

QUAIS AS POSSIBILIDADES DE UM SISTEMA PETROLÍFERO NA BACIA DO PARNAÍBA?

Santos, V.H.¹ (LENEP/UENF), Lima Filho, M.F.² (UFPE) & Neumann, V.H.² (UFPE)

¹ Laboratório de Engenharia e Exploração de Petróleo
Rod. Amaral Peixoto, Km 163 - Av. Brenand s/n – Imboacica –
Macaé/RJ – CEP: 27925-310, petrovic@lenep.uenf.br

² Departamento de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

RESUMO

Um sistema petrolífero compreende, a existência e o funcionamento síncronos de quatro elementos (rochas geradoras maduras, reservatórios, selantes, e trapas) e dois fenômenos geológicos dependentes do tempo (migração e sincronismo). Na Bacia do Parnaíba, a análise e correlações detalhadas de perfis no intervalo entre o topo da Formação Jaicós (Eodevoniano) e a base da Formação Poti Eocarbonífera possibilitaram a identificação de 52 marcos estratigráficos que receberam informalmente uma numeração crescente, da base para o topo, M950 até M010. O intervalo com potencial de rocha geradora do possível sistema petrolífero é representado do marco M010 ou Jaicós até o marco M550, que corresponde à Formação Itaim e parte da Formação Pimenteiras. No marco M550 encontra-se assinalada uma superfície de inundação máxima, o qual registra um alto teor de carbono orgânico. As rochas que apresentam um potencial de rocha reservatório estão entre os marcos M550 e M200, que correspondem parte das formações Pimenteiras e Cabeças. Esse intervalo apresenta um domínio de lamitos e fácies tempestíticas. Entretanto, a partir do marco M250 para cima, há o predomínio de arenitos sobre lamitos, intervalo com arenitos de geometria lobadas. O traçamento é dado, por característica estratigráfica, do intervalo transgressivo da seqüência devoniano-eocarbonífera que estão entre os marcos M200 e M110, considerado este como uma superfícies de inundação máxima, corresponde à metade inferior da Formação Longá. E um intervalo regressivo representado pela seqüência entre o marco M110 e o topo da parasseqüência, logo abaixo do marco M015, que marca a o final da fase transgressiva da seqüência sobrejacente, correspondente à Formação Poti. A evolução tectono-sedimentar devoniana e eocarbonífera da Bacia do Parnaíba propiciou a existência de rochas geradoras, reservatórios, selantes e trapas, elementos-chave de um sistema petrolífero. No entanto, até agora os estudos realizados não apontam para uma geração suficiente e consequentemente sua migração.

Palavras chave – Bacia do Parnaíba , sistema petrolífero, análogos, reservatórios

1. INTRODUÇÃO

A Bacia do Parnaíba é uma extensa área que está inserida na plataforma Sul-americana, localizada no nordeste brasileiro, preenchida principalmente por rochas paleozóicas (Figura 1). Dentre as bacias intracratônicas brasileiras, talvez seja a menos conhecida, sendo atualmente considerada, do ponto de vista da geologia do petróleo, uma bacia de fronteira exploratória. Com o início da prospecção petrolífera pela Petrobras na Bacia Parnaíba em meados da década de '70, foi dado um salto quantitativo e qualitativo no seu conhecimento litoestratigráfico, paleontológico e paleoambiental, observado pelos trabalhos de Andrade & Daemon (1974), Daemon (1974 e 1976), Carozzi et al. (1975), Della Fávera (1980, 1982, 1984 e 1990), Quadros (1982), Caputo (1984) e Góes et al. (1990). A Petrobras nas décadas de 1960 a 1980, em esforços exploratórios resultaram na descoberta de indícios e acumulações subcomerciais de hidrocarbonetos. Recentemente, a Agência Nacional do Petróleo (ANP) mostrou interesse em reativar a exploração de petróleo nessa bacia, oferecendo um bloco exploratório na Quarta Rodada de Licitações (*Brazil Round 4*) e concluído um programa de levantamento de dados aerogravimétrico e aeromagnetométricos.

2. GEOLOGIA DA BACIA DO PARNAÍBA

2.1 Arcabouço Tectono-Sedimentar

O desenvolvimento tectono-sedimentar da Bacia Parnaíba é atribuído à estruturação precursora relacionada aos pulsos terminais do Ciclo Brasileiro (cerca de 500Ma), responsável pela formação de grábens distribuídos por toda a bacia, com eixos orientados de nordeste a norte. A influência desta tectônica no desenvolvimento da sedimentação pós-ordoviciano marcou pronunciadamente as primeiras fases deposicionais na bacia (Góes et al., 1994). Cunha (1986) reconheceu a enorme influência dos pulsos terminais do Ciclo Brasileiro cambro-ordovicianos sobre a sedimentação subsequente da Bacia Parnaíba. Em função desta tectônica terminal, formaram-se grábens ou riftes precursores, com eixos orientados de nordeste a norte-sul, preenchidos por

sedimentos imaturos. As áreas subsidentes dos riftes precursores e o lineamento denominado Picos-Santa Inês (Cunha, 1986 e Góes et al., 1989) influenciaram principalmente na sedimentação ocorrida durante o Devoniano.

