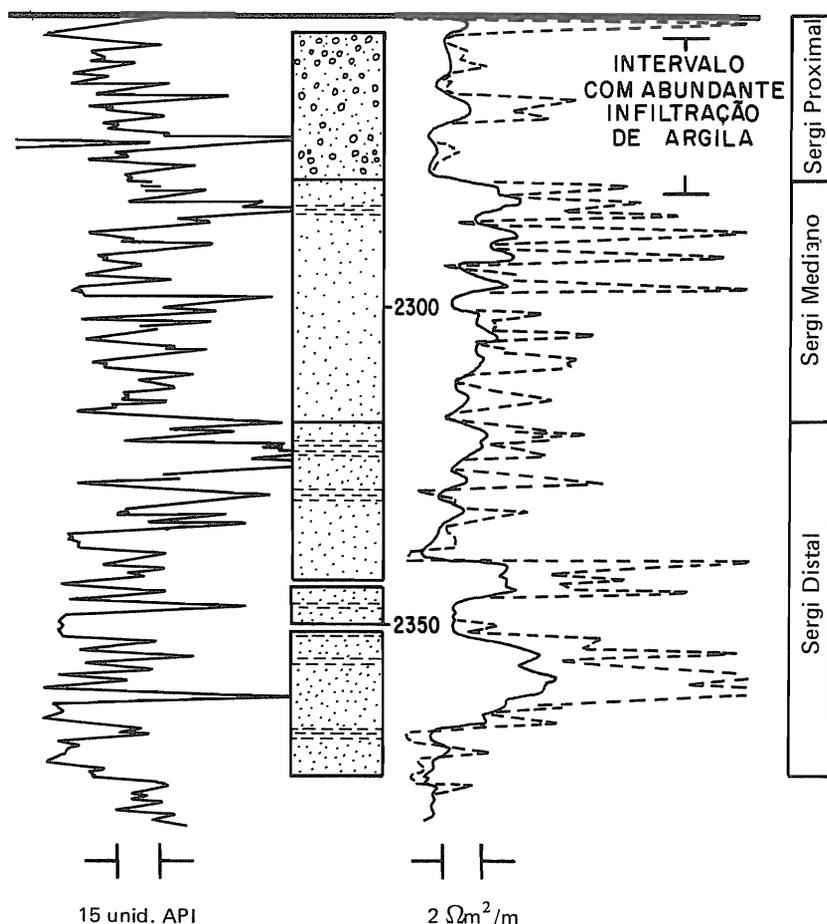


Fig. 3 - Seqüência vertical da Formação Sergi no Campo de Sesmaria (nordeste da Bacia do Recôncavo). Nota-se um aumento da argilosidade (perfil de raios gama, à esquerda) e uma diminuição da resistividade (à direita) no intervalo conglomerático superior, devido à presença das argilas infiltradas.

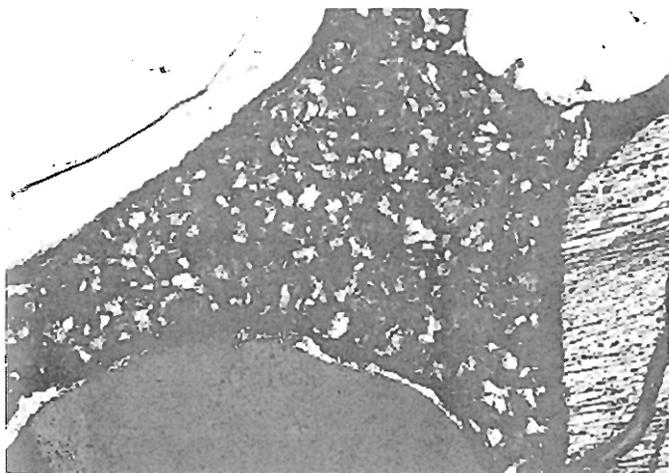


Foto 14 - Agregado de caulinita autigênica preenchendo poro. O agregado é composto tipicamente por agregados menores de lamelas empilhadas. Formação Sergi, poço 7-AR-212-BA, 1 375,7 m. Nicóis cruzados. Campo: 0,77 x 1,11 mm.

