

Heterogeneidades dos reservatórios flúvio-eólicos da Formação Sergi na Bacia do Recôncavo

Heterogeneities of the fluvial-eolian reservoirs of the Sergi Formation, Recôncavo Basin

Claiton Marlon dos Santos Scherer¹ e Luiz Fernando De Ros¹

resumo

A Formação Sergi pode ser subdividida em três sequências, limitadas por discordâncias. Foram identificadas as heterogeneidades deposicionais e diagenéticas que afetam a qualidade dos reservatórios das sequências I e II. A integração de dados sedimentológicos, estratigráficos e petrológicos revelou diferenças significativas nas características deposicionais e diagenéticas destas sequências, que influenciam decisivamente na definição dos padrões de heterogeneidade e de distribuição da porosidade e da permeabilidade. Esta análise integrada fornece parâmetros para a elaboração de modelos da qualidade e heterogeneidade dos reservatórios aplicáveis ao desenvolvimento dos campos em produção da Formação Sergi, bem como para a previsão da qualidade dos reservatórios Sergi em áreas exploratórias. Os reservatórios da Sequência I são compostos por arenitos finos a médios, bem a moderadamente selecionados, depositados por sistemas flúvio-eólicos. Os reservatórios da Sequência II, por sua

vez, são constituídos por arenitos finos a conglomeráticos, predominantemente grossos, e moderadamente a mal selecionados, depositados por sistemas fluviais entrelaçados. Além das diferenças deposicionais, existem diferenças sistemáticas nos processos diagenéticos dominantes. Os arenitos da Sequência I são caracterizados por cimentação carbonática mais intensa e maior abundância de clorita, enquanto os arenitos da Sequência II apresentam como processo diagenético dominante a infiltração mecânica de argilas, que inibiu os processos subsequentes. *Lags* intraclásticos da base de ciclos de canais efêmeros da Sequência I são comumente cimentados pervasivamente por calcita, constituindo barreiras locais de fluxo. As concentrações de argilas mecanicamente infiltradas constituem barreiras e defletores ao fluxo de fluidos, representando os mais importantes controles da qualidade e heterogeneidade dos reservatórios na Sequência II.

Palavras-chave: Flúvio-eólicos | Formação Sergi | Bacia do Recôncavo | Jurássico Superior

¹ Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, claiton.scherer@ufrgs.br; lfderos@inf.ufrgs.br

abstract

The Sergi Formation can be subdivided into three sequences, bounded by unconformities. The depositional and diagenetic heterogeneities that affect reservoir quality of sequences I and II were identified. The integration of sedimentologic, stratigraphic and petrologic data revealed significant differences in the depositional and diagenetic characteristics of these sequences, which have decisively influenced the definition of the reservoir heterogeneity patterns and porosity and permeability distribution. This integrated analysis supplied parameters to construct reservoir quality and heterogeneity models that can be applied to develop the fields producing from Sergi Formation, as well as predict the quality of Sergi reservoirs under exploration. Sequence I reservoirs are made up of fine to medium-grained sandstones, well to moderately-sorted, deposited by fluvial-eolian systems. Sequence II reservoirs, in their turn, are made up of fine to conglomeratic, predominantly coarse-grained sandstones, deposited by braided fluvial systems. In addition to the depositional differences, there are systematic differences in the dominant diagenetic processes. Sequence I sandstones are characterized by a more intense carbonate cementation and larger chlorite abundance, while Sequence II sandstones show mechanical clay infiltration as the dominant diagenetic process, which has inhibited further diagenetic events. Intraclastic lags at the base of ephemeral channel cycles of Sequence I are commonly pervasively cemented by calcite, constituting local flow barriers. The concentrations of mechanically infiltrated clays constitute flow barriers and deflectors, being the most important controls on reservoir quality and heterogeneity within Sequence II.

(Expanded abstract available at the end of the paper).

Keywords: *Fluvial-eolian reservoirs | Sergi Formation | Recôncavo Basin | Upper Jurassic*

introdução

Os arenitos da Formação Sergi constituem os reservatórios de maior extensão e importância da Bacia do Recôncavo, abrangendo um volume original de óleo *in place* de 362 milhões de m³. Apesar de a Formação Sergi ter sido amplamente estudada nas

últimas décadas, poucos trabalhos de detalhe foram efetuados no que se refere à definição da arquitetura estratigráfica e seu controle na geometria e heterogeneidades dos reservatórios, destacando-se os de Lanzarini e Terra (1989), Bongiolo (2004) e Oliveira (2005). Inúmeros trabalhos têm demonstrado que sucessões flúvio-eólicas similares à Formação Sergi apresentam uma arquitetura deposicional bastante complexa, que gera variações significativas na heterogeneidade dos reservatórios em diferentes escalas hierárquicas (e.g. Chandler *et al.*, 1989; North e Prosser, 1993; Fischer *et al.*, 2007). Como consequência, os depósitos flúvio-eólicos apresentam rápidas taxas de mudanças laterais e verticais das características petrofísicas, influenciando decisivamente na recuperação de hidrocarbonetos, principalmente nos últimos estágios de exploração de um campo.

Além disso, a porosidade e a permeabilidade dos reservatórios Sergi são fortemente influenciados por processos diagenéticos, tais como: a infiltração mecânica de argila e a cimentação por carbonatos, quartzo e argilominerais cloríticos e ílíticos (Bruhn e De Ros, 1987; Pinho, 1987; Rodrigues, 1990; Moraes e De Ros, 1990; 1992). A caracterização da distribuição temporal e espacial destes constituintes dentro do arcabouço estratigráfico e da história de soterramento torna-se vital para o desenvolvimento de modelos de qualidade dos reservatórios aplicáveis à otimização da recuperação de hidrocarbonetos na produção e à exploração por novos reservatórios Sergi.

O incremento na eficiência da recuperação de óleo da Formação Sergi é condicionado pela ampliação do conhecimento detalhado acerca das variáveis estratigráficas e diagenéticas que controlam a distribuição da porosidade e da permeabilidade nos reservatórios. Isto motivou a contratação pela Petrobras de um Projeto CTPETRO/FINEP, envolvendo pesquisadores da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS e da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - Unisinos, com foco na análise estratigráfica-petrológica integrada de quatro campos produtores na Formação Sergi, sendo estes: Água Grande, Buracica, Araçás e Fazenda Bálamo (fig. 1). Os principais resultados alcançados pelo projeto são apresentados no presente artigo que tem como principal objetivo sumarizar os aspectos estratigráficos, sedimentológicos e petrológicos que controlam a heterogeneidade dos depósitos fluviais e eólicos da Formação Sergi, na Bacia do Recôncavo. Este trabalho propõe-se a identificar a influência da arquitetura estratigráfica, da geometria deposicional

e dos padrões de distribuição e evolução diagenética na definição das heterogeneidades dos reservatórios. Esta análise integrada fornece parâmetros para a elaboração de modelos da qualidade e heterogeneidade dos reservatórios, buscando contribuir para o desenvolvimento dos campos em produção na Formação Sergi, bem como para a previsão da qualidade dos reservatórios Sergi em áreas exploratórias.

métodos estratigrafia

Para a análise estratigráfica do intervalo estudado foram realizadas a descrição e a interpretação dos

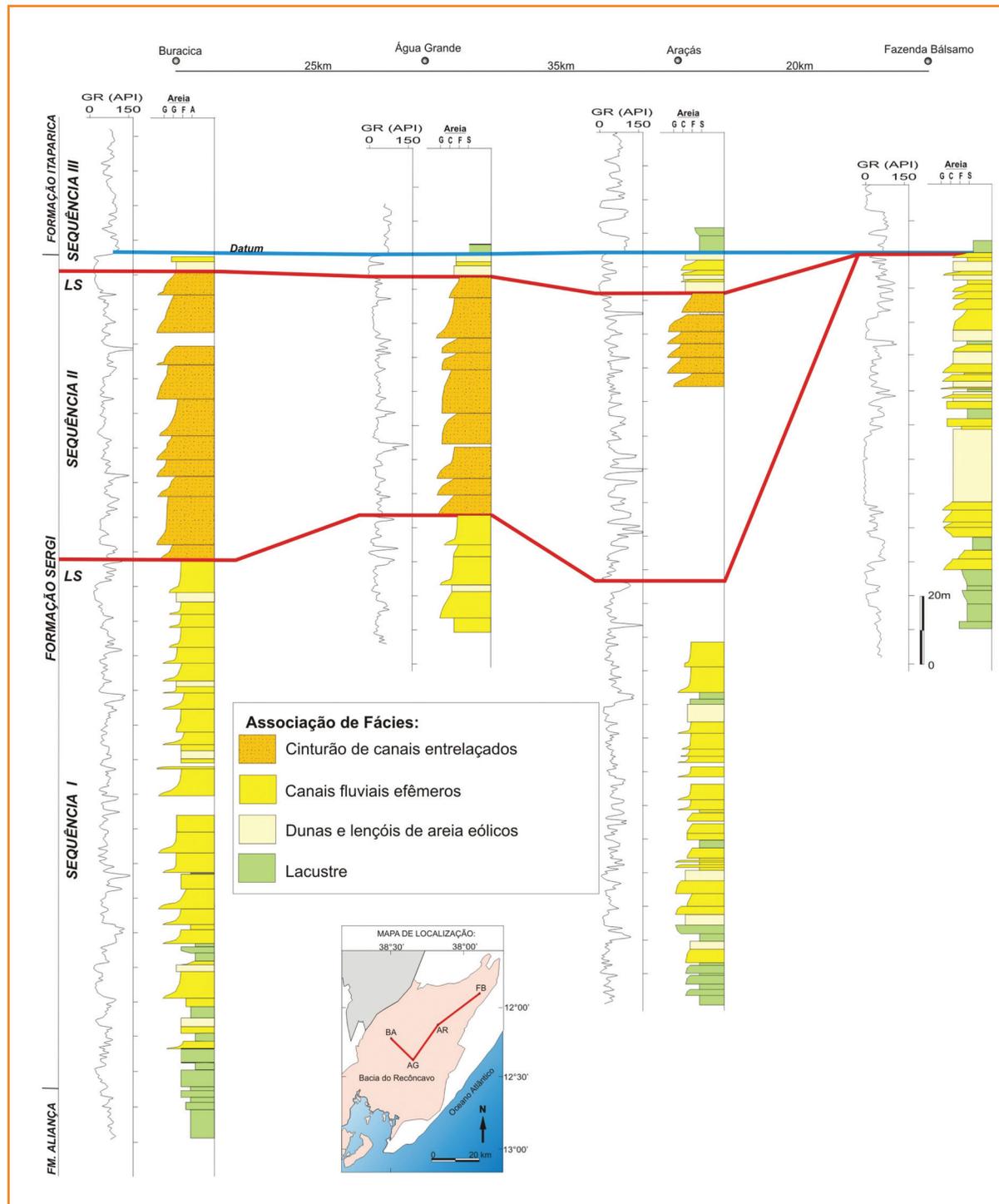


Figura 1
Seção de correlação regional das sequências deposicionais da Formação Sergi, suas superfícies limitantes e associações de fácies, baseada na correlação de perfis (*datum*: afogamento regional na base da Formação Itaparica).

Figure 1
Regional stratigraphic cross-section based on log correlation showing the Sergi Formation depositional sequences, their bounding surfaces and facies associations (*datum*: regional flooding at the Itaparica Formation base).

dados de poços e testemunhos, através da identificação de litofácies, associações e sucessões de fácies, buscando-se definir quebras estratigráficas que permitissem individualizar sequências deposicionais. Além disso, foram observadas as feições diagenéticas macroscópicas, tais como: tipos e intensidade de cimentação, níveis de infiltração de argilas e zonas com indícios de óleo, procurando definir as relações entre as características diagenéticas e as associações de fácies e superfícies-chave. Acompanhando a descrição, foram realizadas, em alguns poços, coletas de amostras para análises químicas e confecção de lâminas petrográficas. A coleta das amostras foi direcionada pela análise estratigráfica, buscando representar as principais litofácies e associações de litofácies que compõem as diferentes sequências deposicionais identificadas. Foram descritos, nos quatro campos abrangidos pelo projeto, um total de 22 poços, sendo dois no Campo de Água Grande, seis no Campo de Buracica, sete no Campo de Araçás e sete no Campo de Fazenda Balsamo, totalizando 2.671m de seções verticais levantadas.

petrologia

Trezentas e cinquenta e cinco amostras retiradas de oito poços entre 576m e 2.782m de profundidade foram impregnadas com resina *epoxy* azul para a confecção de lâminas delgadas. Os volumes dos constituintes detríticos, diagenéticos e dos tipos de poros foram determinados pela contagem de 300 pontos em cada lâmina delgada. O corante alizarina-vermelha-S foi utilizado para a diferenciação entre cimentos de calcita e dolomita em diversas lâminas delgadas, de acordo com o método descrito por Friedman (1971).

Os hábitos e relações paragenéticas de minerais diagenéticos foram examinados em 50 amostras de arenitos cobertas por ouro, com uso de um microscópio eletrônico de varredura (SEM) JEOL JSM-5.800 equipado com espectrômetro de energia dispersada (EDS), sob voltagem de 20 kV e corrente de 69 nA.

Quarenta amostras de arenitos foram selecionadas para análise da fração fina por difração de raios X. Após desagregação por ultrassom de ponteira, as frações < 20 µm, < 10 µm e < 2 µm foram separadas por centrifugação, secas em temperatura ambiente e posteriormente saturadas com etileno-glicol e calcinadas a 500°C. A análise por difração de raios X foi executada em um difratômetro Siemens D5000 Kristalloflex, e os resultados foram processados para

identificação das espécies de argilominerais e de suas proporções semiquantitativas.