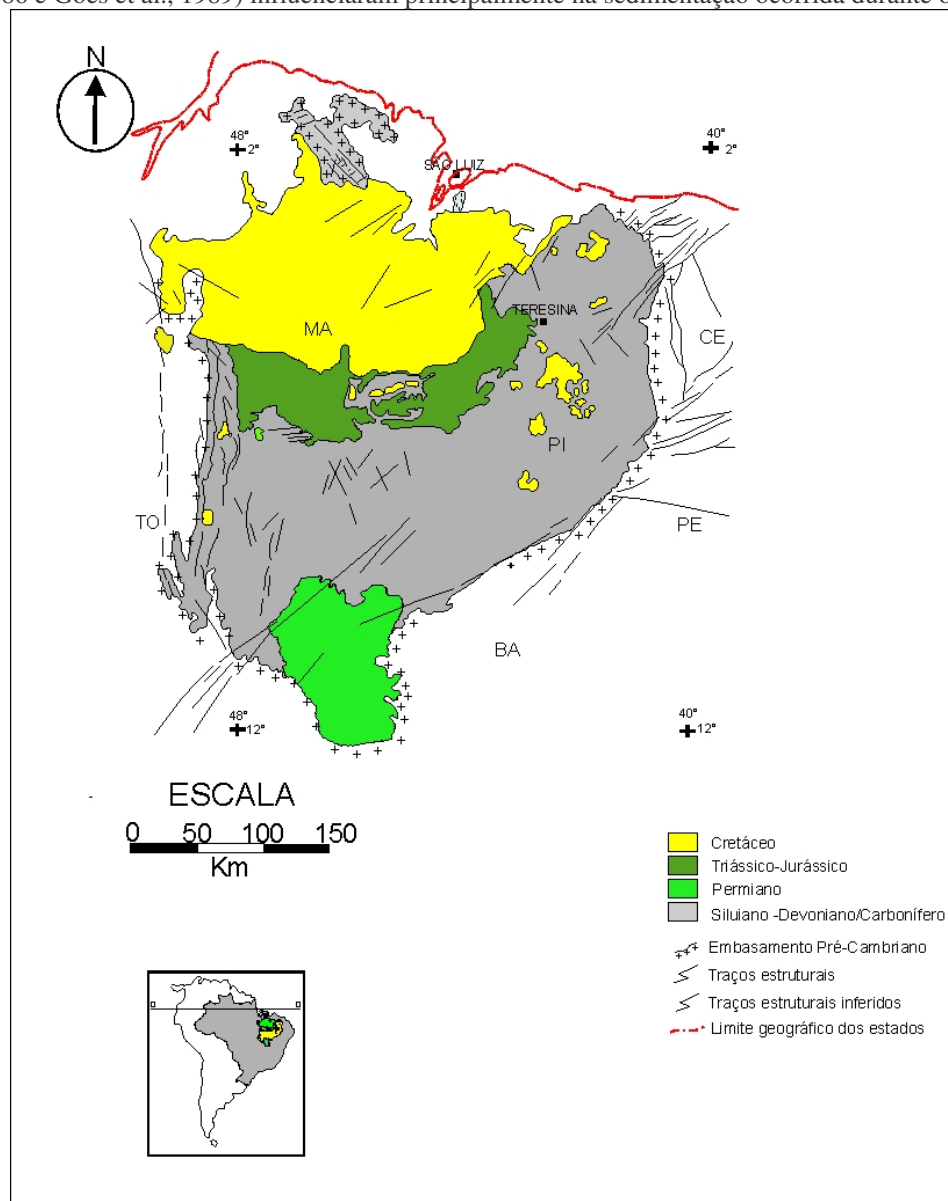


Figura 1: Localização da Bacia Parnaíba, com dados estruturais e estratigráficos. (Mod. de CPRM 2002).

A evolução termo-mecânica da área resultou numa grande depressão ordovicianiana, sobre a qual se depositaram sedimentos flúvio-deltaicos a marinhos rasos do Grupo Serra Grande. O final desta sedimentação reflete os efeitos da orogenia caledoniana, que causou uma discordância de caráter regional (Góes et al., 1990). O desenvolvimento contínuo dos processos termiais, aliado à influência de natureza flexural, resultou num notável aumento da sedimentação durante o Devoniano, registrado pela Formação Jaicós do Grupo Serra Grande. O término dessa sedimentação é caracterizado por uma expressiva discordância regional associada aos efeitos da Orogenia Eoherciniana ocorrida no Eocarbonífero, também representada na porção central da bacia por falhamentos normais e estruturas ligadas à falhas reversas (Góes et al., 1990).

Acima desta discordância regional, a sedimentação recomeça durante o Neocarbonífero, com progressiva desertificação e deslocamento de depocentros para a parte mais central da bacia. Esta fase inicial de continentalização corresponde ao Grupo Balsas (Góes et al., 1990). No Jurássico, os efeitos da tectônica extensional entre os continentes sul-americano e africano provocavam o magmatismo intrusivo e extrusivo, seguido da deposição clástica, do Grupo Mearim: formações Pastos Bons e Corda (Góes et al., op. cit.). O Cretáceo está representado na bacia por duas fases distintas. A primeira está relacionada a eventos tectônicos neocomianos, representada por falhas reversas e dobramentos compressivos com trends em direção noroeste (Góes & Feijó, 1994). A segunda fase é o encerramento do ciclo sedimentar, com uma deposição lacustre a

continental das formações Codó/Grajaú e Itapecurú, limitadas à porção norte-noroeste da bacia (Góes et al., 1990).

A proposta estratigráfica adotada neste trabalho é a mais recente (Góes & Feijó, 1994), baseada em dados de subsuperfície da Petrobras. Para esses autores, a Bacia Parnaíba, com uma área aproximada de 400.000km² e 3000m de espessura de rochas siliciclásticas e carbonáticas, representa a porção remanescente de uma extensa sedimentação afro-brasileira, envolvendo três grandes ciclos transgressivo-regressivos que ocorreram desde o Siluriano até a continentalização da bacia (Triássico), representados pelos grupos Serra Grande, Canindé e Balsas. A partir de Figueiredo & Gabaglia (1986), há uma tendência em considerar esta bacia como policíclica, inclusive com a separação em várias “sub-bacias”. Góes & Feijó (1994) denominaram de Província Sedimentar do Meio Norte o conjunto das rochas paleo-, meso- e cenozóicas compartimentada em diferentes bacias com gênese e idades distintas, denominadas de Bacia Parnaíba, Bacia Alparagatas, Bacia do Grajaú e do Espigão-Mestre.

Já a antíclise das Alparagatas, segundo Góes & Feijó (1994) com espessura de cerca de 200m, seria o resultado de eventos precoces (jurássicos) relacionados à abertura do Atlântico Sul. Nesse período, ocorreu o abatimento da região central da Província Sedimentar do Meio Norte, com a instalação de um sistema de riftes que contém rochas sedimentares flúvio-lacustres (formações Pastos Bons e Corda) e vulcânicas associadas, de idade jurássica e eo-cretácica (formações Mosquito e Sardinha).