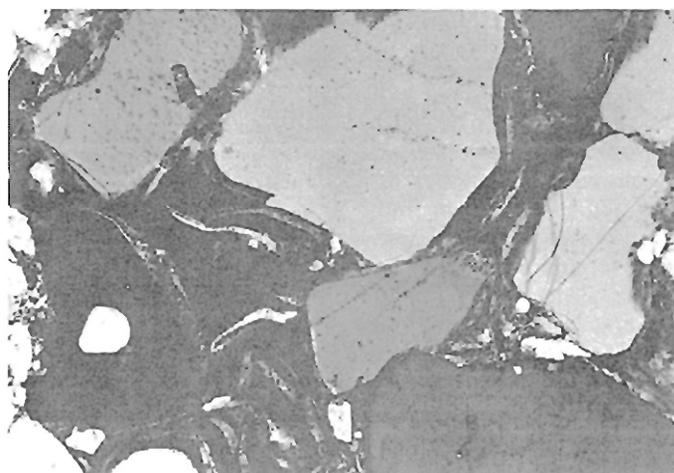


Foto 15 - Cutículas fragmentadas e soltas no interior dos poros pela contração diagenética das argilas. Formação Sergi, poço 7-DJ-695-BA, 254,3 m. Nicóis cruzados + placa de mica. Campo: 0,97 x 1,4 mm.

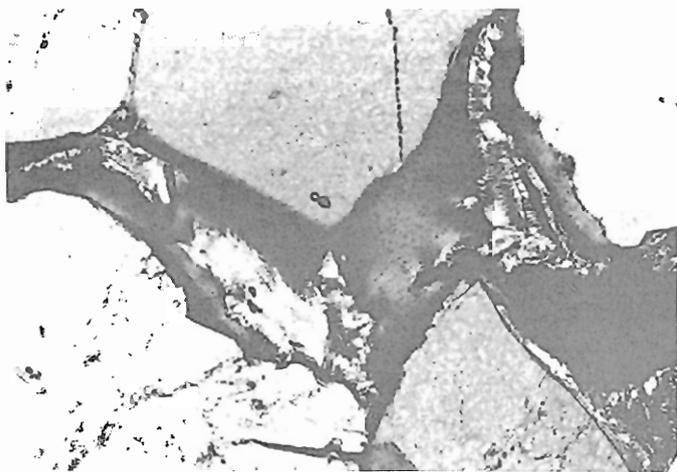


Foto 16 - Contração extrema produzindo "miniaturas" dos agregados originais. Formação Sergi, poço 7-DJ-741-BA, 256,05 m. Nicóis cruzados. Campo: 0,97 x 1,4 mm.

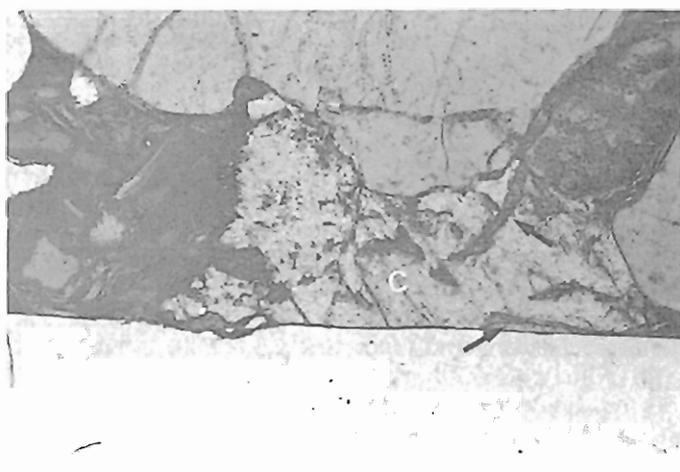


Foto 17 - Cutículas descoladas e fragmentadas de argilas infiltradas (setas), engolfadas pela cimentação carbonática (calcita - C) posterior. Formação Sergi, poço 8-DJ-750-BA, 268,25 m. Nicóis cruzados + placa de mica. Campo: 1,52 x 2,2 mm.