Os resultados de análises petrofísicas de porosidade ao nitrogênio e de permeabilidade horizontal ao ar obtidos pela Petrobras em amostras equivalentes às lâminas delgadas analisadas foram avaliados de forma integrada com os resultados petrológicos.

contexto geológico

A Formação Sergi pertence ao Grupo Brotas e compreende arenitos finos a muito grossos conglomeráticos, acumulados durante o Neojurássico. A Formação Sergi, juntamente com a subjacente Formação Aliança, compõe o Grupo Brotas. Na época de sua deposição, os estratos do Grupo Brotas ocuparam uma área muito mais ampla do que aquela circunscrita aos atuais limites da Bacia do Recôncavo, como indicam as inúmeras ocorrências correlacionáveis no Nordeste Brasileiro e na África (De Cesaro e Ponte, 1997; Garcia *et al.*; 1998). Essa imensa bacia, denominada de Depressão Afro-Brasileira, era uma calha alongada na direção norte-sul, desenvolvida no início da fase extensional (fase pré-rifte), que determinou a completa ruptura do continente gondwânico no Cretáceo, formando o Atlântico Sul (De Cesaro e Ponte, 1997). Entretanto, a real extensão dos depósitos jurássicos e a situação geotectônica de sua sedimentação permanecem indefinidas.

A Formação Sergi encontra-se representada em toda a Bacia do Recôncavo, mas aflora somente nas suas bordas norte e oeste. Esta unidade atinge espessura máxima de 450m e tem os estratos inclinados regionalmente para leste. Os mapas de isópacas indicam que as maiores espessuras estão ao sul da bacia e decrescem para norte-nordeste.

estratigrafia

Tendo como base a análise de testemunhos, perfis e afloramentos, foi possível individualizar três sequências deposicionais limitadas por discordâncias regionais (figs. 1 e 2). Estas sequências são designadas, da base para o topo, de Sequência I, Sequência II e Sequência III (Scherer *et al.*, 2007).

No presente trabalho, serão discutidas somente as seqüências I e II, visto que a espessura e a testemunhagem limitada da seqüência III não permitiram a caracterização consistente de heterogeneidades.

seqüência I

A Seqüência I foi identificada em todos os poços estudados, apresentando espessuras mínimas variando entre 100m a 160m. Em decorrência da restrição vertical do intervalo estratigráfico analisado, o limite inferior desta seqüência não pode ser demarcado, visto que os arenitos da Formação Sergi interdigitam-se em direção à base, com os depósitos lamosos do Membro Capianga da Formação Aliança. O limite superior é uma superfície erosiva de correlação regional, que trunca os estratos subjacentes. Em testemunho e afloramento, esta superfície é de fácil identificação devido à brusca mudança de granulometria e de associações de fácies existentes entre as seqüências I e II (fig.1).

fácies e associações de fácies

A partir da descrição dos testemunhos da Seqüência I, foram identificadas dez litofácies (tabela 1), agrupadas em quatro associações de fácies (tabela 2): (1) Associação de Fácies de Lençóis de Areia

Eólicas; (2) Associação de Fácies de Dunas Eólicas; (3) Associação de Fácies de Canais Fluviais Efêmeros e (4) Associação de Fácies Lacustre.

arquitetura deposicional

A seqüência I apresenta uma sucessão vertical de associações de fácies que define um padrão progradação. A base da seção é dominada por depósitos lacustres finos (Membro Capianga da Fm. Aliança), que são sobrepostos por estratos flúvio-eólicos, com raros níveis lacustres intercalados (base da Formação Sergi) (figs. 1 e 2). Os dados de paleocorrentes dos estratos fluviais evidenciam um vetor médio para NE, concordante com o sentido de progradação obtido a partir dos mapas de isólitias (Scherer *et al.* 2007). A progradação de SW para NE pode ser visualizada em seções de correlação por um aumento da espessura dos depósitos lacustres para nordeste, enquanto os depósitos arenosos flúvio-eólicos apresentam uma maior espessura na porção sudoeste da bacia (fig. 2). Ou seja, existe uma relação inversa entre as espessuras dos depósitos lacustres e flúvio-eólicos da Seqüência I, obedecendo a um *trend* geral SW-NE, concordante com os dados de paleocorrentes fluviais.

Os estratos eólicos apresentam paleocorrentes opostas às do sistema fluvial (Scherer *et al.*, 2007). Enquanto as paleocorrentes fluviais são para NE, os

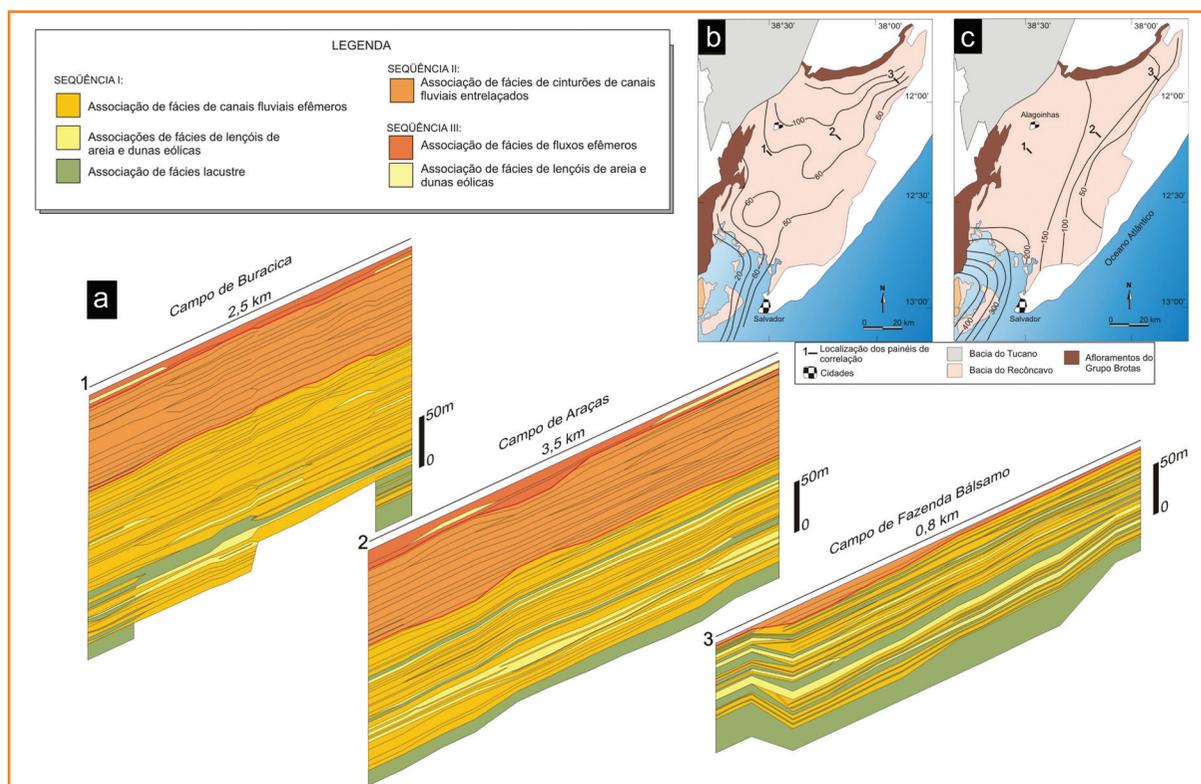


Figura 2

Painéis de correlação mostrando a distribuição lateral e vertical das associações de fácies das seqüências I, II e III (a). Para a Seqüência I são apresentados mapas de isólitias dos depósitos finos da associação de fácies lacustre (b), bem como dos depósitos arenosos das associações de fácies de canais fluviais efêmeros e de dunas e lençóis de areia eólicos (c).

Figure 2

Correlation panels showing the lateral and vertical distribution of sequences I, II and III facies associations (a). Iso-lith maps of the fine-grained lacustrine deposits (b) and of the sandy facies associations of the ephemeral fluvial channels and eolian dune and sand sheet deposits (c) of Sequence I.

estratos cruzados de dunas eólicas mostram um padrão consistente para SW, indicando um sentido de transporte em direção à borda sul da bacia, gerando um intenso retrabalhamento dos depósitos aluviais durante os intervalos mais secos.

O reduzido espaçamento entre os poços nos campos estudados permitiu a correlação lateral de alta resolução das diferentes associações de fácies, assim como possibilitou o estabelecimento das suas relações espaciais. Os depósitos eólicos, fluviais e

Tabela 1
Litofácies da Sequência I.

Table 1
Sequence I lithofacies.

Fácies	Descrição	Interpretação
Gm	Conglomerados intraformacionais, maciços, com grânulos e seixos de carbonatos e pelitos, subarredondados a subangulosos. Matriz arenosa.	Depósitos residuais de canais (<i>lags</i>).
Sh	Arenitos finos a médios, moderadamente a bem selecionados, dispostos em camadas com espessura de 0,2m a 1,5m, apresentando internamente laminações plano-paralelas. Os planos de laminação são marcados por concentração de micas, podendo ocorrer intraclastos pelíticos.	Estratos de leito plano (regime de fluxo superior).
Sl	Arenitos finos a médios, moderadamente a bem selecionados, organizados em <i>sets</i> de estratos cruzados de baixo ângulo (<5°), com espessuras de 0,3cm a 0,5cm, formando <i>cosets</i> de até 2,0m.	Preenchimento de depressões suabes ou dunas atenuadas (transição entre os regimes de fluxo inferior e superior).
St	Arenitos finos a médios, moderadamente a bem selecionados, dispostos em <i>sets</i> de estratificação cruzada acanalada-tangencial, com espessuras de 0,1m a 0,6m, formando <i>cosets</i> de até 5m de espessura. Interclastos pelíticos ou carbonáticos podem ocorrer na base dos <i>sets</i> ou nos planos de estratificação.	Dunas subaquáticas 3D. Regime de fluxo inferior.
Sp	Arenitos finos a médios, moderadamente a bem selecionados, dispostos em <i>sets</i> de estratificação cruzada planar, com espessuras de 0,1m a 0,5m, formando <i>cosets</i> de até 1m de espessura.	Dunas subaquáticas 2D. Regime de fluxo inferior.
Sm	Arenitos finos, moderadamente a bem selecionados, maciços, com intraclastos pelíticos dispersos. Camadas com espessuras de 0,1m a 3m.	Rápida desaceleração de fluxos hiperconcentrados.
Sr	Arenitos finos a médios, moderadamente selecionados, com laminações cruzadas cavalgantes subcríticas. <i>Sets</i> de 1cm a 3cm, formando <i>cosets</i> de até 2m de espessura.	Marcas onduladas subaquáticas.
Fm	Pelitos maciços, coloração avermelhada. Camadas com espessura de 0,1m a 4m.	Assentamento gravitacional de partículas em suspensão.
Fl	Pelitos, coloração avermelhada e esverdeada, com laminação planoparalela e pequenas marcas onduladas. Camada de 0,5m a 3m.	Assentamento gravitacional de partículas. Correntes fracas.
St(e)	Arenitos finos e médios, bem selecionados, dispostos em <i>sets</i> de estratos cruzados acanalados-tangenciais com espessuras de 0,5m a 3m. Os estratos cruzados são compostos nas porções mais íngremes por depósitos de fluxo de grãos de 1cm a 3cm de espessura, que gradam, em direção à base para laminações de marcas onduladas eólicas.	Dunas eólicas.
Sl(e)	Arenitos finos a médios, bem selecionados, dispostos em <i>sets</i> de estratificações cruzadas de baixo ângulo (<5°), com espessuras de 0,2m a 1m, formando <i>cosets</i> de até 3m de espessura. Os estratos cruzados são formados por laminações de marcas onduladas eólicas.	Agradação de marcas onduladas eólicas (lençóis de areia eólicas).
Sm(e)	Arenitos finos a médios, bem selecionados, maciços ou com laminações convolutas. pacotes com espessuras de 0,5m a 2m.	Fluidização de estratos de dunas eólicas.