No Cretáceo, com a efetiva abertura do Atlântico Sul, foram gerados novos depocentros, ao norte denominado Bacia do Grajaú, com sedimentação eólico-lacustre (formações Codó, Grajaú e Itapecurú) que atinge 800m de espessura, e a sul, denominado Bacia Espigão Mestre, com depósitos predominantemente flúvio-eólicos (Grupo Areado e Formação Urucuia) de cerca de 400m de espessura (Figueiredo & Gabaglia, 1986). Assim sendo, e seguindo o proposto por Góes & Feijó (1994), a Bacia do Parnaíba está representada apenas por rochas paleozóicas, correspondentes aos grupos Serra Grande, Canindé e Balsas, que tiveram um desenvolvimento tectônico e sedimentar associado à subsidência do embasamento da bacia dentro do contexto evolutivo do paleocontinente Gondwana. Os aspectos tectônicos sedimentares observados após o Grupo Balsas estão diretamente associados ao processo de ruptura do Gondwana, sendo considerados como bacias de evolução distinta da Bacia do Parnaíba, de acordo com o sugerido por Rosseti et al. (2001).

2.2. Aspectos Paleogeográficos da Bacia do Parnaíba

Do Siluriano ao Neodevoniano, ocorreram grandes alterações na configuração dos continentes, com extensos espalhamentos oceânicos (Johnson et al. 1985; Sheridan, 1987) e alteração nos pólos gelados que migraram do sul da América do Sul para o centro da África (Van der Voo, 1988). Com essa migração, eventos climáticos como glaciações tiveram um caráter simultâneo e global (Boecker & Denton, 1990), de modo que os depósitos glaciais auxiliam grandemente na localização paleogeográfica de registros sedimentares desta época, funcionando como verdadeiras camadas-guia.

As variações eustáticas do nível do mar ocorrem no decorrer do tempo em ciclos de maior ou menor variação (Plint et al., 1992). Para o período aqui estudado, admite-se que a movimentação continental tenha causado uma grande tendência transgressiva com pequenos pulsos regressivos relacionados a períodos glaciais, que causaram um rebaixamento do nível eustático, devido à retirada de água dos mares (Johnson et al., 1985). É possível visualizar estas variações correlacionando as glaciações registradas na curva global no nível do mar apresentadas por Plint et al. (1992) e as formações sedimentares da Bacia Parnaíba.

Estudos de isótopos de oxigênio, carbono e estrôncio da chamada Estratigrafia Química têm aprimorado a capacidade de identificar ‘quebras’ isotópicas mundialmente correlacionáveis numa sequência sedimentar, considerando que um período glacial modifica todo o quimismo dos oceanos, alterando conseqüentemente o equilíbrio entre isótopos estáveis. Rodrigues (1989) identificou uma destas ‘quebras’ isotópicas de carbono em algumas seções das bacias do Amazonas, Solimões e Parnaíba, com indícios de um período glacial na passagem dos folhelhos para os diamictitos glaciogênicos. Esta ‘quebra’ coincide com outras encontradas em seções devonianas seguramente datadas (Goodfellow et al., 1988) e relacionadas a um evento de extinção faunística ocorrido no eodevoniano (entre o Frasniano e o Famêniano), e sugeriu que o mesmo tenha ocorrido na Bacia Parnaíba. O ápice da subida do nível eustático desta época é representado por sedimentos depositados aparentemente sob condições anóxicas, que ocorrem na maioria das bacias paleozóicas. Na Bacia Parnaíba, em subsuperfície, este evento é relacionado ao marco 550 (Della Fávera, 1990).

3. DISCUSSÕES DE DADOS

3.1 Faciologia e Elementos Arquiteturais em Afloramentos

Para a realização da presente investigação sobre as seqüências devoniana e eocarbonífera aflorantes da Bacia do Parnaíba, como subsídio análogo para o entendimento de possíveis rochas-reservatório de hidrocarbonetos, foram estudados dez afloramentos selecionados. Localizam-se todos na região central do Estado do Piauí, estando geologicamente inseridos em uma área da borda sudeste da Bacia do Parnaíba. Dos dez afloramentos selecionados por sua extensão e/ou representatividade, três mostram estratos silurianos e quatro devonianos. A

Tabela 1 sintetiza algumas informações básicas (denominação, grupo, formação e localização detalhada) destes afloramentos.

Tabela 1. Denominação (referência), grupo, formação e localização dos afloramentos estudados neste trabalho.

Nome do afloramento	Grupo	Formação	Localização e coordenadas (UTM)
Ipú 1 (IP-1) Serra Vermelha	Serra Grande	Ipú	Km 13 da rodovia PI-140, a partir da cidade de São Raimundo Nonato, Piauí; coordenadas: X - 226077 e Y - 9176898
Jaicós 1 (JC-1)		Jaicós	Km 40 na BR-316, a partir da cidade de Marcolândia, Piauí, nas proximidades da localidade de Vila Nova do Piauí; coordenadas: X - 289765 e Y - 9206848
Jaicós 3 (JC-3)		Jaicós	Km 394 da BR-407, a 33km da cidade Jaicós, Piauí; coordenadas: X - 249382 e Y - 9170100
Itaim/Pimenteiras 1 (ITP-1)	Canindé	Itaim/Pimenteiras	Km 75 da rodovia PI-140, a partir da cidade de São Raimundo Nonato, Piauí; coordenadas: X - 726392 e Y - 9113554
Itaim/Pimenteiras 2 (ITP-2) Itainópolis		Itaim/Pimenteiras	Km 38 da rodovia PI-245, a partir da cidade de Picos, Piauí, sentido Itainópolis; coordenadas: X - 226077 e Y - 9176898
Cabeças 1 (CAB-1) Oeiras		Cabeças	Km 104 da BR-230, a partir da cidade de Picos, Piauí, na entrada da cidade de Oeiras, coordenadas: X -188857 e Y - 9225236
Cabeças 2 (CAB-2) Ipiranga		Cabeças	Km 50 da BR-316, a partir da cidade de Picos, Piauí, sentido Teresina; coordenadas: X - 197270 e Y - 9244978
Poti 1 (PT-1) Barragem Salinas		Poti	Km 70 apartir da cidade de Oeiras-PI pela BR-230, nas proximidades da cidade de Nazaré do Piauí-PI.
Poti 2 (PT-2) Riacho Jenipapeiro		Poti	Km 10 da PI 120 (não pavimentada) proximo a cidade de Francisco Ayres. O acesso a essa estrada é dado pelo km 32 da BR 343 apartir do entroncamento com a BR 230.
Poti 3 (PT-3) Cajazeiras		Poti	Km 68 apartir do afloramento do Riacho Jenipapeiro, porém no km 36 (cidade de Arraial-PI) deve-se seguir pela PI 239 em direção a Cajazeiras-PI até o km 32.