A composição original das argilas mecanicamente infiltradas na Formação Sergi era esmectítica, como seria esperado de argilas detríticas produzidas por intemperismo sob condições climáticas semi-áridas. Com o soterramento, as esmectitas sofreram uma ilitização crescente, através de interestratificados illita-esmectita, como ilustra a tabela I. Observa-se que as argilas infiltradas presentes em campos mais rasos conservam proximidade com a composição detrítica original, enquanto as de profundidades intermediárias mostram passagem aos intercamadas illita-esmectita, com proporção de illita crescente com a profundidade, o que culmina com o aparecimento de illita discreta nos campos mais profundos.

Esta transformação refletiu-se fisicamente de duas maneiras. Por um lado, a regeneração do material detrítico esmectítico, organizado em cutículas de lamelas dispostas tangencialmente aos grãos, promoveu um rearranjo cristalográfico que dispôs os interestratificados em agregados maciços de cristais com orientação óptica perpendicular aos grãos e birrefringência mais elevada. A morfologia básica das cutículas infiltradas foi mantida, mas a organização interna foi modificada (extensões das lamelas regeneradas para o interior dos poros já indicam certa precipitação direta de illita, ou neoformação, utilizando a nomenclatura de WILSON & PITTMAN, 1977).

Por outro lado, a ilitização de esmectitas representa uma perda de água intercamada, implicando uma diminuição to-

tal de volume que pode chegar a mais de 70%, localmente. Esta contração (*shrinkage*) promove o descolamento e a fragmentação das cutículas (fotos 14 e 18)

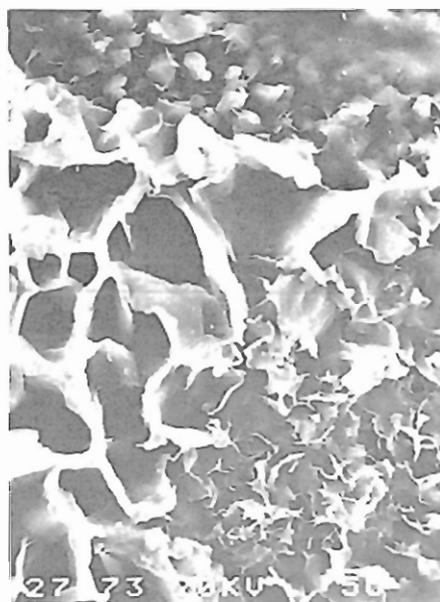


Foto 18 - Cloritização de argilas infiltradas. Na parte superior, observa-se cutícula de argilas infiltradas com hábito original de esmectitas detríticas. Embaixo à direita, observa-se argila com característica de interestratificado clorita-esmectita irregular, que está sendo coberto à esquerda por um favo grosseiro com aspecto de corrensita neoformada. Poço 7-AR-233-BA, 3 118,6 m. MEV. Escala = 5 μ .

e dos agregados compactos (foto 12), que localmente ocorrem soltos no interior dos poros como miniaturas contraídas da forma integral do poro (foto 16).

Na seqüência diagenética geral dos arenitos Sergi, a ilitização, a desidratação e a conseqüente contração das argilas mecanicamente infiltradas parecem ter sido mais intensas no intervalo temporal correspondente à precipitação de crescimentos sintaxiais em torno de grãos de quartzo e feldspato (principalmente nos arenitos com cutículas finas e descontínuas). A contração precedeu a generalizada precipitação de calcita, a qual, comumente, engloba fragmentos de cutículas e de agregados compactos (foto 17). Na diagênese mais avançada, após a dissolução parcial da calcita e conseqüente geração de porosidade secundária, e contemporaneamente à neoformação de cloritas, os agregados sofrem, normalmente, um processo de cloritização. Esta transformação se faz sentir por uma nítida queda na birrefringência dos agregados, que assumem coloração esverdeada. O processo de cloritização é facilmente detectável também ao microscópio eletrônico de varredura (foto 18) e culmina com a geração de interestratificados regulares clorita-esmectita. A organização, distribuição e evolução das argilas provenientes de infiltração mecânica na Formação Sergi imprimem uma forte e ampla influência nas características de seus reservatórios, como será visto a seguir.