Associação de Fácies	Descrição	Interpretação
Lacustre	Esta associação de fácies pode se estruturar verticalmente de duas formas distintas: (i) pacotes com espessuras de 1m a 4m, com extensões laterais variando de poucas centenas de metros a dezenas de quilômetros, compostos exclusivamente pelas litodácies Fl ou Fm, contendo fósseis de ostracodes e fragmentos vegetais; (ii) sucessões verticais com granocrescência ascendente, com espessuras de 1m a 4m, compostas na base pelas litofácies Fl ou Fm, que são sobrepostas pelas litofácies Sr, Sm, St.	A dominância de pelitos avermelhados, aliada à presença ocasional de gretas de contração, indica corpos lacustres rasos e efêmeros. A grande continuidade lateral de alguns destes níveis, bem como a pouca variação de espessura e a dominância de sedimentos de granulometria fina, indicam que os corpos lacustres cobriam amplas áreas, em um contexto de baixo relevo topográfico. Os ciclos de granocrescência ascendente são interpretados como depósitos de pequenos deltas marginais de lagos, formados pela desaceleração de fluxos fluviais distais ao aderirem nos corpos d'água (frentes deltaicas).
Canais fluviais efêmeros	Esta associação de fácies forma corpos arenosos com espessuras variando de 1m a 4m, com uma média de 2m, limitados na base por superfícies erosivas capeadas por <i>legs</i> centimétricos (<10cm) de conglomerados intraformacionais (Gm), compostos por intraclastos lamosos ou carbonáticos (retrabalhamento de caliches). Os corpos arenosos são compostos internamente pelas litofácies Sh, Sl, Sm e, mais subordinadamente, pelas St, Sp, Sr e Fm, podendo formar tanto ciclos de granocrescência ascendentes, quanto pacotes homogêneos, sem variações granulométricas verticais bem definidas.	Esta associação de fácies é interpretada como depósitos de canais fluviais. As superfícies erosivas que delimitam a base dos corpos arenosos e são capeadas por conglomerados intraformacionais podem ser interpretadas como superfícies de 5ª ordem (terminologia de Miall, 1996), representando a base dos canais fluviais. As sucessões verticais de fácies compostas predominantemente por arenitos finos e médios maciços ou com estratificação planoparalela e estratificações cruzadas de baixo ângulo, dispostas em corpos de arenitos em lençol são interpretadas como depósitos de inundações em lençol pobremente canalizados.
Dunas e interdunas eólicas	Arenitos finos a médios, bem selecionados, organizados em <i>sets</i> de estratos cruzados com espessuras de 0,5m a 3m, delimitados por superfícies subhorizontais (St(e)). Na porção inferior dos <i>sets</i> os estratos cruzados são tangenciais às superfícies limitrofes e são constituídos eminentemente por laminações transladantes cavalgantes eólicas. Em direção ao topo dos <i>sets</i> , ocorre um aumento no mergulho dos <i>fore-sets</i> que pode atingir valores de 25-30°, sendo os estratos formados por lâminas inversamente gradadas, com espessuras de 1-5cm, geradas por processos de fluxo de grãos. Em alguns intervalos, os estratos cruzados estão fluidizados, formando níveis com laminações convolutas ou maciços (Sm(e)). Intercalado com os <i>sets</i> de estratos cruzados, ocorrem, por vezes, níveis centimétricos de pelitos maciços (Fm).	A presença de arenitos finos e médios, bem selecionados, com grãos bem arredondados e com alta esfericidade, estruturados em <i>sets</i> com estratificação cruzada de grande porte, compostos por lâminas de fluxo de grãos e de marcas onduladas eólicas, permite interpretar esta associação de fácies como depósitos residuais de dunas eólicas. A ocorrência de estratos de fluxo de grãos indica formas de leito com uma face de escorregamento, bem desenvolvida. Os estratos deformados ou maciços são interpretados como fluidizações associadas ao escape de fluidos intersticiais após a deposição. Os níveis de pelitos ocorrem, por vezes, separando <i>sets</i> de dunas eólicas, sendo interpretados como depósitos aquosos acumulados em regiões de interdunas.
Lençóis de areia eólicos	Arenitos muito finos a médios, bem selecionados, apresentando <i>sets</i> de estratos de baixo ângulo (<5°) (Sl(e)), com espessuras variando de 0,3m a 2m, separados por superfícies erosivas subhorizontais. Internamente, os estratos de baixo ângulo são compostos por laminações transladantes cavalgantes, inversamente gradadas, com espessuras de 1-10mm. Intercalados com os estratos de baixo ângulo, ocorrem arenitos finos a médios, bem selecionados, dispostos em <i>sets</i> isolados de estratos cruzados acanalados com espessuras variando de 0,2m a 2m (ST(e)). Os estratos cruzados são tangenciais a base dos <i>sets</i> e são constituídos inteiramente por laminações transladantes cavalgantes.	Os arenitos com estratos subhorizontais (Sl(e)), compostos por laminações transladantes cavalgantes, inversamente gradadas, são interpretados como depósitos de lençóis de areia formados pela migração e cavalgamento de marcas onduladas eólicas subcríticas sobre uma superfície deposicional seca. Os estratos cruzados (ST(e)) que ocorrem intercaldados como depósitos residuais de dunas eólicas. A restrita extensão lateral dos <i>sets</i> sugere que as dunas foram espacialmente isoladas, separadas por amplas áreas de lençóis de areia eólicos.

Tabela 2

Associações de fácies da Sequência I.

Table 2

Sequence I facies associations.

lacustres justapõem-se lateral e verticalmente, estabelecendo uma arquitetura bastante complexa (fig. 2). Os depósitos eólicos formam pacotes de 0,5m a 15m de espessura, com extensão lateral variando de 0,1km a 5km. A natureza das superfícies que limitam o topo dos pacotes eólicos é variável, dependendo das associações de fácies sobrejacentes. Quando recoberto por depósitos lacustres, o contato é marcado por uma superfície plana e horizontal, facilmente visualizada em decorrência do forte contraste litológico (arenitos x pelitos) entre as duas associações de fácies. Por outro lado, o contato com os depósitos fluviais é marcado por superfícies erosivas, com relevos que podem variar de 0,1m a 1,5m.

A partir da correlação de poços, foi possível identificar uma relação entre as espessuras dos pacotes eólicos e as suas extensões laterais. Os pacotes mais delgados tendem a apresentar uma continuidade lateral menor do que os pacotes mais espessos. Normalmente, os pacotes eólicos mais delgados são constituídos essencialmente pela associação de fácies de lençóis de areia e ocorrem no terço médio/superior da seção arenosa do topo da Sequência I. Os pacotes eólicos de maior extensão lateral situam-se na base da Formação Sergi e são compostos, predominantemente, pela associação de fácies de dunas eólicas. Em alguns casos, existe uma interdigitação lateral entre esta associação de fácies e a de lençóis de areias eólicas, indicando que estas duas associações de fácies não são excludentes, podendo coexistir dentro de um mesmo horizonte estratigráfico. A reduzida extensão lateral dos pacotes eólicos no topo da Sequência I pode ser decorrente de dois fatores: (i) extensão lateral originalmente reduzida, resultado da deposição localizada de lençóis de areia eólicas ou (ii) deposição originalmente extensa e posterior erosão pelos canais fluviais.

A associação de fácies de canais fluviais efêmeros forma pacotes tabulares com espessuras de 2m a 15m (média de 5m), e extensões laterais de vários quilômetros. Estes pacotes são caracterizados pela justaposição lateral e vertical de vários corpos arenosos de canais individuais, representando complexos de canais amalgamados, multilaterais e multiepisódicos, formados pelo deslocamento lateral do fluxo resultante das recorrentes avulsões do sistema.

Os depósitos da associação de fácies lacustre ocorrem, preferencialmente, na base do intervalo analisado, definindo pacotes com espessura de 1m a 15m, que podem alcançar dezenas de quilômetros de extensão lateral. As relações de contato, marcadas por superfícies horizontais a suavemente onduladas,

facilmente identificadas em testemunhos e perfis, indicam momentos de subida do lençol freático e desenvolvimento de corpos lacustres rasos sobre amplas áreas. Em direção ao topo da Sequência I, os depósitos lacustres tornam-se mais delgados e descontínuos, sendo recortados pelos canais fluviais. Isto é mais evidente nos campos localizados nas porções mais distais, próximos ao depocentro, onde o registro lacustre é verificado, inclusive, nas porções superiores da Sequência I (fig. 2).

Apesar dos pacotes fluviais e eólicos apresentarem uma grande continuidade lateral dentro de um campo, torna-se impossível correlacionar um mesmo pacote através dos diferentes campos estudados. Intervalos eólicos espessos e contínuos, correlacionados facilmente dentro de um campo, não são identificados nos demais campos, existindo depósitos fluviais na mesma posição estratigráfica.

sequência II

A Sequência II apresenta espessuras de 0m a 80m, sendo limitada na base e no topo por desconformidades. O limite inferior é uma superfície erosiva de correlação regional (fig. 1). O limite superior caracteriza-se por uma superfície erosiva também correlacionada em toda a bacia e facilmente identificada em poços. Esta discordância é evidenciada por uma mudança abrupta de fácies, onde os arenitos grossos a conglomeráticos de origem fluvial da Sequência II são sobrepostos por arenitos finos a médios de origem flúvio-eólica da Sequência III. Em perfil, esta superfície é reconhecida por uma diminuição nos valores de raios-gama.

fácies e associações de fácies

A partir da descrição dos testemunhos da Sequência II, foram identificadas seis litofácies (tabela 3), agrupadas em duas associações de fácies (tabela 4): (1) Associação de Fácies de Canais Fluviais Entrelaçados e (2) Associação de Fácies Externa ao Canal.

arquitetura deposicional

Ao longo da seção vertical, os depósitos fluviais da Sequência II não apresentam variações na arquitetura de fácies que possibilitem a individualização de diferentes intervalos estratigráficos. Esta sequência representa um sistema fluvial entrelaçado desenvolvido sobre uma ampla planície aluvial, com

paleocorrentes consistentes para NW (Scherer *et al.*, 2007). Existe uma diminuição da granulometria dos depósitos no sentido do fluxo, de modo que os campos ao sul (Água Grande e Buracica) apresentam uma

granulometria maior que a dos campos localizados mais ao norte (Araçás).

A Sequência II é caracterizada pela sucessão de corpos arenosos depositados por cinturões de canais

Fácies	Descrição	Interpretação
Gt	Conglomerados clasto suportados, com grânulos e seixos de quartzo, subarredondados a subangulosos, dispostos em <i>sets</i> de estratificação cruzada acanalada com espessuras de 0,2m a 0,5m.	Preenchimento de pequenas depressões, dunas subaquáticas 3D.
Sp	Arenitos médios e conglomerados, mal selecionados, dispostos em <i>sets</i> de estratificação cruzada planar, com espessuras de 0,1m a 0,2m, formando <i>cosets</i> de até 0,5m.	Dunas subaquáticas 2D. Regime de fluxo inferior.
St	Arenitos médios e conglomerados, mal selecionados, dispostos em <i>sets</i> de estratificação cruzada acanalada-tangencial, com espessuras de 0,1m a 0,4m, formando <i>cosets</i> de até 3m.	Dunas subaquáticas 3D. Regime de fluxo inferior.
Sm	Arenitos médios e grossos, moderadamente a mal selecionados, maciços, com grânulos e seixos dispersos. Camadas com espessuras de 0,1m a 2m.	Rápida desaceleração de fluxos hiperconcentrados.
Sr	Arenitos finos a médios, moderadamente selecionados, com laminações cruzadas cavalgantes subcríticas. <i>Sets</i> de 3cm a 5cm, formando <i>cosets</i> de até 30cm.	Marcas onduladas subaquáticas.
Fm	Pelitos maciços, coloração avermelhada. Camadas de 0,1m a 4m.	Assentamento gravitacional de partículas em suspensão. Ausência de laminação por floculação de argila ou perdas de laminação por bioturbação intensa.

Tabela 3

Litofácies da Sequência II.

Table 3

Sequence II lithofacies.

Associação de fácies	Descrição	Interpretação
Canais Fluviais Entrelaçados	Conglomerados, arenitos grossos a conglomerados e mais raramente arenitos finos a médios, organizados em ciclos maiores formados por sucessões verticais de fácies com granodrecrescência ascendente, com espessuras de 2m a 8m, com valores médios de 5m. Os ciclos maiores são limitados na base por superfícies erosivas que são sobrepostas por conglomerados arenosos granuloso com estratificação cruzada acanalada (litofácies Gt), que gradam em direção ao topo para arenitos grossos a conglomerados com estratificação cruzada acanalada (litofácies St) e ppanar (Sp). Finalizando os ciclos, são encontrados, por vezes, arenitos finos e médios com laminações cruzadas de marcas onduladas (Sr) ou maciços (litofácies Sm). Os ciclos maiores podem ser compostos internamente por vários ciclos menores de granodrecrescência ascendente, com espessuras de 1m a 3m (média de 2m).	Os corpos arenosos com granodrecrescência ascendente, limitados por superfícies erosivas côncavas para cima (superfícies de 5ª ordem de Miall, 1988; 1996), podem ser interpretados como depósitos de canais fluviais. A geometria em lençol dos corpos arenosos, a granulometria grossa, o domínio de estruturas ativas e a ausência de depósitos finos associados permitem interpretar esta associação de fácies como depósitos de cinturões de canais fluviais entrelaçados. Os ciclos de granodrecrescência maiores representam o preenchimento de cinturões de canais fluviais. Os ciclos de granodrecrescência menores, que compõem os ciclos principais, representam a justaposição lateral e vertical de canais e barras dentro do cinturão.
Depósitos Externos ao Canal	Pelitos maciços (Fm), ocorrendo intercalados, por vezes, finos estratos de siltitos com laminações cruzadas de marcas onduladas (Sr), com espessuras de 5cm a 1m.	Depósitos finos acumulados por assentamento gravitacional de partículas em suspensão, em regiões alagadiças laterais aos cinturões de canais entrelaçados. Os arenitos da litofácies Sr intercalados com os pelitos são interpretados como depósitos de extravasamento de <i>crevasse</i> .

Tabela 4

Associações de fácies da Sequência II.

Table 4

Sequence II facies associations.

entrelaçados, ocasionalmente separados por delgados e descontínuos depósitos lamosos de planície de inundação, com extensões laterais inferiores a 1km. Ou seja, a Sequência II foi acumulada pela justaposição vertical e lateral de vários corpos arenosos gerados por sucessivos episódios de avulsão, similares aos modelos de acumulação fluvial descritos por Miall (1996) e Jones e Schumm (1999). A reduzida ocorrência de depósitos de planícies de inundação indica que a sedimentação em áreas externas aos canais foi restrita ou que os depósitos, inicialmente acumulados, foram retrabalhados pelos canais fluviais posteriormente. A escassa ocorrência de intraclastos lamosos na base dos corpos arenosos corrobora a hipótese de uma planície de inundação originalmente pouco desenvolvida.

petrologia

composição detrítica e implicações de proveniência

Os arenitos Sergi são predominantemente subarcósios (*sensu* Folk, 1968). Quartzo monocristalino plutônico predomina fortemente sobre quartzo policristalino de terrenos metamórficos de alto grau. Os feldspatos potássicos predominam largamente sobre os plagioclásios. A alteração dos feldspatos, exceto do microclínio, é bastante intensa, envolvendo vacuolização, dissolução e substituição por esmectita, caulinita, illita, clorita, calcita e/ou albita. Fragmentos de rocha são geralmente raros e basicamente de tipos plutônicos granítico-gnáissicos. Fragmentos de *chert* e de filitos são mais raros. Micas são igualmente escassas, bem como minerais pesados, ocorrendo tipicamente segregadas aos arenitos mais finos. Intraclastos lamosos foram erodidos dos depósitos finos de inundação junto aos intraclastos carbonáticos, retrabalhados de nódulos e crostas de caliche, encontrando-se concentrados em *lags* basais dos ciclos fluviais. A composição detrítica principal indica proveniência de blocos de um embasamento plutônico-metamórfico de alto grau, soerguido nas margens de uma ampla bacia ainda sob condições cratônicas, mas já sob influência preliminar dos movimentos tectônicos relacionados ao subsequente rifteamento.

diagênese

Diversos processos diagenéticos afetaram os arenitos Sergi, provocando importantes mudanças em sua porosidade e permeabilidade, e introduzindo significativas heterogeneidades que se somaram às heterogeneidades deposicionais.

