

ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA DA SEQUÊNCIA MESODEVONIANA-EOCARBONÍFERA DA BACIA DO PARNAÍBA, NORDESTE DO BRASIL

Nadja Cruz FERRAZ¹, Valéria Centurion CÓRDOBA², Debora do Carmo SOUSA³

(1) Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica - Universidade Federal do Rio Grande do Norte - PPGG - UFRN; Avenida Senador Salgado Filho, 3000 - Campus Universitário - Caixa Postal 1639 - CEP 59078-970 - Natal - RN - nadjaferraz@hotmail.com

(2) Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica e Laboratório de Geologia e Geofísica do Petróleo Universidade Federal do Rio Grande do Norte - PPGG - LGGP - UFRN; Avenida Senador Salgado Filho, 3000 - Campus Universitário - Caixa Postal 1639 - CEP 59078-970 - Natal - RN - valeria.geo@ufrnet.br

(3) Departamento de Geologia e Laboratório de Geologia e Geofísica do Petróleo - Centro de Ciências Exatas e da Terra - DG - CCET - UFRN; Avenida Senador Salgado Filho, 3000 - Campus Universitário - Caixa Postal 1639 - CEP 59078-970 - Natal - RN - debora@geologia.ufrn.br

Introdução
Contextualização geológica
Histórico da estratigrafia de sequências na Bacia do Parnaíba
Materiais e métodos
Análise estratigráfica
Análise 1D
Sequência Depositional 1 (SEQ1)
Sequência Depositional 2 (SEQ2)
Análise 2D
Análise da Seção Estratigráfica
Análise Sismoestratigráfica
Mapas de isócoras
Síntese estratigráfica
Conclusão
Agradecimentos
Referências bibliográficas

RESUMO - A Sequência Mesodevoniana-Eocarbonífera da Bacia do Parnaíba foi reinterpretada neste trabalho aplicando-se o modelo básico da estratigrafia de sequências. Foram analisados dados de poços e linhas sísmicas, elaborando-se a partir daí diagramas, mapas de isócoras e uma seção estratigráfica. Foram definidos dois ciclos de segunda ordem, referidos como sequências deposicionais 1 e 2 (SEQ1 e SEQ2). A SEQ1 inicia com o Trato de Sistemas de Nível Baixo (TSNB), constituído por conjuntos de parassequências progradacionais cujas litofácies indicam deposição em sistema deltaico sob influência de tempestades, tendo como limite superior a superfície regressiva máxima. O Trato de Sistemas Transgressivo (TST) caracteriza-se por conjuntos de parassequências retrogradacionais, compostos por pelitos de plataforma rasa depositados sob ação de tempestades. O Trato de Sistemas de Nível Alto (TSNA) apresenta conjuntos de parassequências progradacionais compostos por pelitos e arenitos depositados em ambientes plataformais, flúvio-estuarino e periglacial. A SEQ2 foi depositada completamente em ambiente plataformais e se inicia com o TSNB, caracterizado por um conjunto de parassequências progradacional, seguido do TST, retrogradacional. O limite superior deste trato corresponde à superfície transgressiva máxima ou ainda à Discordância Eocarbonífera. Por fim, o TSNA da SEQ2 (progradacional) é restrito às porções em que a erosão que originou a Discordância Eocarbonífera foi menos efetiva.

Palavras-Chaves: Bacia do Parnaíba; Estratigrafia de Sequências; Devoniano; Poços; Sísmica.

ABSTRACT - In this work, a reinterpretation of the Middle Devonian-Early Carboniferous sequence of Parnaíba Basin was made by applying the sequence stratigraphy basic model. Well-log and seismic lines were analyzed to produce diagrams, isochore maps and a stratigraphic section. Two cycles of second order were identified and referred as depositional sequences 1 and 2 (SEQ1 and SEQ2). The SEQ1 starts with the lowstand systems tract (LST) that is composed by progradational parasequence set in which the lithofacies indicates deposition in deltaic system under the influence of storms and with the upper limit being the maximum regressive surface. The transgressive systems tract (TST) is characterized by progradational parasequence set which contains shallow shelf mudstones deposited under the action of storms. The highstand systems tract (HST) presents progradational parasequence set composed by mudstones and sandstones deposited in shelf, fluvial-estuarine and periglacial environments. The SEQ2 has been deposited completely in shelf environment and begins with the LST, which is characterized by progradational parasequence set and then followed by the TST (retrogradational). The upper limit of this tract is the maximum flooding surface or the Early Carboniferous Unconformity. At last, the HST of the SEQ2 (progradational) is restricted to the portions where the erosion which caused the Early Carboniferous Unconformity had been less effective.