Na porção estudada da Bacia do Parnaíba, oito fácies sedimentares e suas associações foram identificadas, sendo a seguir descritas em suas principais características, com base em dez afloramentos selecionados por sua extensão ou pela espessura de sua exposição. A interpretação genética dos processos responsáveis por suas deposições é discutida igualmente, numa tentativa de entender a evolução da seqüência devoniano-eocarbonífera. Sete fácies foram identificadas em ambos os grupos estratigráficos, com variações que são mencionadas em detalhe na discussão de cada afloramento, denominadas pelas siglas propostas por Miall (1996).

- Gcm: conglomerado maciço suportado por clastos (afloramentos IP-1 e JC-1)
- Sl: arenito com estratificação cruzada de baixo ângulo (afloramentos JC-3, e ITP-2)
- Sp: arenito com estratificação cruzada planar (afloramentos IP-1, JC-1 e JC-3, ITP-1 e CAB-1)
- St: arenito com estratificação cruzada acanalada (afloramentos IP-1, JC-1, CAB-2 e PT-2)
- Sr: arenito com marcas de ondas ou hummocky (afloramentos ITP-1, ITP-2, CAB-1, CAB-2 e PT-1)
- Sh: arenito (com folhelho intercalado) com estratificação planoparalela ou climbing ripples (afloramentos PT-1 e PT-3).
- Fl: siltito a arenito muito fino estratificado (afloramento IP-1) ou com climbing ripples ou acamamento ondulado (afloramentos PT-2 e PT-3).

O arranjo dos elementos arquiteturais sugerido por Miall (1996) tem-se mostrado bastante útil para a modelagem 3D de sucessões fluviais, deltaicas e plataformais, de modo que é comumente utilizado na caracterização de reservatórios (Dreyer, 1993).

Nos afloramentos aqui estudados e descritos, seis elementos arquiteturais foram reconhecidos (Tabela 2): canais (CH), depósitos de acreção lateral (LA), feições de transbordamento (OF), depósitos de fluxo

gravitacional (SG), lençóis laminados de areia (LS) e camadas de areia (SB). Apesar de denominados de igual forma, muitos podem ter sido gerados por diferentes processos hidrodinâmicos e sedimentares.

Tabela 2: Identificação e caracterização dos elementos arquiteturais identificados nos afloramentos analisados no presente estudo.

Afloramento	Associação faciológica	Elemento arquitetural	Sigla
IP-1	Sp, St, Fl, Gcm	canal com barras de acreção lateral	CH + SG + LA
JC-1	Sp, St, Gcm	canal com barras de acreção lateral	CH + LA
JC-3	Sp, Sl	barras de acreção lateral	LA
ITP-1	Sp, Sr	camadas de areia c/ acreção à jusante	LA + SB
ITP-2	Sr, Sh, Sl, St	lençol de areia e canais	CH + SB + LS
CAB-1	Sr, Sp	canal de transbordamento (overbank)	CH + OF
CAB-2	Sr, St	canal de transbordamento (overbank)	CH + OF
PT-1	Sr, Sh	lençol de areia	LS
PT-2	Fl, St	lençol de areia e canais	CH + LS
PT-3	Fl, Sh	lençol de areia	LS

O canal (CH) é o elemento arquitetural mais abundante, estando presente em seis dos 10 afloramentos: IP-1, JC-1, ITP-2, CAB-1, CAB-2 e PT-2. É composto principalmente por siltitos, arenitos finos a grossos e níveis cascalhosos, em combinação faciológica (St, Sp, Sl, Sh, Sr) ora agrupada em seqüência vertical, ora isolada. Sucessões granodecrescentes ascendentes não são comuns, sendo somente desenvolvidas se houver uma base erosiva e leitos seixosos. A fácies St, com estratificação cruzada acanalada, é a que apresenta este elemento de forma mais característica, mas seqüências aparentemente maciças podem conter estruturas sedimentares com lentes de argila no topo (fácies Sl). A diminuição de energia no fluxo do canal são representadas pela fácies Sh, e seu aumento pela fácies Sr. O elemento relacionado a depósitos de acreções laterais (LA) ocorre nos afloramentos IP-1 JC-1 e JC-2, representando a migração de barras laterais associados a sistemas fluviais do tipo entrelaçado (braided). Os depósitos de acreção lateral estão representados nos afloramentos pela associação de fácies Sp, St, Fl e Gcm. Os sets destes depósitos são compostos com arenitos finos a médios e siltes com estratificação cruzada planar de baixo ângulo (<25°), e acanalada de pequeno porte, na parte superior das seqüências. Depósitos de fluxo gravitacional representam o elemento SG, restrito apenas ao afloramento IP-1. É associado a depósitos de fluxo gravitacional da parte proximal de leques periglaciais das fácies Fl e Gcm. É composto principalmente por camadas areníticas com seixos em forma de ‘ferro-de-engomar’ que formam leitos com ampla gama granulométrica, representando um fluxo bastante forte.

O elemento de transbordamento ou overbank fines (OF) está presente em dois afloramentos, sendo composto por siltes e argilas da fácies Fl associados, no topo de cada ciclo de transbordamento de canais ou de depósito de crevasse splay, à presença de fácies Sr.