A dissolução e a alteração de grãos de minerais detríticos pesados no ambiente eodiagenético meteórico resultou na precipitação de óxidos de ferro e de titânio. A extensa descoloração secundária dos arenitos Sergi foi promovida por redução do ferro durante o soterramento, envolvendo fluidos redutores relacionados aos hidrocarbonetos.

A infiltração mecânica de argilas detríticas esmectíticas foi o processo diagenético de maior impacto sobre a porosidade e permeabilidade dos reservatórios Sergi (Bruhn e De Ros, 1987; Moraes e De Ros, 1990; 1992), sendo mais abundante nos depósitos de canais fluviais entrelaçados da Sequência II. Este processo também é registrado, embora em porcentagem menor, nos depósitos eólicos e fluviais da Sequência I. As argilas infiltradas ocorrem tipicamente como cutículas de espessura variável e como preenchimentos irregulares dos poros (figs. 3a, 3b), (Moraes e De Ros, 1990).

Nódulos, crostas e veios de calcita (caliche) ocorrem nos sedimentos finos de inundação e nos topos de alguns dos ciclos fluviais e intervalos de retrabalhamento eólico da Sequência I. Localmente, os nódulos e crostas de caliche coalesceram, formando horizontes maciços. Os *lags* intraclásticos estão comumente cimentados por abundante calcita pré-compactação (fig. 3c). Localmente, dolomita foi precipitada como pequenos cristais romboédricos, substituindo os intraclastos lamosos. Períodos de maior aridez promoveram a precipitação localizada de nódulos, crostas e, eventualmente, níveis maciços de sílica (silcretes), compostos principalmente por quartzo microcristalino e calcedônia e, originalmente, por diversas formas de sílica opalina.

A compactação mecânica incidiu fortemente sobre os arenitos Sergi, através do rearranjo e fraturamento dos grãos de quartzo e feldspatos, e da deformação dos intraclastos lamosos em pseudomatriz. A compactação química envolvendo dissolução por pressão ao longo dos contatos intergranulares afetou todos os campos analisados, mas foi mais intensa nos reservatórios mais profundos, como no Campo de Araçás. Durante o soterramento, os argilominerais esmectíticos infiltrados e intraclásticos, foram transformados

em interestratificados illita-esmectita ou clorita-esmectita, com desidratação, descolamento, fragmentação e geração de porosidade de contração.

Durante o soterramento, a precipitação de calcita em hábito poiquilotópico e mosaico grosso consistiu na mais volumosa cimentação nos arenitos Sergi (fig. 3d). A distribuição da calcita mesodiagenética foi fortemente controlada pela permeabilidade remanescente, definida pela textura deposicional e pelos

processos diagenéticos anteriores, sendo escassa nos arenitos da Sequência II com abundantes argilas infiltradas. Os valores de isótopos estáveis de oxigênio e de carbono indicam que esses cimentos mesodiagenéticos foram precipitados durante o soterramento progressivo, por uma mistura de fermentação metanogênica e descarboxilação térmica (De Ros e Scherer, no prelo).

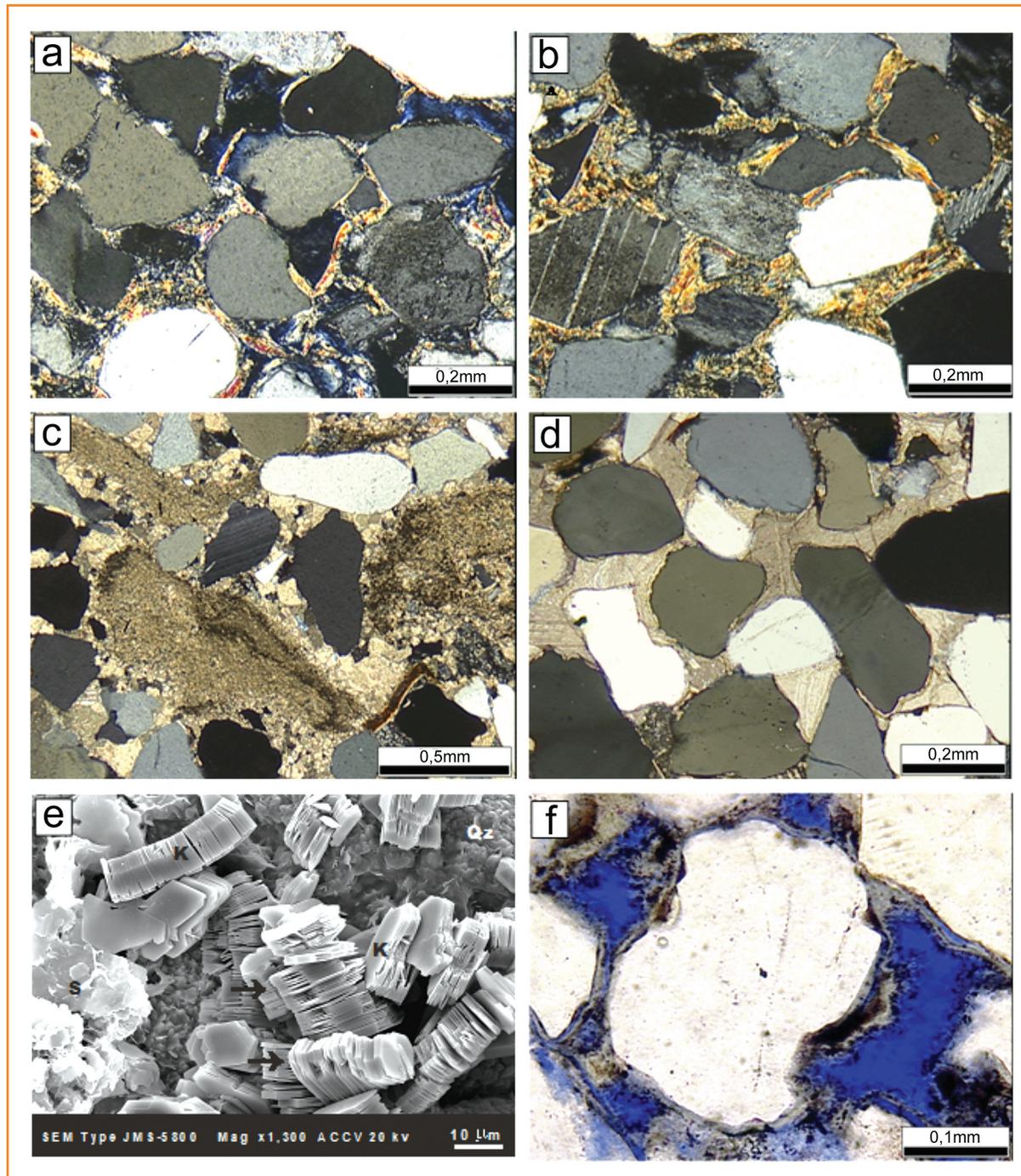
A cimentação por crescimentos secundários (*overgrowths*) de quartzo e de feldspato potássico afetou, principalmente, arenitos da Sequência I com

Figura 3

Fotomicrografias com polarizadores cruzados (XP) e descruzados (//P), e imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) das principais feições diagenéticas dos arenitos Sergi. a) cutículas irregulares de argilas mecanicamente infiltradas (XP); b) arenito com poros totalmente preenchidos por abundante argilas infiltradas (XP); c) lag conglomerático de intraclastos de calcete totalmente cimentado por calcita pré-compactional (XP); d) arenito pervasivamente cimentado por calcita mesodiagenética sin-compactional (XP); e) agregados vermiculares de dickita euhédrica pseudo-hexagonal, pseudomórfica sobre caulinita (MEV); f) franjas de clorita recobrimdo cutículas irregulares de argila infiltrada totalmente cloritizadas (//P).

Figure 3

Photomicrographs with crossed (XP) and uncrossed polarizers (//P), and scanning electron microscopy (SEM) images of the main diagenetic features of Sergi sandstones. a) irregular coatings of mechanically infiltrated clays (XP); b) sandstone with pores totally filled by abundant infiltrated clays (XP); c) conglomeratic lag of calcete intraclasts totally cemented by pre-compactional calcite (XP); d) sandstone pervasively cemented by mesodiagenetic sin-compactional calcite (XP); e) vermicular aggregates of euhedral, pseudo-hexagonal dickite, pseudomorphic on kaolinite (SEM); f) chlorite rims covering irregular coatings of totally chloritized infiltrated clay (//P).



escassas e finas cutículas de argilas infiltradas, bem como os reservatórios mais profundos, mas foi inibida em arenitos da Sequência II, nas quais as cutículas infiltradas são espessas.

A dissolução parcial da calcita e de grãos de feldspatos que afetou os reservatórios Sergi foi, provavelmente, promovida por fluidos contendo ácidos gerados pela maturação térmica da matéria orgânica presente em folhelhos da seção rifte, como indicado pelo aumento da porosidade de dissolução de feldspatos em relação à porosidade total com a profundidade (Bruhn e De Ros, 1987). Associada à dissolução de feldspatos, observa-se a ocorrência de agregados vermiculares e “em livro” (*booklets*) de lamelas de dickita (fig. 3e) distribuídos de forma descontínua, predominantemente nos arenitos com maior porosidade e permeabilidade remanescentes. A forma dos agregados indica que a dickita foi formada pela substituição de caulinita, produto direto da dissolução dos feldspatos, durante o soterramento profundo (De Bona *et al.*, 2008) (fig. 3e).

A autigênese de cloritas como franjas recobrimdo grãos e constituintes diagenéticos precedentes predomina na Sequência I (fig. 3f). As franjas de cloritas reduzem fortemente a permeabilidade e a resistividade, inibindo a cimentação por quartzo. A distribuição da clorita é pervasiva em Fazenda Bálsamo, Fazenda Boa Esperança, Sesmaria, (Lanzarini e Terra, 1989) e em outros campos do compartimento nordeste da Bacia do Recôncavo, mas é praticamente restrita à Sequência I no restante da bacia. Localmente, observa-se a neoformação de pequena quantidade de illita fibrosa sobre os agregados transformados de illita-esmectita.

A substituição dos grãos de plagioclásios e K-feldspatos detríticos por albita é um processo disseminado, mais intenso nos reservatórios mais profundos e nos grãos de feldspatos parcialmente dissolvidos. Durante o soterramento, ocorreu nova autigênese de minerais de titânio, seja como cristais bipiramidados de anatásio ou como crescimentos de titanita. Um hábito característico dos sulfetos produzidos pela redução térmica de sulfato e que ocorre localmente nos reservatórios é a pirita grossa substituindo, indiscriminadamente, grãos e cimentos precedentes.

A complexa e extensa evolução diagenética dos arenitos Sergi (Bruhn e De Ros, 1987; Moraes e De Ros, 1990; 1992; De Ros e Scherer, no prelo) mostra similaridades com a diagênese de outros arenitos de ambientes continentais áridos/semiáridos (e.g. Walker, 1976; Kessler, 1978; Walker *et al.*, 1978; Waugh, 1978; Rossel, 1982; Dutta e Suttner, 1986; McBride

et al., 1987; De Ros *et al.*, 1994; Garcia *et al.*, 1998). Esta história diagenética é o reflexo de uma intensa evolução eodiagenética sob condições continentais de clima seco, seguida de um soterramento progressivo e diferencial para os diferentes blocos estruturais gerados pela tectônica rifte.

A sequência de processos diagenéticos atuantes nos arenitos Sergi, definida com base em relações texturais paragenéticas de minerais diagenéticos observadas na petrografia ótica e na microscopia eletrônica, na sua disposição relativa à compactação e nos valores das análises isotópicas dos carbonatos diagenéticos, pode ser visualizada na figura 4.

controle estratigráfico e geográfico sobre os padrões diagenéticos

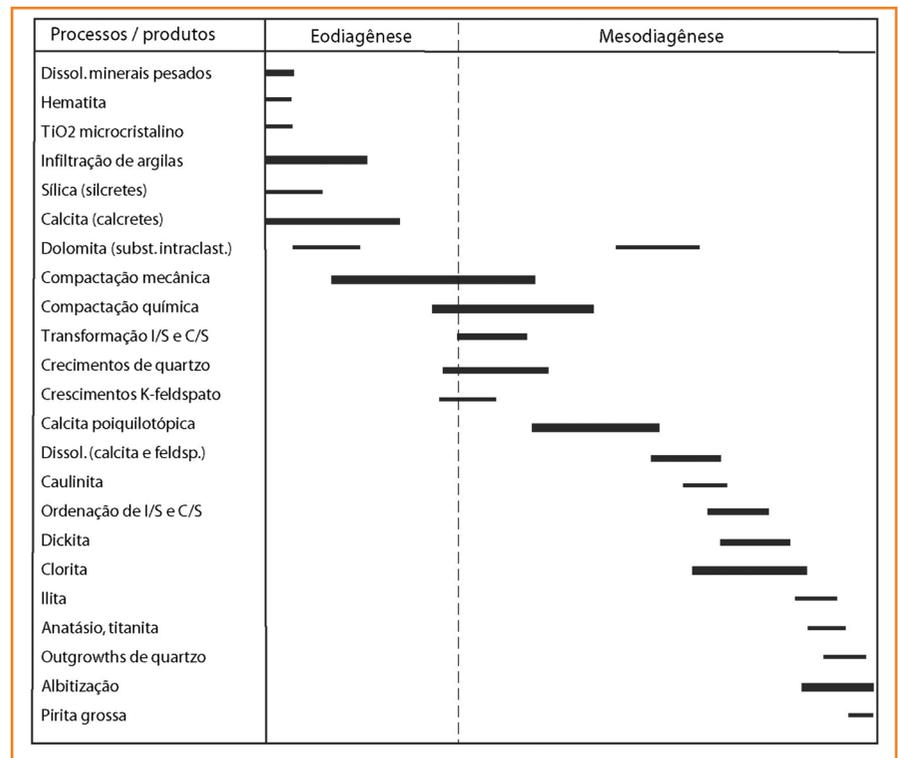
A distribuição dos constituintes diagenéticos mostra marcantes diferenças entre as sequências I e II. A mais marcante diz respeito à distribuição das argilas infiltradas, muito mais abundantes nos arenitos da Sequência II (média de 10,3% de volume original em relação ao volume total dos arenitos contra média de 4,9% na Sequência I). A maior abundância de argilas infiltradas na Sequência II é resultante da granulometria mais grossa (maior permeabilidade original) de seus depósitos. Consequentemente, a incidência de todos os processos diagenéticos posteriores foi relativamente limitada na Sequência II, devido à redução de permeabilidade e ao isolamento dos grãos causados pelas cutículas. Desta forma, o volume médio de cimento intergranular é consistentemente maior na Sequência I (7,3% contra 4% na Sequência II), função principalmente do volume total de calcita ser bem maior na Sequência I (média de 6,3% contra 2,6%), como também a cimentação por quartzo (média de 1,4%, contra 0,6%). Nos arenitos da Sequência II, os poros lamelares criados pela contração das argilas infiltradas devido à sua desidratação e transformação em interestratificados I/S ou C/S são o tipo mais importante após os poros intergranulares, mas são pouco importantes nos arenitos da Sequência I.