6 – INFLUÊNCIA DAS ARGILAS DE INFILTRAÇÃO NOS RESERVATÓRIOS

De maneira geral, a incorporação de argilas de infiltração é um processo extremamente prejudicial às características das rochas como reservatórios de hidrocarbonetos. Sua presença, mesmo em baixos teores, mostra-se bastante danosa à permeabilidade, em virtude de a morfologia das cutículas promover a obliteração preferencial das gargantas dos poros. Em teores altos como os observados na Formação Sergi, as argilas infiltradas obliteram totalmente a porosidade dos níveis de maior concentração (até 35% de argila; 7,6% em média no intervalo superior da formação). Os níveis de concentração de argilas constituem barreiras capazes de compartimentar as zonas permeáveis dos reservatórios, controlando diretamente os padrões de fluxo, a produtividade e os fatores de recuperação dos intervalos onde ocorrem.

A microporosidade contida nos agregados de argilas infiltradas contém, por outro lado, elevados teores de água irreduzível. Rochas com cutículas de argilas infiltradas tipicamente desenvolvem baixas resistividades (abaixo de $4 \Omega\text{m/m}$, até $2 \Omega\text{m/m}$) em intervalos com alta saturação real de óleo e capazes de produzir óleo livre de água. A capacidade das argilas infiltradas (bem como das outras argilas diagenéticas) de atuar como filmes condutivos, modificando profundamente as características elétricas dos reservatórios onde ocorrem, cria a necessidade de trabalhos específicos de calibração de perfis para o estabelecimento de parâmetros adequados de avaliação (LIMA E SILVA, 1987).

A composição esmectítica que as argilas infiltradas normalmente apresentam introduz problemas de susceptibilidade e estabilidade em relação aos fluidos de perfuração, completação e estimulação. Em presença de fluidos ionicamente desbalanceados (tanto em termos de salinidade total quanto das espécies de cátions dissolvidas), as argilas esmectíticas sofrem intensos processos de hidratação ou de desidratação, que se refletem em mudanças sensíveis no volume dos agregados. A intensidade da reação

é amplificada pela elevada área específica dos agregados (foto 19), que representa uma enorme superfície de interação entre os fluidos e as argilas.

De maneira geral, fluidos com salinidade total inferior à da água de formação, ou com teores relativamente mais altos de Na^+ em relação a Ca^{++} e K^+ , promovem expressivo inchamento (*swelling*) das argilas esmectíticas. Danos de formação por inchamento das argilas esmectíticas podem ser muito graves em reservatórios que contêm argilas infiltradas. Ao contrário, fluidos com salinidade total ou com teores relativos de K^+ superiores aos da água de formação promovem a contração (*shrinkage*) dos agregados, em padrões similares aos promovidos pela ilitização diagenética anteriormente descrita. A contração descola as cutículas dos grãos, deixando seus fragmentos soltos no interior dos poros (fotos 11 e 15), o que também ocorre com os agregados compactos (foto 12). Sob esta forma, os fragmentos argilosos podem migrar na produção de óleo, obstruindo as gargantas e danificando os reservatórios.

O processo de contração pode ser um importante gerador de porosidade secundária nos intervalos argilosos, promovendo o desenvolvimento de sistemas porosos de geometria complexa e heterogênea. Os sistemas desenvolvidos por fragmentação dos agregados exibem, normalmente, baixas permeabilidades e altas razões de tamanho poros/gargantas, o que se reflete em baixa eficiência



Foto 19 - Hábito detritico em argilas esmectíticas infiltradas. Observar a elevada área superficial dos agregados. Regeneração muito incipiente denunciada por algumas projeções pontiagudas nos cantos das lamelas. Formação Sergi, poço 7-FBM-30-BA, 1 181,75 m. MEV. Escala = 5μ .

de recuperação do óleo (WARDLAW & CASSAN, 1979). Rochas com estas características apresentam, via de regra, grande variedade de tamanho de gargantas de poros com tendência à bimodalidade (fig. 4). Sistemas desenvolvidos por uma contração mais regular e pervasiva mostram, ao contrário, permeabilidades mais elevadas e nítida geometria geral lamelar (foto 20), com melhor eficiência de recuperação intrínseca. A porosidade secundária de contração é a

TABELA I

COMPOSIÇÃO DAS ARGILAS NOS RESERVATÓRIOS DA FORMAÇÃO SERGI

Campo	Profundidade (m)	Argilas Infiltradas	Argilas Neoformadas Associadas (Dominantes)
Dom João	300	Esmectita	Caulinita
Buracica	750	Ilita-esmectita (40% ilita)	Caulinita
Água Grande	1 400	Ilita-esmectita (58% ilita)	Clorita
Araçás	2 700	Ilita-esmectita (80% ilita) Clorita-esmectita	Clorita