Keywords: Parnaiba Basin; Sequence Stratigraphy; Devonian; Well-logs; Seismic Data.

INTRODUÇÃO

A Bacia do Parnaíba, denominada nos primeiros textos geológicos como Bacia do Maranhão ou Piauí-Maranhão, é uma bacia sedimentar intracratônica situada principalmente na região Nordeste do Brasil abrangendo os estados do Piauí, Maranhão, Tocantins e uma pequena parte dos estados do Pará, Ceará e Bahia. Sua área é de aproximadamente 600 mil km² e a espessura de sua coluna

sedimentar pode atingir cerca de 3.500 m no depocentro, sendo constituída predominantemente por rochas de idade paleozoica (Vaz *et al.*, 2007).

A Bacia do Parnaíba, em especial sua seção de idade devoniana, tem sido objeto de estudo de diversos trabalhos na área de estratigrafia e sedimentologia, visando a um melhor entendimento de sua geologia e sistemas petrolíferos, em razão de seu potencial para hidrocarbonetos.

A Sequência Mesodevoniana-Eocarbonífera, litoestratigraficamente denominada Grupo Canindé, é aqui analisada sob a ótica da estratigrafia de sequências e seus conceitos mais modernos, objetivando a obtenção de um modelo estratigráfico de sequências da seção, tendo como base o estudo de dados de poços e linhas sísmicas da região central da bacia.

Contextualização geológica

A Bacia do Parnaíba tem sua coluna sedimentar litoestratigraficamente dividida nos grupos Serra Grande, Canindé e Balsas. Estratigraficamente acima destes grupos estão as formações Pastos Bons, Itapecuru, Corda, Grajaú e Codó; estas três últimas contemporâneas de idade Neopartiano-Eoalbio (Rezende, 2002).

Além desse pacote sedimentar, ocorrem na bacia rochas ígneas básicas na forma de derrames, diques e soleiras que foram individualizadas em duas unidades estratigráficas distintas: magmatismos Mosquito e Sardinha (Aguiar, 1971). A primeira é formada por derrames e diques de idade triássica a jurássica, aflorantes na porção ocidental da bacia, e a segunda na forma de diques e soleiras de idade cretácea que são observados na borda oriental da bacia.

Com base na estratigrafia de sequências, a sucessão de rochas sedimentares da Bacia do Parnaíba, anteriormente individualizada por meio da litoestratigrafia, pode ser disposta em cinco supersequências: Siluriana (Grupo Serra Grande), Mesodevoniana-Eocarbonífera (Grupo Canindé), Neocarbonífera-Eotriássica (Grupo Balsas), Jurássica (Formação Pastos Bons) e Cretácea (formações Codó, Corda, Grajaú e Itapecuru), todas elas limitadas por discordâncias que se estendem por toda a bacia ou abrangem vastas regiões (Figuras 1 e 2; Vaz *et al.*, 2007).