Por outro lado, intraclastos lamosos e pseudomatrix produzida pela sua compactação são bem mais abundantes nos arenitos da Sequência I, onde intercalações de depósitos finos de inundação são comuns.

Outro aspecto diagenético que mostra marcante diferença entre as duas sequências é a distribuição da clorita. O volume total médio de clorita na Sequência I

é de 1,2%, com o máximo de 15%, enquanto na Sequência II a média é de 0,4%, com máximo de 7%. Provavelmente, o maior volume de clorita na Sequência I está relacionado ao maior suprimento de ferro e magnésio pelos lutitos intercalados e subjacentes a esta sequência durante a mesodiagenese. A abundância de clorita nos campos do compartimento nordeste da Bacia do Recôncavo estaria, portanto, relacionada à situação relativamente mais distal dos depósitos Sergi nessa área, o que se reflete pelas intercalações mais frequentes e espessas de lutitos. Em compensação, a maior disponibilidade de ferro e magnésio dos lutitos fez com que as dickitas, relativamente comuns nos reservatórios da Sequência II, estejam virtualmente ausentes nos arenitos da Sequência I. Além disso, existe um controle da profundidade sobre a ocorrência da dickita, ausente em reservatórios profundos, como os de Araçás, por exemplo.

Observando-se a distribuição dos processos diagenéticos nos arenitos Sergi dos diferentes campos de petróleo estudados, verificam-se padrões relacionados, em alguns casos, com os referidos controles estratigráficos, e, em outros, com aspectos relacionados às diferenças de profundidade de soterramento. O volume original de argilas infiltradas é maior em Buracica, campo de posição relativamente mais proximal e, portanto, mais afetado pelas avulsões e enxurradas episódicas. Mesmo na Sequência I, as argilas infiltradas são mais abundantes em Buracica, particularmente os preenchimentos de poros. Entretanto, as argilas infiltradas são igualmente abundantes na Sequência I de Fazenda Bálamo, onde a Sequência II está virtualmente ausente. O preenchimento de poros por argilas infiltradas é mais volumoso em Buracica, embora as cutículas sejam mais abundantes em Fazenda Bálamo. Em consequência disto e da profundidade mais rasa, crescimentos de quartzo são praticamente ausentes em Buracica, no entanto, importantes na Sequência I de Água Grande, Araçás e Fazenda Bálamo. A albitização de feldspatos detríticos também é importante na Sequência I destes campos. Ambos os processos parecem ter sido fortemente condicionados pela profundidade de soterramento. A cimentação por calcita é muito importante na Sequência I, exceto em Água Grande, onde a combinação de uma escassa infiltração com uma limitada precipitação de calcita produziu as melhores condições de porosidade nesta sequência (média de 14,6%), apesar da cimentação por quartzo mais abundante entre os campos estudados (média de 2,6%). Crescimentos de quartzo



estão virtualmente ausentes da Sequência II em Buracica, mas, em compensação, a cimentação por calcita é muito mais importante na Sequência II de Buracica do que na de Água Grande ou de Araçás.

As dickitas, constituintes comuns na Sequência II de Buracica e de Água Grande, estão ausentes nesta sequência em Araçás, provavelmente devido ao efeito da profundidade máxima sobre a estabilidade da dickita. A dickita, igualmente à compactação química relativamente intensa, ocorre mesmo em campos rasos como Buracica (profundidade atual <900m). Como é formada apenas a temperaturas superiores à 100°C (Lanson *et al.*, 2002) e uma significativa dissolução por pressão ocorre normalmente apenas a mais de 1.500m de profundidade (Füchtbauer, 1967), implicaria em um soerguimento, afetando todas as áreas da bacia. A combinação das feições petrográficas com as evidências fornecidas pela reflectância da vitrinita e pelos traços de fissão em apatitas detríticas sugere que um soerguimento, regional e erosão de mais de 1km, provavelmente mais de 1.500m, tenham afetado toda a Bacia do Recôncavo (De Bona *et al.*, 2008). A dickita está praticamente ausente nos campos de Araçás e Fazenda Bálamo, o que sugere sua destruição em maiores temperaturas, e/ou que a caulinita precursora não tenha sido formada no ambiente rico em ferro e magnésio providos pelas intercalações de lutitos nos arenitos da Sequência I.

Figura 4
Sequência paragenética geral dos processos e produtos diagenéticos dos arenitos Sergi na Bacia do Recôncavo (mod. de De Ros e Scherer, no prelo).

Figure 4
General paragenetic sequence of diagenetic processes and products in Sergi sandstones of the Recôncavo Basin (modified from De Ros and Scherer, in press).

análise integrada de heterogeneidades

Neste item, será realizada uma análise de heterogeneidades dos reservatórios da Formação Sergi, a partir da integração dos aspectos estratigráficos, petrológicos e petrofísicos. A análise será efetuada separadamente para as sequências I e II, abordando-se fatores que controlam a distribuição da porosidade e permeabilidade em diferentes escalas hierárquicas. A limitada testemunhagem não permitiu a caracterização das heterogeneidades da Sequência III.

sequência I

A Sequência I é caracterizada por uma íntima intercalação entre depósitos eólicos, fluviais e lacustres, que se justapõem lateral e verticalmente, definindo uma arquitetura deposicional bastante complexa (fig. 2). Os principais reservatórios são as associações de fácies de canais fluviais, lençóis de areia e dunas eólicas, enquanto as barreiras de fluxo deposicionais consistem na associação de fácies lacustre. O intervalo estratigráfico analisado da Sequência I apresenta uma sucessão vertical de associações de fácies que define um padrão progradacional para NE (Scherer *et al.*, 2007). Os depósitos lacustres são abundantes no terço inferior da seção analisada, formando pacotes com grande continuidade lateral, alguns deles rastreáveis em escala de campo (fig. 2). Na porção média/superior, os depósitos lacustres tornam-se ausentes nas regiões mais proximais (campos de Buracica e Araçás) ou raros nas regiões mais distais do sistema (Campo de Fazenda Bálsamo), ocorrendo na forma de pacotes delgados e com baixa continuidade lateral (fig. 2). Ou seja, na porção inferior, os depósitos lacustres tendem a formar barreiras de fluxo efetivas, gerando reservatórios com geometria do tipo bolo de camadas (*layer-cake reservoirs*), onde os corpos arenosos apresentam grande continuidade lateral e uma baixa conectividade vertical. Em virtude da reduzida extensão lateral dos depósitos lamosos nas porções média e superior da Sequência I, os corpos arenosos apresentam alta conectividade vertical, formando reservatórios com geometria do tipo quebra-cabeça (*jigsaw puzzle reservoirs*). Além dessa variação vertical, observa-se uma variação lateral (dentro de um

mesmo intervalo estratigráfico) nas características geométricas dos reservatórios. Em decorrência do padrão progradacional para NE, a Sequência I, no campo de Fazenda Bálsamo, tende a apresentar uma maior frequência de depósitos lacustres, compartimentando os reservatórios em relação aos campos de Araçás e Buracica (fig. 2).

Embora a associação de fácies de canais fluviais efêmeros e as associações de fácies de dunas e lençóis de areia eólicos constituam reservatórios, existem diferenças significativas na porosidade e permeabilidade dos depósitos. Nos campos estudados, os arenitos da associação de fácies de dunas eólicas apresentam uma permeabilidade e porosidade maior que aquelas dos depósitos das associações de fácies de lençóis de areia eólicos e de canais fluviais efêmeros (fig. 5). Em decorrência disso, torna-se necessária uma correta separação entre depósitos das associações de fácies de dunas eólicas, lençóis de areia eólicos e canais fluviais efêmeros, assim como a definição das geometrias e dimensões dos corpos arenosos. Existe uma mudança na geometria dos pacotes eólicos ao longo da sucessão estratigráfica, que pode ser observada nos campos estudados. A base é caracterizada por corpos eólicos com maiores espessuras e continuidade lateral, compostos predominantemente por dunas eólicas, enquanto as porções média e superior da sequência são constituídas por corpos delgados e descontínuos lateralmente (fig. 2), representados predominantemente por lençóis de areia eólicos.

Internamente, os pacotes eólicos e fluviais apresentam variações texturais e estruturais que geram mudanças nas propriedades petrofísicas dos reservatórios. Estas variações estão vinculadas às diferentes litofácies que compõem as associações faciológicas (fig. 6).

Na associação de fácies de canais fluviais efêmeros, os gráficos mostram valores mais altos de permeabilidade para as litofácies St/Sp, SI/Sh e Sm, enquanto as litofácies Gm e Sr apresentam valores mais baixos de permeabilidade (fig. 6). Deste modo, dentro de um corpo arenoso de canal fluvial efêmero, os menores valores de permeabilidade estão na base (litofácies Gm) e no topo (litofácies Sr), enquanto as porções intermediárias apresentam as maiores permeabilidades (fig. 7). Os valores mais baixos de permeabilidade da litofácies Sr estão associados a sua granulometria fina, enquanto na litofácies Gm, os valores reduzidos de permeabilidade estão associados à cimentação carbonática, marcada nos perfis

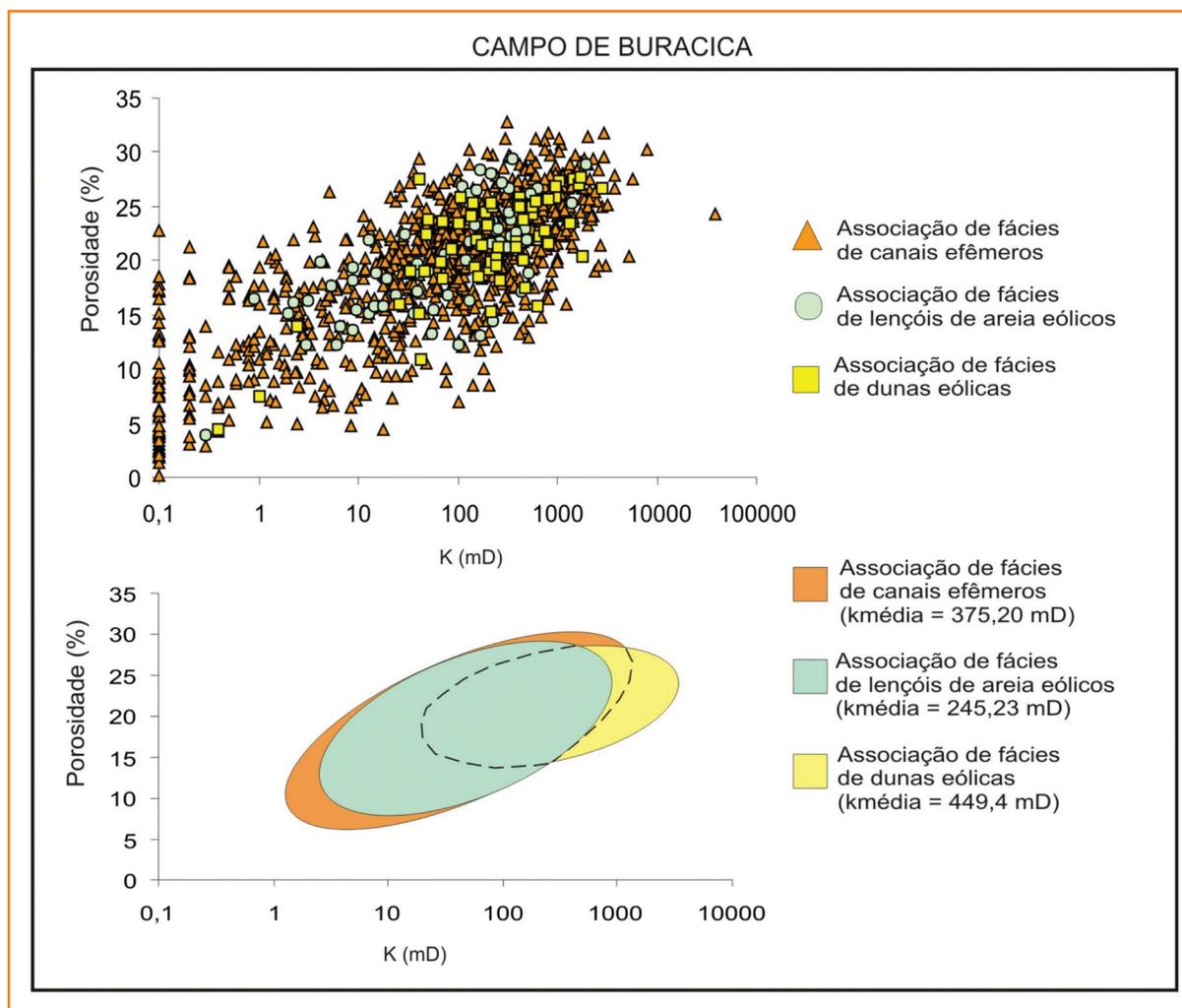


Figura 5
Gráficos de distribuição da permeabilidade das associações de fácies de canais fluviais efêmeros, lençóis de areia eólica e dunas eólicas da Sequência I no campo de Buracica. Na porção superior estão plotados os dados de permeabilidade de todos os pontos, enquanto na porção inferior estão representadas as elipses que englobam mais de 75% das amostras das diferentes associações de fácies. Os demais campos estudados seguem este mesmo padrão.