Exclusivo dos afloramentos ITP-2, PT-1, PT-2 e PT-3, o elemento representado por lençóis laminados de areia (LS) é composto por extensas intercalações de estratos de areia (sandstone sheets), silte e argila. E o elemento simplesmente constituído por camadas de areia (SB) está presente nos afloramentos ITP-1 e ITP-2.

3.1 Analogia de dados de superfície e subsuperfície

Neste item são oferecidos subsídios e considerações relacionadas à correlação de dados de superfície e subsuperfície, considerando a importância da posição estratigráfica correta de cada uma das seqüências estudadas para inferir conclusões seguras sobre o potencial de geração e/ou reserva de hidrocarbonetos na Bacia da Parnaíba. Esta correlação é apresentada através da comparação de dados obtidos em perfis elétricos e Raio Gama (RG) e em descrições de testemunhos (Della Fávera, 1990) de 24 poços perfurados na década de 70 pela Petrobrás, com informações advindas dos perfis de afloramentos e da análise de fácies sedimentares efetuadas. Para facilitar a analogia dos dados de superfície e subsuperfície, foram confeccionadas seções estratigráficas ao longo da bacia, identificando as seqüências que compõem a sucessão sedimentar observada, elaboradas a partir de modelos preconizados pela Estratigrafia de Seqüências.

As seções estratigráficas utilizadas para este estudo analógico na Bacia do Parnaíba estão orientadas ao longo do strike deposicional e posicionadas na parte central da bacia. Os afloramentos estão localizados na borda sudeste da bacia, representando entidades estratigráficas de diferentes ordens de grandeza, e registrando eventos que podem ser visualizados através das fácies descritas.

3.1.1 Marcos Estratigráficos Utilizados para Analogia

As análises e correlações detalhadas de perfis no intervalo entre o topo da Formação Jaicós (Eo-siluriano ou Eodevoniano) e a base da Formação Piauí (Eocarbonífera) possibilitaram a identificação de 52 marcos radioativos ou marcos estratigráficos, que receberam informalmente uma numeração crescente, da base para o topo, de M010 até M950 (Della Fávera, 1990). Marcos elétricos são feições gráficas existentes na curva do

registro adquirido (perfil elétrico) de determinada propriedade geofísica (em geral, raios gama e resistividade) num furo de sondagem, que, por sua expressiva e repetitiva forma gráfica, permite inferir importantes eventos deposicionais. Apesar dos marcos estratigráficos se constituírem mais como intervalos de deposição, do que propriamente como níveis litológicos, em geral são referidos como camadas mais radiativas (frequentemente folhelhos) de determinado seqüência.

A aloestratigrafia da Bacia da Parnaíba foi definida inicialmente por Della Fávera (1990) no poço 1-CA-1-MA ao sul da bacia, tomado aqui como poço de referência para o trabalho desenvolvido. No perfil deste poço, foram assinalados marcos elétricos a partir do perfil de RG, definindo-se a seguir, três seqüências deposicionais e respectivas parasseqüências. Assim, da base para o topo, foram individualizadas uma:

- seqüência devoniana: até o topo da Formação Jaicós, no marco M200,
- seqüência devoniano-eocarbonífera: do marco M200 até a base do intervalo transgressivo imediatamente abaixo do marco M015, e
- seqüência eocarbonífera: do marco M015 até o marco M010.

Em cada seqüência é possível observar, através do comportamento de raios-gama, intervalos transgressivos e parasseqüências regressivas, separados por superfícies de inundação máxima, correspondentes aos níveis radioativos. Os sistemas deposicionais observados foram agrupados em três tipos principais:

- fluvial, principalmente do tipo anastomosado, na Formação Jaicós do Grupo Serra Grande, e na Formação Poti,
- deltaico, envolvendo seções com lobos sigmoidais das formações Itaim, Cabeças e Poti,
- de plataformas dominadas por tempestades, na seção argilosa de todas as referidas unidades.

No topo da Formação Cabeças, há evidências de certa influência glacial na deposição. As seqüências são constituídas basicamente de folhelhos e areias, com siltitos em menores proporções. Nas mais superiores, mais ao leste na bacia, as areias progradam sobre os folhelhos platformais, às vezes interdigitando-os até desaparecerem por completo. Os poços localizados mais ao centro da bacia possuem areias depositadas em padrão lenticular a tabular. Essas barras arenosas são resultantes do retrabalhamento das areias de delta por correntes de mar aberto, sendo definidas como barras de offshore (offshore bars).

Os diversos afloramentos da Bacia do Parnaíba analisados no presente estudo correspondem a intervalos de formações que compõem os grupos Serra Grande e Canindé. Também neles é possível individualizar duas seqüências sedimentares: a devoniana e a eocarbonífera. Os afloramentos da seqüência devoniana ocorrem na margem leste da bacia, e a presente investigação apresenta a análise de exposições que ocorrem na região de Itaim, Picos, Oeiras e Ipiranga, no Piauí, e no município de Cantos do Buriti no Maranhão. O limite inferior da seqüência devoniana aflora na região de Itainópolis (afloramento ITP-2).

Na área estudada, o intervalo transgressivo da seqüência devoniana corresponde às formações Itaim e Pimenteiras, que se encontram discordantemente sobre a Formação Jaicós. O contato Itaim-Pimenteiras corresponde ao marco M850, situado neste intervalo transgressivo (Della Fávera, 1990). A Formação Itaim, em Itainópolis é relativamente espessa e apresenta uma fácies com padrão agradacional, de estuário. No afloramento ITP-2, se observa grande quantidade de bioturbações da icnofácies *Psilonichnus* da classe Glossifungites, que caracteriza uma exposição subaquosa de seqüência transgressiva em estuário (Figura 2B). Faciologicamente mostra a predominância de tempestitos. Observa-se um considerável adelgaçamento do intervalo, que atinge pouco mais de 40m de espessura, a grande maioria acima do marco M850. No interior da bacia, área amostrada pelos furos de sondagem, sua espessura situa-se entre 250 e 400m, aproximadamente. Foi atribuído este adelgaçamento ao onlap de seus estratos, que se desenvolve sobre o limite basal da seqüência. Entretanto, é bom lembrar que os poços foram perfurados na área mais subsidente da bacia, entre os limites externos dos riftes precursores.