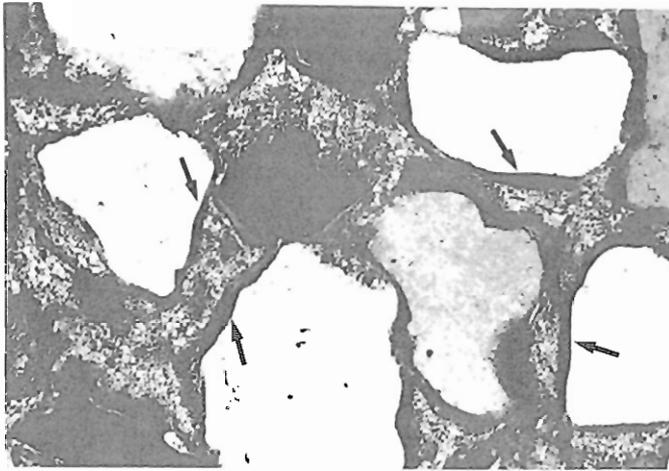


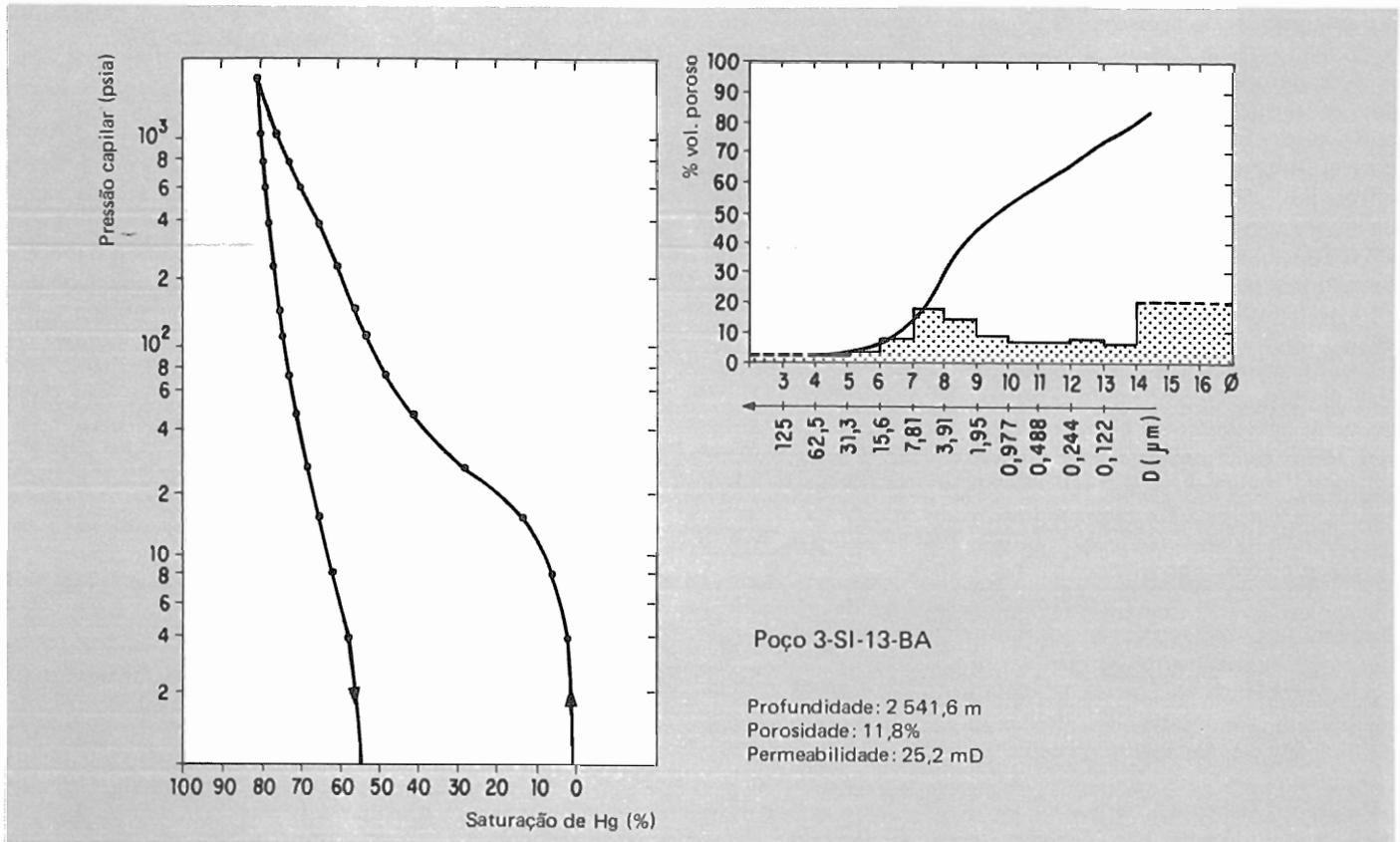
Foto 20 - Sistema de poros secundários lamelares (setas) desenvolvidos entre os grãos e os agregados de argila infiltrada, por contração diagenética regular. Formação Sergi, poço 7-DJ-741-BA, 231,50 m. Nicóis cruzados. Campo: 0,97 x 1,41 mm.