Figure 5
Diagrams showing the permeability distribution in the ephemeral channels, eolian sandsheets and eolian dunes facies associations of Sequence I, in the Buracica oilfield. In the upper part, all the permeability data is plotted, while the ellipses shown in the lower part represent 75% of the samples of each facies association. Diagrams for the other studied oilfields display the same pattern.

elétricos por um aumento nos valores de densidade (RHOB) e resistividade (ILD) e uma diminuição nos valores de neutrão (NPHI) (fig. 7). Onde a cimentação é intensa, os depósitos conglomeráticos da litofácies Gm podem constituir barreiras de fluxo efetivas, compartimentando os reservatórios fluviais. Entretanto, estes depósitos apresentam uma baixa continuidade lateral, obedecendo às dimensões originais dos canais individuais que, na Sequência I, normalmente não são passíveis de correlação entre dois poços adjacentes (<400m), em cortes transversais ao fluxo. O mesmo raciocínio vale para os depósitos finos (litofácies Sr e Fm) que compõem o topo de depósitos de canais efêmeros, cuja baixa permeabilidade os transforma em potenciais barreiras de fluxo. Entretanto, a reduzida extensão lateral destes depósitos faz com que a sua influência na compartimentação dos reservatórios seja significativa somente na escala interpoços.

Os pacotes da associação de fácies de lençóis de areia eólica apresentam variações nos valores

de permeabilidade das litofácies. Esta associação é caracterizada pela dominância da litofácies Sl(e) que, ocasionalmente, ocorre intercalada com sets isolados da litofácies St(e). A litofácies Sl(e) tende a apresentar valores de permeabilidade menores que a litofácies St(e) (fig. 6). Tal fato ocorre pela litofácies St(e) ser composta por depósitos de fluxo de grãos que, conforme inúmeros autores (e.g. Lindquist, 1988; Chandler *et al.*, 1989; Heward, 1991; Howell e Mountney, 2001), apresentam permeabilidades significativamente maiores que os estratos de marcas onduladas eólicas, principal componente da litofácies Sl(e). Isto resulta do fato de os estratos de fluxo de grãos apresentarem uma melhor seleção granulométrica e um arcabouço mais frouxo que os depósitos de marcas onduladas eólicas.

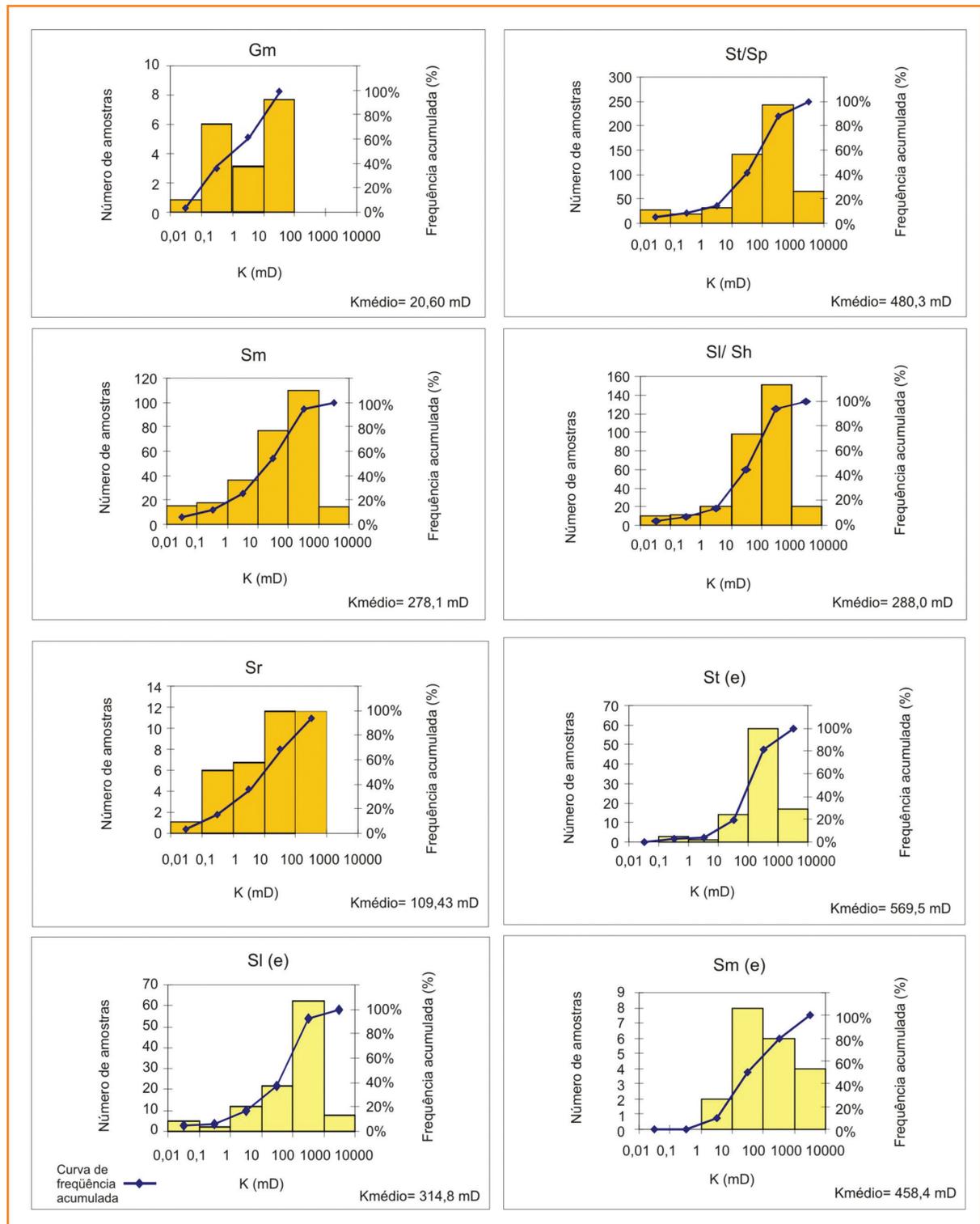
Dominantemente, a associação de fácies de dunas eólicas é composta por sets superpostos da litofácies St(e), que são separados, ocasionalmente, por níveis delgados de depósitos lamosos (litofácies Fm). Os sedimentos finos apresentam uma baixa extensão

Figura 6

Histogramas de distribuição de permeabilidade por litofácies da Sequência I no Campo de Buracica. Os demais campos estudados seguem este mesmo padrão.

Figure 6

Histograms of permeability distribution for the Sequence I lithofacies in the Buracica oilfield. The other oilfields follow this same pattern.



lateral, não sendo possível correlacionar um mesmo nível de interdunas entre dois poços adjacentes em nenhum dos campos estudados. Como regra geral, pode-se afirmar que os depósitos da associação de fácies de dunas eólicas não apresentam, internamente, barreiras de fluxos que possam compartimentar os reservatórios na escala de campo.

sequência II

A Sequência II é caracterizada por corpos arenosos amalgamados de cinturões de canais entrelaçados, separados por superfícies erosivas de 5ª ordem (*sensu* Miall, 1988; 1996), sendo rara a ocorrência de depósitos externos aos canais. Quando presentes,

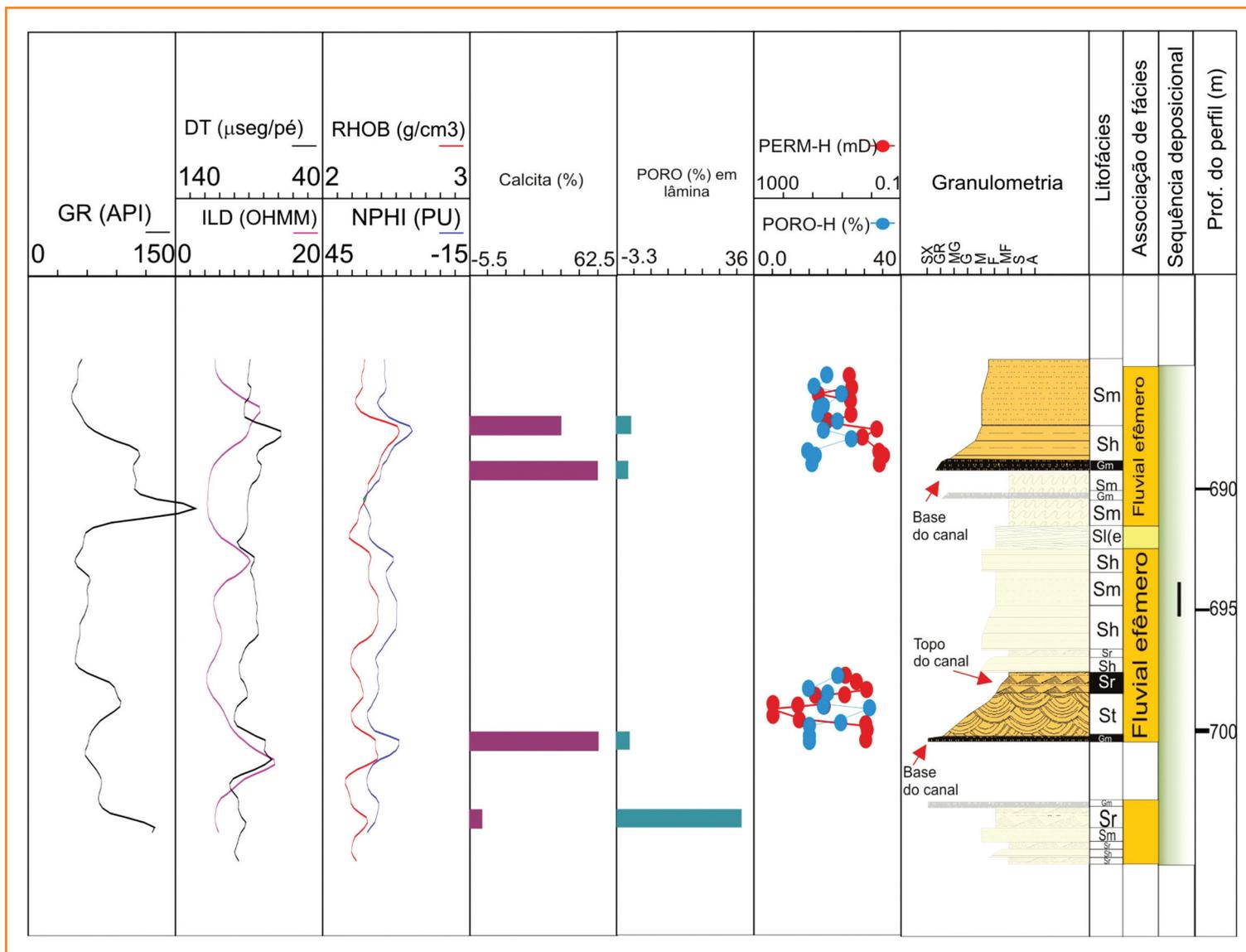


Figura 7 – Distribuição da permeabilidade e porosidade nas sucessões verticais de fácies de canais fluviais efêmeros da Sequência I em poço testemunhado no Campo de Araças. Os depósitos conglomeráticos de base de canal (litofácies Gm) apresentam baixos valores de porosidade e permeabilidade decorrentes de uma intensa cimentação por calcita. Baixos valores de permeabilidade e porosidade também podem ser encontrados no topo de ciclos granodrecrescentes de canais fluviais (litofácies Sr ou Fm).

Figure 7 – Permeability and porosity distribution through facies succession of the Sequence I ephemeral fluvial channels, in a core from the Araças oil field. The conglomeratic deposits at the base of the channels (Gm lithofacies) display low porosities and permeabilities owing to the intense calcite cementation. Low permeability and porosity values are also found at the top of the fining-upward channel cycles (Sr or Fm lithofacies).