O intervalo regressivo corresponde à Formação Cabeças, envolvendo também sua transição (marco M250) para a Formação Pimenteiras (Figura 3). O afloramento ITP-2, ao norte da cidade de Picos, Piauí, mostra este intervalo regressivo na transição entre as formações Pimenteiras e Cabeças, com feições acanaladas de siltitos argilosos. Similarmente ao intervalo transgressivo anterior, apresenta um grande adelgaçamento de estratos na borda leste da bacia, quando comparado com as espessuras encontradas no interior da bacia. Segundo Kegel (1953) e Lima & Leite (1978) a espessura de sedimentos aflorantes está em torno de 200m, enquanto que a seção perfurada pela Petrobras chega a atingir 450m. A interpretação para tal adelgaçamento é a mesma atribuída ao intervalo transgressivo.

O intervalo entre os marcos M250 e M200 compreende pelo menos duas parasseqüências, estando representado nos afloramentos CAB-1 e CAB-2. Neste intervalo há abundantes truncamentos erosionais (Della Fávera & Uliana, 1979), o que seria esperado, de acordo com os princípios da Estratigrafia de Seqüências. Segundo estes autores, em regiões proximais de sistemas de nível de mar alto (intervalo regressivo), os topos das parasseqüências estão normalmente truncados pelas parasseqüências sobrejacentes, em função do rebaixamento do nível de base durante um progressivo rebaixamento eustático. No limite superior da seqüência, existem indicações de truncamento sob o onlap basal da seqüência devoniano-eocarbonífera. Em quase toda a borda leste da bacia, a superfície de contato é extremamente plana, provavelmente como resultado de um evento glacial

ocorrido na região (afloramento nas proximidades da cidade de Cantos do Buriti; Fotografias 4A, B e C, cujo análogo nos perfis é o marco M200).

A seqüência eocarbonífera apresenta pequena espessura, se comparada a anterior, correspondendo ao topo da Formação Poti e estando representada no afloramento PT-1, no qual é observado o intervalo transgressivo desta seqüência. O topo deste intervalo transgressivo (entre os marcos M110 e M050) corresponde a uma superfície de inundação máxima junto ao marco M015, pois uma discordância erosional aparentemente removeu o intervalo regressivo, representado em apenas alguns poços.

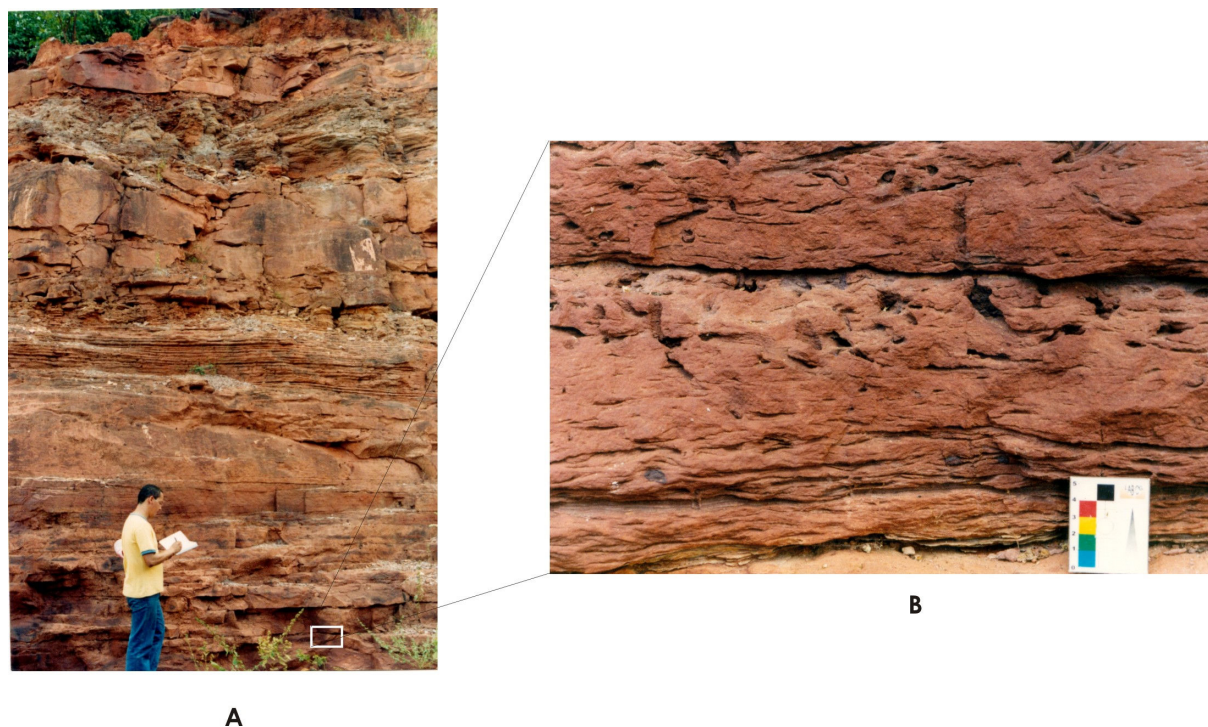


Figura 2: Afloramento IPT-2, próximo à cidade de Itaim, Piauí, que representa o limite inferior da seqüência devoniana, correspondendo em subsuperfície ao marco M850: A) seqüência de camadas agradacionais de ambiente estuarino com estratificação planoparalela e climbing ripples; B) detalhe da ocorrência da icnofácies *Psilonichnus* da classe *Glossoscolecidae* que caracteriza uma exposição subaquosa da seqüência transgressiva em estuário (marco M850).