dominante em diversos níveis da Formação Sergi, em especial no intervalo superior. A complexidade inerente dos sistemas porosos assim produzidos não foi, até o momento, satisfatoriamente analisada. Suas características microgeomé-

tricas e topológicas serão mais bem compreendidas com o emprego de moldes dos sistemas porosos, como os ilustrados na foto 21. Estes moldes são produzidos pela dissolução da rocha por ácidos clorídrico e fluorídrico após sua impregna-

ção por resina epóxi. A combinação de dados geométricos obtidos de moldes com resultados de injeção e extração de mercúrio (fig. 4) permitirá uma avaliação realista da contribuição da porosidade de contração dos reservatórios.

Com respeito à distribuição de argilas infiltradas em escala macroscópica, a variação dos teores parece ser vertical e lateralmente abrupta. São visíveis nos testemunhos da Formação Sergi casos de concentração sobre barreiras impermeáveis, como lentes de lamitos ocupando canais abandonados ou níveis de paleossolos com caliches. As concentrações mais importantes, no entanto, parecem relacionar-se ao nível freático e, em especial, à proximidade das principais zonas de recarga, correspondente às áreas de maior tempo de residência dos canais ao longo da deposição, tal



como observado por WALKER (1976). É bastante indicativo deste padrão o fato de que as maiores concentrações na Formação Sergi ocupam as faixas de maior espessura do intervalo superior, portanto de maior persistência deposicional ao longo do tempo, como foi observado nos campos de Buracica (PASSOS *et alii*, 1983) e Sesmaria (DE ROS, 1985) e generalizado por BRUHN & DE ROS (1987).