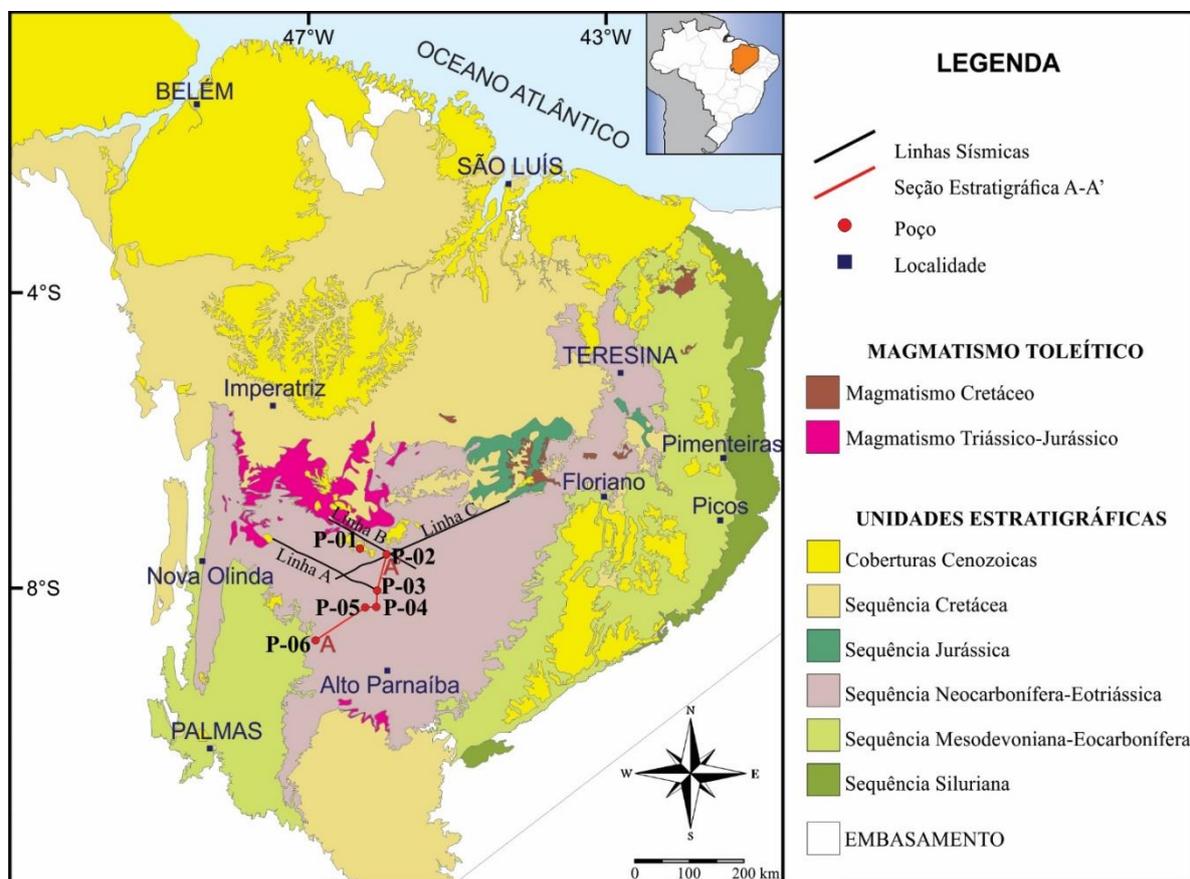
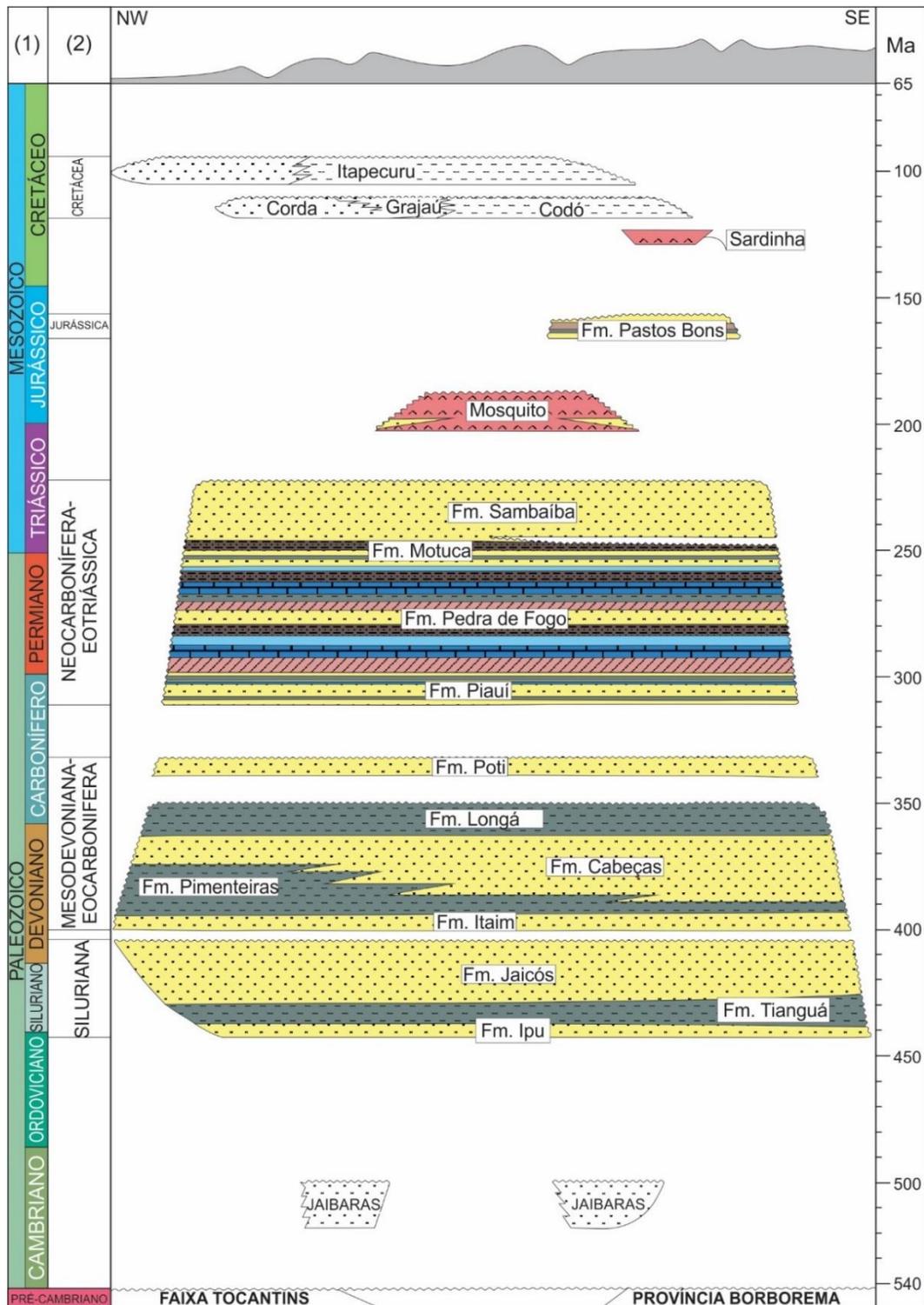