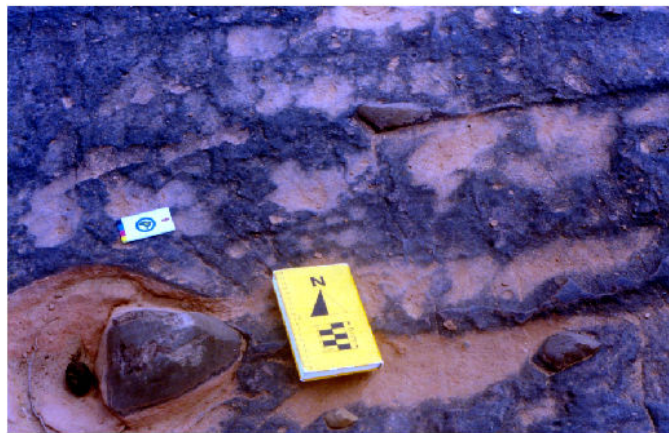


Figura 3 - Afloramento IPT-2, que corresponde em subsuperfície ao marco M250 e representa o intervalo regressivo, mostrando feições acanaladas (lobadas, no centro da fotografia) de siltitos argilosos na transição entre as formações Pimenteiras e Cabeças. Este afloramento está localizado na saída norte da cidade de Picos, Piauí (coordenadas UTM X: 225612 e Y: 9216604).

Na área de afloramentos na região de Francisco Aires, Piauí, a seqüência é encerrada por intercalações de depósitos de lobos sigmoidais de deltas e de tempestitos (Della Fávera & Uliana, 1979). Os tempestitos correspondem a eventos transgressivos que retrabalharam os depósitos deltaicos subjacentes. Ambos os depósitos apresentam uma seqüência vertical de fácies do tipo 'sino invertido', o que indica shoaling upwards. O intervalo transgressivo na área estudada é observado pela presença de lobos deltaicos, com direção preferencial de 310°Az, sobrepostos por intercalações de siltes e pelitos, característico da transição entre as formações Longá e Poti.



A



B



C

Figura 4: Pavimento glacial equivalente ao marco M200 e correspondente à transição entre as seqüências devoniana e devoniana-eocarbonífera, em um afloramento a 17Km da cidade de Cantos do Buriti, pela rodovia PI-140, próximo ao vilarejo Calembe, Piauí (coordenadas UTM: X-733231 e Y-9087340): A) Vista geral do lagedo na atualidade; B) Seixo pingado em forma de 'ferro-de-engomar'; C) Pavimento estriado com estrias com direção preferencial de 300°Az.

4. CONCLUSÕES

Com base em informações de arcabouço tectono-sedimentar, aspectos paleogeográficos, litofaciologia, elementos arquiteturais, analogia de dados de superfície e subsuperfície, marcos estratigráficos e sistemas deposicionais, advindas do estudo detalhado de dez afloramentos análogos do Grupo Serra Grande com as formações Ipú, Jaicós e do Grupo Canindé com as Itaim/Pimenteiras, Cabeças, Longá e Poti, situados no sudeste do Piauí e inseridos na borda sudeste da Bacia do Parnaíba, foi possível listar diversas conclusões de maior significado a respeito do provável sistema petrolífero da Bacia do Parnaíba:

- a) a caracterização faciológica de dez afloramentos análogos na borda leste da bacia, selecionados por sua extensão e/ou representatividade, oito fácies sedimentares e suas associações foram identificadas. A interpretação genética dos processos responsáveis por suas deposições dividiram-nas em sistemas correspondentes a um sistema fluvio-deltáico, com fácies intercaladas de plataformais com níveis tempestíticos a pelíticos;
- b) as seqüências sedimentares aflorantes confirmam a existência de dois ciclos distintos ocorrido na Bacia do Parnaíba, como proposto por Della Fávera (1990), comandados por variações de níveis eustáticos de um mar interior: uma seqüência devoniana e uma seqüência devoniano-eocarbonífera.
- c) a correlação de dados de superfície e subsuperfície ofereceram subsídios a uma analogia das seqüências deposicionais para inferir conclusões seguras sobre o potencial de geração e/ou reserva de hidrocarbonetos na Bacia do Parnaíba. As análises e correlações detalhadas de perfis no intervalo entre o topo da Formação Jaicós (Eo-siluriano ou Eodevoniano) e a base da Formação Piauí (Eocarbonífera) possibilitaram a identificação de 52 marcos radioativos ou marcos estratigráficos, que receberam informalmente uma numeração crescente, da base para o topo, de M010 até M950. Esses marcos estratigráficos caracterizam intervalos propícios à formação de um modelo de sistema petrolífero composto por potenciais sistemas deposicionais já consagrados em bacias maduras do mesmo tipo.
- d) o modelo proposto para a **rocha geradora** está caracterizada pelo marco Jaicós até o marco M550, que corresponde à Formação Itaim e parte da Formação Pimenteiras. Esta seqüência está caracterizada pela presença de um intervalo transgressivo da seqüência devoniana. No marco M550 encontra-se assinalada uma superfície de máxima inundação, com indicações de máxima profundidade dentro da seqüência, como, por exemplo, um alto teor de carbono orgânico. O intervalo regressivo está compreendido entre os marcos M550 e M200, que corresponde às formações Pimenteiras e Cabeças.
- e) modelo de **rocha reservatório** é caracterizado pela base do intervalo transgressivo apresenta sistemas deposicionais de plataformas dominadas por tempestades, inferidas a partir dos testemunhos de sondagem e dos padrões de perfis elétricos. Os ciclos de tempestites gradam em direção às fontes de sistemas deltaicos, dominados por ação fluvial ou das marés que se instalam sobre depósitos dominados por sistemas fluviais. A variação lateral de fácies e de espessura, desta ou das outras seqüências, pode ser avaliada pelo exame das seções estratigráficas. As seções têm como datum o marco M015, superfície de inundação máxima da seqüência eocarbonífera, e estão dispostas segundo orientações aproximadamente paralelas às bordas da bacia e ao longo do mergulho deposicional. A principal característica desse modelo é o posicionamento de potenciais reservatórios em direto contato com as rochas geradoras proposto por Young (2003). Este modelo, sugere que a formação Pimenteiras, se mostra bastante conveniente do ponto de vista de exploração de petróleo na Bacia do Parnaíba, visto seu complexo sistema de geração. O posicionamento de um corpo arenoso poroso em meio às rochas geradoras da bacia facilitaria a **migração** e acumulação de hidrocarbonetos especialmente se estes tenham sido gerados através de modelo das intrusões de diabásio como principal fonte de calor para a maturação de matéria orgânica.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a ANP (Agência Nacional do Petróleo e Biocombustíveis), através do Programa de Recursos Humanos PRH-26, pelo apoio logístico e financeiro nas etapas de campo para a realização deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- ANDRADE, S.M. & DAEMON, R.F. 1974. Litoestratigrafia e bioestratigrafia do flanco sudoeste da Bacia do Parnaíba (Devoniano e Carbonífero). Anais do 28º Congresso Brasileiro de Geologia, Porto Alegre, 2: 129-137.
- BOECKER, W.S. & DENTON, G.H. 1990. What drives glacial cycles. Scientific American, Washington D.C., 1278: 49-56.
- CAROZZI, A.V., FALKENHEIN, F.U.H., CARNEIRO, R.G., ESTEVES, F.R. & CONTREIRAS, C.J.A. 1975. Análise ambiental e evolução tectônica sin-sedimentar da seção siluro-eocarbonífera da Bacia do Maranhão. Ciência-Técnica-Petróleo, Rio de Janeiro, 7: 1-60.
- CUNHA, F.M.B. 1986. Evolução paleozóica da Bacia do Parnaíba e seu arcabouço tectônico. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 107p.
- DAEMON, R.F. 1974. Palinomorfos-guias do Devoniano Superior e Carbonífero das bacias do Amazonas e do Parnaíba. Anais da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, 46: 546-587.
- DAEMON, R.F. 1976. Correlação bioestratigráfica entre os sedimentos do Siluriano, Devoniano e Carbonífero das bacias do Amazonas, Parnaíba e Paraná. Anais 29º Congresso Brasileiro de Geologia, Ouro Preto, 2: 189-194.