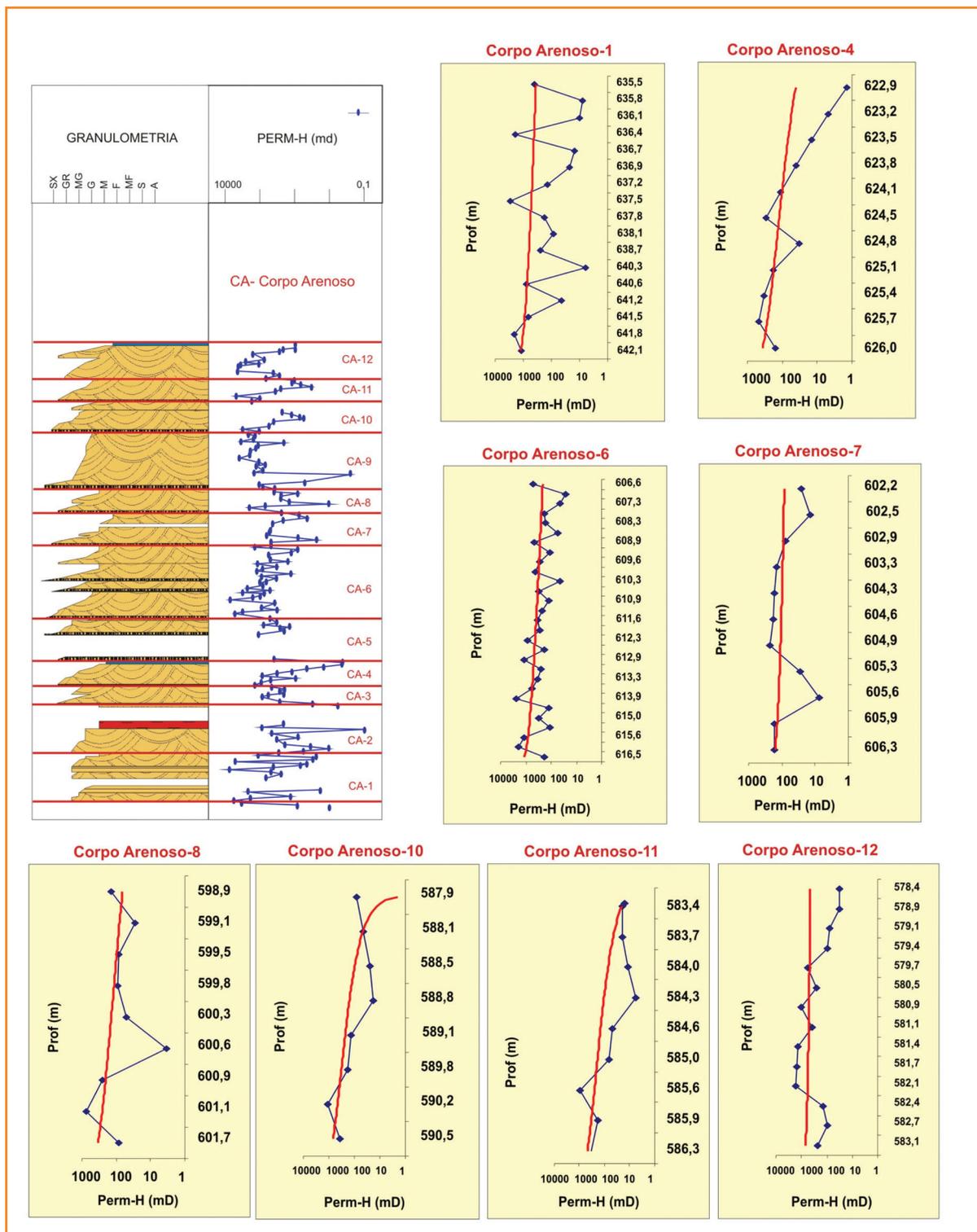
os depósitos finos são de pequena espessura (<1m) e restrita extensão lateral (<1km), permitindo uma conectividade vertical dos corpos arenosos. Internamente, estes corpos apresentam um padrão de granodrecrescência ascendente, caracterizado por conglomerados e arenitos conglomeráticos na base, que gradam para arenitos finos e médios no topo. Algumas vezes ocorrem níveis centimétricos (<1m) de lamitos e siltitos separando os corpos arenosos, sendo os mesmos interpretados como depósitos externos ao canal (*overbank deposits*).

Diferentemente da Sequência I, os reservatórios da Sequência II não apresentam uma correlação entre os tipos de litofácies e os valores de permeabilidade, existindo uma ampla dispersão dos valores nas diferentes litofácies identificadas. Nota-se a existência de um padrão bem definido de variações na permeabilidade dentro dos corpos arenosos. Como regra geral, as variações na permeabilidade e porosidade acompanham a granulometria, existindo uma progressiva diminuição dos valores de permeabilidade em direção ao topo dos corpos arenosos (fig. 8). Por vezes, esse padrão é

Figura 8

Gráficos de permeabilidade x espessura (profundidade) dos corpos arenosos de cinturões de canais entrelaçados da Sequência II, em poço testemunhado do Campo de Buracica. Foram individualizados 12 corpos arenosos, sendo que oito deles (1, 4, 6, 7, 8, 10, 11 e 12) apresentam uma clara tendência de diminuição de permeabilidade em direção ao topo, conforme pode ser observado pela variação dos valores logarítmicos médios.

Figure 8
Permeability x depth diagrams of the Sequence II sandy braided channel belts bodies, in a core from the Buracica oilfield. Twelve sand bodies were individualized, eight of which (1, 4, 6, 7, 8, 10, 11 and 12) show a clear trend of upward decrease in permeability, as it can be observed from the variation of the average logarithmic values.



interrompido devido a uma alta concentração de argilas infiltradas em níveis específicos, produzindo intervalos com baixos valores de permeabilidade (fig. 9). A infiltração de argila ocorre, preferencialmente, após eventos de avulsão, quando o lençol freático ainda encontra-se baixo, permitindo o escoamento vertical da água através da zona vadosa do pacote sedimentar (fig. 10). Os

níveis com alto teor de argila infiltrada podem ocorrer em qualquer intervalo dentro da sucessão de fácies, visto que o processo de concentração da argila é, na maioria dos casos, controlado pelo posicionamento aleatório do nível freático (Moraes e De Ros, 1990) no pacote sedimentar durante os eventos de infiltração, definindo um caráter estratigráfico não-preditivo para

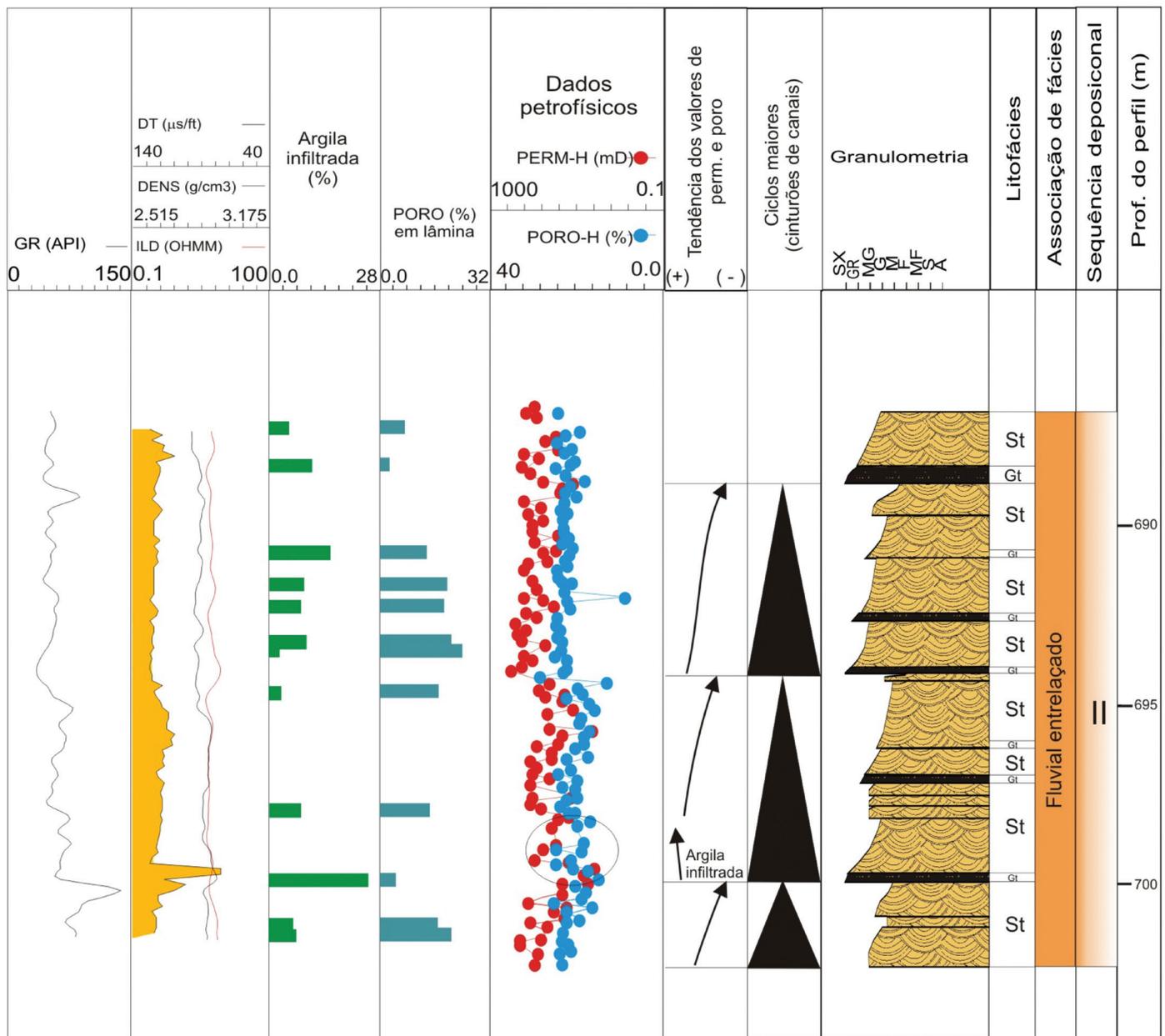


Figura 9 – Distribuição da permeabilidade e da porosidade nas sucessões verticais de fácies de cinturões de canais entrelaçados da Sequência II, em poço testemunhado no Campo de Buracica. Como regra geral, existe uma progressiva diminuição da permeabilidade e da porosidade em direção ao topo dos ciclos maiores, acompanhando a redução granulométrica. Por vezes, este padrão é interrompido em decorrência da alta concentração de argila infiltrada na base dos ciclos, produzindo intervalos com baixos valores de permeabilidade.

Figure 9 – Permeability and porosity distribution through the Sequence II vertical facies successions of braided channel belts in a core from the Buracica oilfield. As a rule, there is a progressive permeability and porosity decrease towards the top of major cycles, following the grain size decrease. In places, this pattern is interrupted by infiltrated clay concentrations at the base of the cycles, resulting in low permeability intervals.

este processo eodiagenético. Entretanto, existe um número significativo de casos onde os picos de argila estão concentrados na base dos corpos arenosos. A concentração de argila infiltrada nestes intervalos ocorre em situações nas quais o lençol freático está muito baixo e a origem da barreira de infiltração está associada a fatores texturais, relacionados à presença

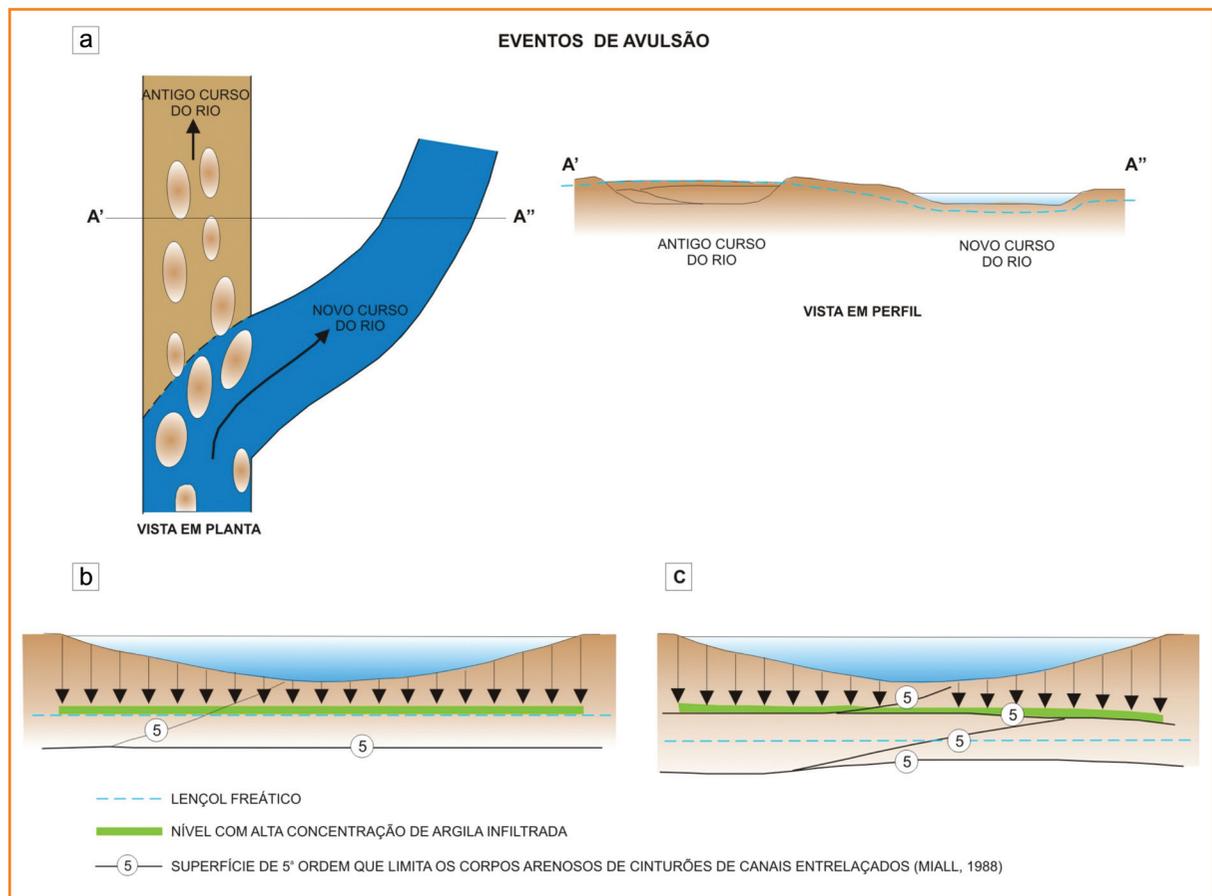
de sedimentos finos do topo dos ciclos de cinturões de canais fluviais entrelaçados (fig. 10). Ambos os padrões se desenvolvem sob as posições preferenciais dos canais fluviais, promovendo a formação de faixas de concentração das argilas infiltradas alongadas segundo a disposição dos canais, que são as principais barreiras de permeabilidade e heterogeneidades na Sequência II.

Figura 10

Modelo para o desenvolvimento das concentrações de argilas infiltradas nos arenitos da Sequência II. Durante e imediatamente após a avulsão dos canais, as argilas são infiltradas nas áreas anteriormente inter-canais, onde o nível freático encontra-se rebaixado (a). As águas infiltrantes depositam as argilas tanto ao longo do nível freático (b), quanto sobre os níveis mais finos associados ao topo dos canais (c). Tais níveis concentram mais argilas sob a posição recorrente dos canais, gerando barreiras de fluxo cuja largura corresponde aproximadamente à largura dos canais.