Figura 1. Mapa geológico simplificado da Bacia do Parnaíba com localização dos poços e linhas sísmicas estudadas, além da seção estratigráfica A-A' elaborada (adaptada de CPRM, 2004).

Foi estudada neste trabalho a seção que corresponde litoestratigraficamente ao Grupo Canindé, de acordo com a configuração proposta por Caputo (1984), segundo a qual é composto pelas formações Itaim, Pimenteiras, Cabeças e Longá. Um hiato de mais de 10 Ma que separa

as rochas desse grupo da Formação Poti, depositada durante o Mississipiano conforme a carta estratigráfica apresentada por Vaz *et al.* (2007; Figura 2), justifica a não inclusão desta formação na seção estudada.



(1) Geocronologia; (2) Sequências

Figura 2. Carta estratigráfica simplificada da Bacia do Parnaíba (adaptada de Vaz *et al.*, 2007)

Histórico da estratigrafia de seqüências na Bacia do Parnaíba

Nas últimas décadas, diversos trabalhos foram desenvolvidos na Bacia do Parnaíba visando a aplicar a estratigrafia de seqüências como ferramenta de análise estratigráfica, atualizando o conhecimento já estabelecido e trazendo novas perspectivas, principalmente no que se refere à prospecção de hidrocarbonetos. Nesse contexto, as unidades do Devoniano tiveram grande destaque nesses estudos em razão de seu potencial prospectivo.