A definição mais exata dos padrões de distribuição de argila mecanicamente infiltrada na Formação Sergi e em outros reservatórios geneticamente similares irá, entretanto, demandar um estudo sistemático envolvendo análise de afloramentos e correlações de detalhe das zonas argilosas. Os níveis de concentração de argilas infiltradas são as principais heterogeneidades nos campos rasos, como Dom João e Buracica, o que ilustra veementemente a necessidade de reconhecimento dos padrões de sua distribuição e geometria.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDREIS, R. R. *Identificación e importancia geológica de los paleosuelos*. Porto Alegre, UFRGS, 1981. (Livro-Texto, 2). 67 p.
- ASMUS, H. E. & PONTE, F. C. *Classificação genética das bacias sedimentares brasileiras*; relatório interno. Rio de Janeiro, PETROBRÁS. DEXPRO. DIVEX, 1971.
- BREWER, R. *Fabric and mineral analysis of soils*. New York, John Wiley & Sons, 1964. 470 p.
- BRUHN, C. H. L. & DE ROS, L. F. Formação Sergi: evolução de conceitos e tendências na geologia de reservatórios. *B. Geoci. PETROBRÁS*, 1 (1): 25-40, 1987.
- BULL, W. B. The alluvial fan environment. *Progr. Phys. Geol.*, 1: 222-70, 1968.
- CRONE, A. J. *Laboratory and field studies of mechanically infiltrated matrix clay in arid fluvial sediments*. Boulder, University of Colorado, 1975. 162 p. Tese de Doutorado.
- CUMMINS, W. A. The graywacke problem. *Liverpool and Manchester Geol. J.*, 3 (1): 51-72, 1962.
- DE ROS, L. F. *Petrologia e características de reservatório da Formação Sergi (Jurássico) no Campo de Sesmaria, Bacia do Recôncavo, Brasil*. Ouro Preto, UFOP, 1985. 194 p. Tese de Mestrado.
- DE ROS, L. F. & CÉSERO, P. Argila em arenitos: bases para a interpretação petrogenética. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, Goiânia, 1986. *Anais*. . . Goiânia, SBG, 1986. v. 4, p. 1663-70.
- DICKINSON, W. R. Interpreting detrital modes of graywacke and arkose. *J. Sed. Petrol.*, 40 (2): 615-707, 1970.
- GHIGNONE, J. I. & NORTHFLEET, A. A. Sequências sedimentares brasileiras. Salvador, PETROBRÁS. RPBA, 1971. (Relatório interno, 2424).
- KESSLER II, L. G. Diagenetic sequence in ancient sandstones deposited under desert climatic conditions. *J. Geol. Soc. London*, 135: 41-9, 1978.
- KUENEN, Ph. H. Matrix of turbidites, experimental approach. *Sedimentology*, 7: 267-97, 1966.
- LIMA & SILVA, H. S. Rastreamento das fácies diagenéticas e da permeabilidade qualitativa da Formação Sergi (Campo de Sesmaria, Bacia do Recôncavo, Bahia) por meio de perfis elétricos. *B. Geoci. PETROBRÁS*, 1 (1): 103-9, 1987.
- LOUCKS, R. G.; DODGE, M. M.; GALLOWAY, W. E. Regional controls on diagenesis and reservoir quality in lower tertiary sandstones along the Texas Gulf Coast. In: MCDONALD, D. A. & SURDAM, R. C., eds. *Clastic diagenesis*. Tulsa, AAPG, 1984. p. 15-45. (AAPG. Memoir, 37).
- MCBRIDE, E. F. Porosity loss in sandstone by ductile grain deformation during compaction. *Trans. Gulf Coast Assoc. Geol. Soc.*, 28 (1): 323-5, 1978.
- MCBRIDE, E. F. *Sandstone diagenesis*. Tulsa, AAPG, 1985. (AAPG. Short Course).
- MOLENAAR, N. The interrelation between clay infiltration, quartz cementation and compaction in lower givetian terrestrial sandstones, Northern Ardennes, Belgium. *J. Sediment. Pet.*, 56 (3): 359-69, 1986.
- NETTO, A. S. T. *et alii. Projeto Andar Dom João*. Salvador, PETROBRÁS. DEPEX. DEXBA, 1982. 193 p. (Relatório interno, 1726).
- PASSOS, L. J. *et alii. Projeto Buracica*. Salvador, PETROBRÁS. DEPEX. DEXBA, 1983. 240 p. (Relatório interno, 1760).
- WALKER, T. R. Diagenetic origin of continental red beds. In: FALKE, H., ed. *The continental Permian in Central, West and South Europe*. Dordrecht, D. Reidel, 1976. p. 240-82.
- WALKER, T. R.; WAUGH, B.; CRONE, A. J. Diagenesis of first-cycle desert alluvium of cenozoic age, Southwestern United States and Northwestern Mexico. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 89: 19-32, 1978.
- WARDLAW, N. C. & CASSAN, J. P. Oil recovery efficiency and the rock-pore properties of some sandstone reservoirs. *Bull. Can. Pet. Geol.*, 27 (2): 117-38, 1979.
- WHETTEN, J. T. & HAWKINS, J. W. Diagenetic origin of graywacke matrix minerals. *Sedimentology*, 15: 347-61, 1970.