Figure 10

Model for the development of infiltrated clay concentrations in Sequence II sandstones. During and immediately after channel avulsion, clays are infiltrated in former inter-channel areas, where the phreatic level was lowered (a). The infiltrating water deposits the clays either along the phreatic level (b), or above the finer-grained channel top levels (c). Both levels concentrate more clay below recurrent locations of the channels, generating flow barriers whose width corresponds approximately to the width of the channels.



As constantes avulsões dos cinturões de canais, associadas a um contexto de baixa taxa de criação de espaço de acomodação, resultam em corpos-reservatório com uma alta conectividade vertical e lateral. As principais barreiras de fluxo são os níveis de concentração de argilas infiltradas, facilmente identificados em perfil pelos altos valores de raio-gama. Entretanto, estes níveis apresentam uma baixa continuidade lateral, com extensões inferiores a 2km (vide, em anexo, seções de correlação dos campos), consistindo em barreiras locais do fluxo de fluidos e, portanto, influenciado na produção em áreas restritas dos campos.

Os reservatórios da Sequência I são compostos por arenitos finos a médios, bem a moderadamente selecionados, depositados por sistemas flúvio-eólicos. Os reservatórios da Sequência II, por sua vez, são constituídos por arenitos finos a conglomeráticos, moderadamente a mal selecionados, depositados por sistemas fluviais entrelaçados.

Além das diferenças deposicionais, existem diferenças sistemáticas nos processos diagenéticos dominantes. Os arenitos da Sequência I são caracterizados por cimentação carbonática mais intensa e maior abundância de clorita, enquanto os arenitos da Sequência II apresentam como processo diagenético dominante a infiltração mecânica de argilas, que inibiu os processos subsequentes.

conclusões

Os resultados apresentados no presente trabalho demonstram que as sequências deposicionais I e II (equivalentes a Formação Sergi) apresentam diferenças significativas nas características deposicionais e diagenéticas, as quais influenciam decisivamente na definição dos padrões de heterogeneidades e de distribuição da porosidade e permeabilidade.

agradecimentos

Agradecemos à Petrobras pela licença para publicar este trabalho, e pelo suporte, junto com a FINEP, ao projeto de estudo estratigráfico e petrológico dos reservatórios Sergi, coordenado por C.M.S.S. Agradecemos especiais aos participantes do projeto, e ao CNPq pelas bolsas de pesquisa concedidas aos autores.

referências bibliográficas

BONGIOLO, D. E. **Estratigrafia de alta resolução dos reservatórios flúvio-eólicos da Formação Sergi (Jurássico Superior), Campo de Araçás, Bacia do Recôncavo, Bahia**. 2004. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2004.

BRUHN, C. H. L.; DE ROS, L. F. Formação Sergi: evolução de conceitos e tendências na geologia de reservatórios. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p. 25-40, 1987.

CHANDLER, M. A.; KOCUREK, G.; GOGGIN, D. J.; LAKE, L. W. Effects of stratigraphy heterogeneity on permeability in eolian sandstone sequence, Page Sandstone, Northern Arizona. **AAPG Bulletin**, Tulsa, v. 73, p. 658-668, 1989.

DE BONA, J.; DANI, N.; KETZER, J. M.; DE ROS, L. F. Dickite in shallow oil reservoirs from Recôncavo Basin, Brazil: diagenetic implications for basin evolution. **Clay Minerals**, v. 43, p. 213-233, 2008.

DE CESERE, P.; PONTE, F. C. Análise comparativa da paleogeografia dos litorais atlânticos brasileiros e africano. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 11, n.1, p. 1-18, 1997.

DE ROS, L. F.; MORAD, S.; PAIM, P. S. G. The role of detrital composition and climate on the diagenetic evolution of continental molasses: evidence from the Cambro-Ordovician Guaritas Sequence, southern Brazil. **Sedimentary Geology**, v. 92, p. 197-228, 1994.

DE ROS, L. F.; SCHERER, C. M. S. Stratigraphic controls on the distribution of diagenetic processes, quality and heterogeneity of fluvial-aeolian reservoirs from the Recôncavo Basin, Brazil. In: MORAD, S.; KETZER, J. M. (Eds.). **Linking Diagenesis to Sequence Stratigraphy of Sedimentary Rocks**. Oxford: International Association of Sedimentologists, Blackwell Scientific Publications, 2000. (IAS Special Publication, 41).

DUTTA, P. K.; SUTTER, L. J. Alluvial sandstone composition and paleoclimate II. Authigenic mineralogy. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 56, p. 346-358, 1986.

FISCHER, C.; GAUPP, R.; DIMKE, M.; SILL, O. A 3D high resolution model of bounding surfaces in aeolian-fluvial deposits: an outcrop analogue study from Permian Rotliegend, Northern Germany. **Journal of Petroleum Geology**, v. 30, n.3, p. 257-274, 2007.

FOLK, R. L. **Petrology of Sedimentary Rocks**. Texas: Hemphill's Publishing Company, 1968. 107 p.

FRIEDMAN, G. M. Staining. In: CARNER, R. E. (Ed.). **Procedures in Sedimentary Petrology**. New York: John Wiley, p. 511-530, 1971.

FÜCHTBAUER, H. Influence of different types of diagenesis on sandstone porosity. In: WORLD PETROLEUM CONGRESS, 7., 1967, Mexico. **Proceedings**, Mexico, 1967. v. 2, p. 353-369.

GARCIA, A. J. V.; MORAD, S.; DE ROS, L. F.; AL-AASM, I. S. Paleogeographical, paleoclimatic and burial history controls on the diagenetic evolution of Lower Cretaceous Serraria sandstones in Sergipe-Alagoas Basin, Brazil. In: MORAD, S. (Ed.). **Carbonate Cementation in Sandstones**. Oxford: International Association of Sedimentologists, Blackwell Scientific Publications, 1998. p. 107-140 (IAS Special Publication, 26).

HEWARD, A. P. Inside Auk: the anatomy of an eolian oil reservoir. In: MIAL, A. D.; TYLER, N. (Eds.). **The three-dimensional facies architecture of terrigenous clastic sediments and its implications for hydrocarbon discovery and recovery**. Tulsa: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 1991. p. 44-56. (Concepts in Sedimentology and Paleontology, 3).

HOWELL, J.; MOUNTNEY, N. Aeolian grain flow architecture: hard data for reservoir models and implication for red beds sequence stratigraphy. **Petroleum Geoscience**, Beaconsfield, v. 7, p. 51-56, 2001.

JONES, L. S.; SCHUMM, S. A. Causes of avulsion: an overview. In: SMITH, N.D. ROGERS, J. (Eds.). **Fluvial Sedimentology IV**. Oxford: International Association of Sedimentologist, 1999. p. 171-178. (IAS Special Publication, 28).

KESSLER, L. G. Diagenetic sequence in ancient sandstones deposited under desert climatic conditions. **Journal of Geological Society of London**, v. 135, p. 41-49, 1978.

- LANSON, B.; BEAUFORT, D.; BERGER, G.; BAUER, A.; CASSAGNABERE, A.; MEUNIER, A. Authigenic kaolin and illitic minerals during burial diagenesis of sandstones: a review. **Clay Minerals**, v. 37, p. 1-22, 2002.
- LANZARINI, W. L.; TERRA, G. J. S. Fácies sedimentares, evolução da porosidade e qualidade de reservatório da Formação Sergi, campo de Fazenda Boa Esperança, Bacia do Recôncavo. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 3, p. 365-375, 1989.
- LINDQUIST, S. J. Practical characterization of eolian reservoirs for development: Nugget Sandstone, Utah-Wyoming thrust belt. **Sedimentary Geology**, v. 56, p. 315-359, 1988.
- McBRIDE, E. F.; LAND, L. S.; MACK, L. E. Diagenesis of eolian and fluvial feldspathic sandstones, Norphlet Formation (Upper Jurassic), Rankin County, Mississippi, and Mobile County, Alabama. **AAPG Bulletin**, v. 71, p. 1019-1034, 1987.
- MIALL, A. D. **The Geology of Fluvial Deposits: sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology**. Heidelberg: Springer-Verlag, 1996, 582 p.
- MIALL, A. D. Facies Architecture in clastic sedimentary basins. In: KLEINSPEHN, K. L.; PAOLA, C. (Eds.). **New perspectives in basin analysis**. Berlin, Springer-Verlag, 1988, p. 67-81.
- MORAES, M. A. S.; DE ROS, L. F. Infiltrated clays in fluvial Jurassic sandstones of Recôncavo Basin: northeastern Brazil. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 60, p. 809-819, 1990.
- MORAES, M. A. S.; DE ROS, L. F. Depositional, infiltrated and authigenic clays in fluvial sandstones of the Jurassic Sergi Formation, Recôncavo Basin, northeastern Brazil. In: HOUSEKNECHT, D. W. E PITTMAN, E. W. (Eds.). **Origin, Diagenesis and Petrophysics of Clay Minerals in Sandstones**. Tulsa: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 1992. p. 197-208. (SEPM Special Publication, 47).
- NORTH, C. P.; PROSSER, D. J. **Characterization of fluvial and aeolian reservoirs**. London: Geological Society of London, 1993, 450 p. (GSL Special Publication, 73).
- OLIVEIRA, F. M. **Análise estratigráfica da formação Sergi, Campo de Fazenda Bálamo, Bacia do Recôncavo, Bahia**. 2005. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2005.
- PINHO, G. C. **Evolução Diagenética dos Arenitos da Formação Sergi no Campo de Fazenda Bálamo, Norte da Bacia do Recôncavo**. 1987. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 1987.
- RODRIGUES, C. R. O. **Argilominerais na Evolução Diagenética dos Arenitos da Formação Sergi, Jurássico, Bacia do Recôncavo, Brasil**. 1990. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 1990.
- ROSSEL, N. C. Clay mineral diagenesis in Rotliegend aeolian sandstones of the southern North Sea. **Clay Minerals**, v. 17, p. 69-77, 1982.
- SCHERER, C. M. S.; LAVINA, E. L. C.; DIAS FILHO, D. C.; OLIVEIRA, F. M.; BONGIOLO, D. E.; AGUIAR, E. S. Stratigraphy and facies architecture of the fluvial-eolian-lacustrine Sergi Formation (Upper Jurassic), Recôncavo Basin, Brazil. **Sedimentary Geology**, v. 194, p. 169-193, 2007.
- 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 Publishing, 1976, p. 240-282.
- WALKER, T. R.; WAUGH, B.; CRONE, A. J. Diagenesis in first-cycle desert alluvium of Cenozoic age, southwestern United States and northwestern Mexico. **Geological Society of America Bulletin**, v. 89, p. 19-32, 1978.
- WAUGH, B. Diagenesis in continental red beds as revealed by scanning electron microscopy: a review. In: WHALLEY, W. B. (Ed.). **Scanning electron microscopy in the study of sediments**. Geoabstracts, Norwich, England, 1978, p. 329-346.

expanded abstract

This work identifies the influence of stratigraphic architecture, depositional geometry, distribution patterns and evolution of diagenetic processes on the definition of heterogeneities in the Sergi Formation fluvial-eolian reservoirs in the Recôncavo Basin. This is based on data from the Araçás, Buracica, Águas Grande and Fazenda Bálsamo oil fields. The Sergi Formation can be subdivided into three sequences, bounded by unconformities (Scherer et al., 2007). This study has focused only on sequences I and II. Sequence I is made up of lacustrine mud deposits at the base, which pass upwards to fine to medium-grained sandstones deposited by eolian dunes and sandsheets and ephemeral fluvial channels, defining a progradational pattern related to a progressive decrease of the rate of accommodation space creation, and/or an increase in sediment supply. The fluvial strata show paleocurrents towards the NE, while the eolian dunes migrated towards the SW. Sequence II is made up of dominantly coarse and commonly conglomeratic sandstones deposited by braided channel belts showing paleocurrents towards the NW.

The Sergi Formation reservoirs display depositional and diagenetic heterogeneities that control the porosity and permeability distribution under different hierarchical scales. Sequence I is characterized by a close relationship among eolian, fluvial and lacustrine deposits, which are laterally and vertically intercalated, forming a very complex depositional architecture. The main reservoirs in this sequence are the facies associations of fluvial channels, and of eolian dunes and sandsheets. Depositional flow barriers are represented by fluvial-lacustrine facies associations, which are more frequently intercalated, and with larger lateral continuity, at the base of Sequence I. Even though fluvial and eolian facies associations form reservoirs, there are significant differences in the porosities and permeabilities of these deposits. The sandstones of the eolian dune facies association are more porous and permeable than those of the other facies associations. Internally, the diversity of facies associations results in textural and structural variations, which are responsible for the heterogeneities at the facies scale within the reservoirs. The main flow barriers at this scale are the conglomeratic lags of mud and calcrete intraclasts deposited at the base of channel cycles. These intraclastic lags are commonly pervasively cemented by abundant pre-compactional calcite, which form local barriers to fluid flow. The extension of

these barriers corresponds to that of the intraclastic lags, which seldom exceeds a few hundred meters (interwell scale).

The Sequence II reservoirs are characterized by amalgamated sand bodies from braided channels belts, bounded by erosional surfaces. These sand bodies are internally represented by a fining-upward pattern, defined by conglomeratic sandstones and conglomerates at the base, grading to fine to medium-grained sandstones at the top. The permeability distribution tends to follow the grain-size, with a progressive decrease towards the top of the sand bodies. However, this pattern is interrupted in many levels due to concentrations of mechanically infiltrated clays. The concentrations of infiltrated clays occur in the Sergi Formation basically according to two main patterns: a) above depositional permeability barriers, most commonly above the finer-grained tops of Sequence II fluvial channel cycles; b) along the water table position during the infiltration events, so that they are not related to the depositional surfaces and occur by cutting them. Both patterns generate permeability barriers with lateral extension controlled by the width of the channels belts.

The Sergi Formation reservoirs heterogeneities were promoted by a combination of stratigraphic architecture, depositional geometry and diagenetic patterns. An integrated stratigraphic-petrologic analysis has defined parameters to construct models of reservoir quality and heterogeneities that can be applied to develop oil fields producing from the Sergi Formation, as well as to predict the quality of Sergi reservoirs in exploration areas.