Della Fávera (1990) foi o primeiro a aplicar os conceitos da estratigrafia moderna na Bacia do Parnaíba, ao reorganizar o conhecimento da bacia nos termos da estratigrafia de seqüências como estratégia para reconhecer os intervalos de ocorrência de tempestitos e os fatores condicionantes para estes eventos. Fundamentado na identificação de 52 marcos elétricos em perfis de raios gama, Della Fávera (1990) definiu cinco seqüências deposicionais na Bacia do Parnaíba: Devoniana, Devoniana-Mississipiana, Mississipiana, Pensilvaniana e Permiana. Estas seqüências foram delimitadas por discordâncias, tendo sido divididas em tratos de sistemas transgressivo, ou intervalo transgressivo e de nível de mar alto, e intervalo regressivo. A superfície de inundação máxima identificada divide esses dois tratos e é caracterizada pela presença de um nível de folhelho radiativo.

Góes & Feijó (1994) propuseram que os grupos definidos como unidades litoestratigráficas da Bacia do Parnaíba poderiam ser também referidos como seqüências deposicionais de segunda ordem, nos termos que correspondem aproximadamente à definição e conceitos propostos por Sloss (1963). Desta maneira foram identificadas cinco seqüências deposicionais, correlacionáveis a ciclos tectônicos de caráter global: Seqüência Siluriana, que corresponde litoestratigraficamente ao Grupo Serra Grande; Seqüência Devoniana, correspondente ao Grupo Canindé; Seqüência Carbonífero-Triássica, equivalente ao Grupo Balsas; Seqüência Jurássica, correspondente ao Grupo Mearim, e Seqüência Cretácea, correspondente às formações Grajaú, Codó e Itapecuru.

Góes (1995), em sua análise faciológica das rochas siliciclásticas da Formação Poti e

unidades limítrofes (formações Longá e Piauí) nas bordas leste e oeste da bacia, com base na análise de dados de superfície e de subsuperfície, reconheceu duas seqüências deposicionais distintas, separadas por uma discordância de caráter regional: a primeira, que incluía depósitos do topo da Formação Longá e base da Formação Poti, e a segunda, contendo depósitos basais da Formação Piauí.

Já Albuquerque (2000) estudou, sob a ótica da estratigrafia de seqüências e da cicloestratigrafia, as formações Itaim, Pimenteiras, Cabeças e Longá, integrantes do Grupo Canindé, então também referidas como Seqüência Devoniana. A autora, em seu trabalho, subdividiu esta seqüência em nove ciclos de terceira ordem, aplicando como limites de seqüências as superfícies de inundação máxima e suas superfícies correlativas, conforme o modelo de seqüência genética de Galloway (1989).

Young (2003) descreveu pela primeira vez na Bacia do Parnaíba depósitos de regressão forçada na Formação Pimenteiras, depósitos estes definidos na estratigrafia de seqüências como aqueles relacionados a uma queda relativa do nível do mar, segundo o conceito apresentado por Plint (1988). Young (2003) aferiu que o Membro Carolina, descrito por Carozzi (1975) como corpo arenítico isolado em meio a corpos de folhelho, exibiria características similares a de depósitos de regressão forçada, sugerindo, portanto, a reinterpretção de outros corpos de arenito da bacia segundo este modelo.

Uma análise estratigráfica de alta resolução foi realizada na Formação Pimenteiras e unidades limítrofes (topo da Formação Itaim e base da Formação Cabeças) por Young (2006). Neste estudo, foram determinadas nove seqüências de quarta ou quinta ordem, analisando-se principalmente testemunhos de sondagem e perfis geofísicos de poços, pelos quais também se determinou quinze fácies sedimentares, sete sucessões de fácies e vinte superfícies estratigráficas.

Outra análise estratigráfica de alta resolução foi apresentada por Lobato & Borghi (2007), desta vez no limite entre as formações Longá e Poti, tendo como base a descrição de testemunhos de sondagem da porção oriental da Bacia do Parnaíba. Foram determinadas duas seqüências deposicionais de terceira ordem, em

que a superfície de erosão subaérea que as limitam coincide com o limite entre as formações. Na mesma linha dos trabalhos realizados por Young (2003, 2006) e Young & Borghi (2006), a análise de fácies realizada por Lobato & Borghi (2007) permitiu a identificação de superfícies estratigráficas de regressão forçada de várias naturezas e ordens. Foram identificadas também superfícies transgressivas, de inundação marinha e inundação máxima.