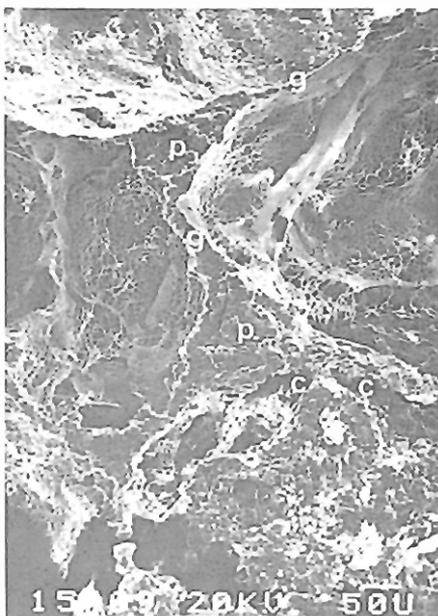


Foto 21 - Molde de poros, obtido pela dissolução da rocha após impregnação com resina epóxi, de arenito com sistema poroso condicionado por argilas infiltradas. São visíveis, salientes, poros grandes (P), conectados por finas gargantas lamelares (G), e moldes de cutículas descoladas (C). Formação Sergi, poço 3-SI-13-BA, 2 541,6 m. MEV. Escala = 50 μ .

WILSON, M. D. & PITTMAN, E. D.
Authigenic clays in sandstones;

recognition and influence on reservoir properties and paleoenvironmental analysis.

J. Sed. Petrol., 47
(1): 3-31, 1977.

ABSTRACT

The alluvial sandstones and conglomerates of the Sergi Formation (Jurassic) are the main hydrocarbon reservoirs of Recôncavo Basin (Bahia State, NE Brazil). Many of these rocks, specially those at the upper, coarser part of the formation, are characterized by the presence of significant amounts of interstitial detrital clays, that are interpreted as the product of mechanical infiltration. This process is developed mostly under arid/semi-arid climates, where the depletion in water table permits the muddy waters of episodic run-off to infiltrate through the coarse alluvium, accumulating their fine-grained load when infiltration velocity decreases. Other processes that can introduce detrital clays into the interstitial spaces of sandstones and conglomerates are: simultaneous deposition by high viscosity flux (debris flows or ice for example) fluidization, bioturbation, and mechanical compaction of clay fragments.

The main mechanisms of concentration of mechanically infiltrated clays actuate in the vadose zone, near the water table, and above impervious barriers. The concentration tends to increase in proximity to sources of influent seepage, as in the more proximal, coarser alluvium, and along the trends of longer residence of

braided channels through deposition. In spite of being very common in alluvial braided systems of arid climates, mechanical infiltration was first recognized in soils. It also occurs, although in much smaller amounts, in deltas and barrier bar environments.

A series of petrographic criteria is proposed to characterize infiltrated and other types of interstitial clays in sandstones and conglomerates. Infiltrated clays can be recognized by their common habit as anisopachous coating of clay lamellae accreted tangentially to grain surfaces, or as massive aggregates of more or less concentric accretional fabric. Other typical features are organic and oxide impurities, trapped together with the clay, and the shrinkage patterns developed in further diagenesis.

Mechanical infiltration of clays strongly affect the texture, composition and reservoir characteristics of the sequences where it occurs. Infiltrated clays have the main control over the quality of reservoirs from the upper interval of Sergi Formation. In this unit, detrital infiltrated smectites regenerated through diagenesis to disordered illite-smectite mixed-layers, to disordered chlorite-smectite and, in

deeper levels, to corrensite. Associated neoformed authigenic clays are kaolinite in shallower reservoirs and chlorite in deeper ones. The diagenetic regeneration and consequent dehydration generated abundant secondary shrinkage porosity, which is the dominant porosity type in many reservoirs of the upper Sergi. In general, however, infiltrated clays are severely harmful to reservoir permeability, due to the preferential obstruction of pore throats promoted by their coating habit. Additionally, infiltrated clay aggregates contain large amounts of irreducible water. This fact offers serious problems to reservoir log evaluation. Reservoirs with infiltrated clays commonly show low hydrocarbon recovery efficiency, not only because of the macroscopic heterogeneities represented by the zones of clay concentration, but also because of the production of pore systems with high pore/throat size ratio. The diagenetic shrinkage of the clays, leaving loose particles susceptible to migration and pore blocking during oil production, and their swelling when in contact with foreign fluids are serious potential sources of formation damage, deserving specific procedures of drilling, completion and waterflooding.