- DELLA FÁVERA, J.C. 1980. Reconhecimento de novas fácies e ambientes deposicionais na Bacia do Parnaíba. Anais 31º Congresso Brasileiro de Geologia, Camboriú, 2: 356-357.
- DELLA FÁVERA, J.C. 1982. Devonian storm and tide-dominated shelf deposits, Parnaíba Basin, Brazil. AAPG Bulletin, Tulsa, 66: 562.
- DELLA FÁVERA, J.C. 1984. Eventos de sedimentação episódica nas bacias brasileiras. Uma contribuição para atestar o caráter pontuado do registro sedimentar. Anais do 33º Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro, 1: 489-501.
- DELLA FÁVERA, J.C. 1990. Tempestitos da Bacia do Parnaíba. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 590p.
- CAPUTO, M.V. 1984. Glaciação neodevoniana no continente Gondwana Ocidental. Anais do 33º Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro, 2: 725-739.
- FIGUEIREDO, A.M. & RAJA-GABAGLIA, G.P. 1986. Sistema classificatório aplicado às bacias sedimentares brasileira. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, 16(4): 350-369.
- GOODFELLOW, W.D., GELDSETZER, H., McLAREN, D.J., ORCHARD, M.J. & KLAPPER, G. 1988. The Frasnian-Famenian extinction: Currents results and possible causes. Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir, Toronto 14: 2-9.
- GÓES, A.M.O. & FEIJÓ, F.J. 1994. A Bacia do Parnaíba. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, 8(1): 57-67.
- GÓES, A.M.O., SOUZA, J.M.P. & TEIXEIRA, L.B. 1990. Estágio exploratório e perspectivas petrolíferas da Bacia do Parnaíba. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, 4(1): 55-64.
- GÓES, A.M.O., SOUZA, J.M.P. & TEIXEIRA, L.B. 1989. Estágio exploratório e perspectivas petrolíferas da Bacia do Parnaíba. Coletânea dos Trabalhos Técnicos do 1º Seminário de Interpretação Exploratória, Rio de Janeiro: 25-34.
- JOHNSON, J.G., KLEPPER, G. & SANDBERG, C.A. 1985. Devonian eustatic fluctuation in Euro-America. Geological Society of America Bulletin, 96: 567-587.
- KEGEL, W. 1953. Contribuição para o estudo do Devoniano da Bacia do Parnaíba. Boletim da DGM, Rio de Janeiro, 141: 1-41.
- LIMA, E.A.A. & LEITE, J.F. 1978. Projeto-estudo global dos recursos minerais da Bacia do Parnaíba: integração geológico-metalogenética. Relatório Final, DNPM/CPRM, Recife, 437p.
- MIALL, A.D. 1996. The geology of fluvial deposits. New York, Springer, 582p.
- PLINT, A.G., EYLES, N., EYLES, C.H. & WALKER, R.G. 1992. Control of sea level change. In: R.G. Walker N.P. James (eds) Facies Models: Response to sea level change. Ottawa, Geological Association of Canada: 15-25.
- QUADROS, L.P. 1982. Distribuição bioestratigráfica dos Chitinozoa e Acritarchae na Bacia do Parnaíba. Ciência-Técnica-Petróleo, Rio de Janeiro, 12: 3-28.
- RODRIGUES, R. & TAKAKI, T. 1989. Strontium isotopic chronostratigraphy in Paleozoic section. Abstracts from the International Geochemistry Symposium, Belém: 177.
- ROSSETI, D.F., GOÉS, A.M. & TRUCKENBRODT, W. 2001. O Cretáceo da Bacia de São Luís-Grajaú. Belém, Museu Emílio Goeldi, 246p.
- SHERIDAN, R.E. 1987. Pulsation tectonics as the control of long term stratigraphic cycles. Paleogeography, 2(2): 97-118.
- VAN DER VOO, R. 1988. Paleozoic paleogeography of North America, Gondwan and intervening disolaced terranes: Comparations of paleomagnetism with paleoclimatology and biogeographical patterns. Geological Society of America Bulletin, 100: 311-324.
- YOUNG, C.G.K. 2003. Contribuição à análise estratigráfica da Formação Pimenteiras(Devoniano, Bacia do Parnaíba): caracterização de um potencial intervalo de rochasreservatório. Relatório de Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 84p.