A carta estratigráfica de Vaz *et al.* (2007; Figura 2) apresenta mudanças em relação à proposta por Góes & Feijó (1994), que são principalmente relacionadas ao posicionamento temporal de algumas das discordâncias e à duração dos hiatos que limitam cada uma das superseqüências, além da introdução da Discordância Eocarbonífera entre as formações Longá e Poti (com hiato de cerca de 10 Ma) e da relocação da Formação Corda, que passou a integrar a Sequência Cretácea.

Ponciano & Della Fávera (2009) fizeram uma reinterpretação do modelo deposicional da Formação Cabeças na borda leste, baseando-se no contexto paleogeográfico da Bacia do Parnaíba durante o Devoniano e na similaridade entre as fácies sedimentares encontradas na Formação Cabeças e aquelas características de sistemas flúvio-deltaicos dominados por inundações. Para os autores, a possibilidade levantada por Caputo *et al.* (2008) de ter ocorrido uma glaciação em menor escala, anterior à do Fameniano – que é evidenciada pela porção superior da Formação Cabeças –, poderia ocasionar rompimento de lagos glaciais durante o degelo que, por vezes, dariam origem a inundações na Bacia do Parnaíba. Essas inundações provocariam fluxos bastante eficientes que, ao entrar na água do mar, originariam fluxos hiperpicnais capazes de gerar fácies do sistema flúvio-deltaico dominado por inundações proposto por Ponciano & Della Fávera (2009). A ausência de registros dessa glaciação anterior (postulada) seria justificada

pela extensa erosão ocorrida em decorrência da grande glaciação do Fameniano tardio.

Vettorazzi (2012) também estudou a Formação Cabeças, analisando e caracterizando sedimentologicamente os arenitos desta unidade na borda leste da Bacia do Parnaíba. A autora identificou sete litofácies que permitiram identificar: lobos sigmoidais gerados por fluxos homopícnais, deltas originados a partir de fluxos hipopícnais (barras de desembocadura), barras fluviais originadas por fluxos trativos e, por fim, vale-túnel glaciogênico gerado sob regime de maré, por fluxos trativos e gravitacionais, descrevendo assim o ambiente glacial que caracterizaria um limite de seqüência no topo da unidade, conforme proposto também por Freitas (1990).

Barbosa (2014), em sua avaliação faciológica e estratigráfica, com ênfase no registro da glaciectônica e dados geocronológicos de zircão detrítico, interpretou o paleoambiente e a proveniência dos litotipos da Formação Cabeças. O autor identificou seis associações de fácies agrupadas em sucessões aflorantes que registraram a evolução de um sistema deltaico devoniano, influenciado por processos glaciais: frente deltaica distal, frente deltaica proximal, planície deltaica, *shoreface* glacial, depósitos subglaciais e frente deltaica de degelo.

Por fim, ainda segundo Barbosa (2014), durante o Fameniano (374-359 Ma.), uma frente deltaica dominada por processos fluviais progradava para noroeste (borda leste) e para nordeste (borda oeste) sobre uma plataforma influenciada por ondas de tempestade (Formação Pimenteiras). Na borda leste da bacia, o padrão de paleocorrentes e o espectro de idades U-Pb em zircão detrítico indicam que o sistema deltaico da Formação Cabeças foi alimentado por áreas fontes situadas a sudeste da Bacia do Parnaíba, provavelmente da Província Borborema.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foram analisados dados de seis poços e três linhas sísmicas fornecidos pelo Projeto de Pesquisa “Geologia e Sistemas Petrolíferos da Bacia Intracratônica do Parnaíba, Nordeste do Brasil” (BPAR), desenvolvido no âmbito da UFRN / Funpec / Chevron, cujas localizações são apresentadas na Figura 1. Também foram utilizados dados de profundidade do topo das formações para elaboração de mapas de isócoras dos tratos de sistemas e sequências sedimentares.

A partir dos dados de poços – perfil composto, arquivo geral do poço (AGP) e pasta do poço – foram elaborados perfis integrados, baseados nos perfis de raios gama e litológico, os quais foram interpretados segundo os conceitos da estratigrafia de sequências, buscando-se identificar as tendências de variações texturais das fácies, as parassequências e conjuntos de parassequências, as superfícies estratigráficas, tratos de sistemas e, por fim, as sequências deposicionais. Estas superfícies e unidades estratigráficas foram correlacionadas na seção A-A’, traçada aproximadamente de SW para NE, começando

no poço P-06 até o poço P-02 (Figura 1). Para esta etapa foram desconsideradas as intrusões de diabásio, e a Superfície Transgressiva Máxima (STM1), da sequência mais antiga, foi utilizada como *datum*.

As linhas sísmicas foram interpretadas seguindo-se o método da sismoestratigrafia, através do qual foram observados os padrões e terminações dos refletores e conjuntos de refletores, partindo-se da amarração sísmica-poço para determinação das superfícies estratigráficas, tratos de sistemas e sequências deposicionais correlacionados à análise estratigráfica dos poços.

Com o intuito de fornecer uma visão geral da Bacia do Parnaíba, foram elaborados mapas de isócoras baseados nas espessuras das formações Itaim, Pimenteiras, Cabeças e Longá (Grupo Canindé). Tais espessuras foram calculadas a partir dos dados de profundidade dessas unidades em subsuperfície, levando-se em conta, para cada mapa elaborado, apenas os poços nos quais foi possível inferir que a unidade não foi erodida.

ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA

Análise 1D

A análise integrada do perfil litológico com o de raios gama de cada poço possibilitou compartimentar as rochas do Devoniano da Bacia do Parnaíba em duas sequências deposicionais de segunda ordem, denominadas neste trabalho como Sequência Depositional 1 (SEQ1) e Sequência Depositional 2 (SEQ2).

A partir deste estudo, foram definidos os ciclos de maior ordem – as parassequências –, que foram identificadas de acordo com as tendências de variações texturais das fácies, seja com afinamento textural ou engrossamento textural para o topo. As parassequências foram então agrupadas em conjuntos de parassequências, definidos com base nos padrões de empilhamento progradacional e retrogradacional. Estes conjuntos de parassequências foram, de acordo com seus padrões de empilhamento característicos, associados aos tratos de sistemas.

Assim, conjuntos de parassequências progradacionais delimitados na base por

discordância ou conformidade correlativa, aqui denominada simplesmente como Limite de Sequência (LS), e no topo comumente por uma Superfície Regressiva Máxima (SRM), foram associados ao Trato de Sistemas de Nível Baixo (TSNB). Conjuntos de parassequências também progradacionais, porém com seu início em uma Superfície Transgressiva Máxima (STM), foram relacionados ao Trato de Sistemas de Nível Alto (TSNA). Ao passo que, conjuntos de parassequências com tendência ao afogamento (retrogradacionais), cujo ápice é uma STM, foram vinculados ao Trato de Sistemas Transgressivo (TST).

Sequência Depositional 1 (SEQ1)

A Sequência Depositional 1 (SEQ1) equivale litoestratigraficamente às formações Itaim, Pimenteiras e Cabeças nos perfis analisados no presente trabalho, compreendendo um intervalo de deposição de cerca de 37 Ma, de acordo com a carta estratigráfica de Vaz *et al.* (2007), e cuja hierarquia é definida como de segunda ordem de

acordo com Van Wagoner *et al.* (1991). É delimitada na base pela superfície LS1, que corresponde à Discordância Eodevoniana entre o Grupo Serra Grande e o Grupo Canindé, observada por Caputo (1984), Góes & Feijó (1994), Vaz *et al.* (2007) e outros.

No topo, a sequência é delimitada pela superfície LS2, que marca a passagem abrupta dos arenitos da Formação Cabeças para os folhelhos plataformais da Formação Longá, discordância ainda não reconhecida na carta estratigráfica de Vaz *et al.* (2007) e aqui denominada Discordância Neodevoniana. Esta discordância, identificada por meio dos perfis de raios gama, pode estar associada a níveis de diamictito presentes na Formação Cabeças, como apresentado por Caputo *et al.* (2008).

A sequência inicia-se com o Trato de Sistemas de Nível Baixo (TSNB), que corresponde litoestratigraficamente à Formação Itaim (Figura 3). As litofácies que compõem este trato de sistemas correspondem a folhelhos, siltitos e arenitos. Conforme se observa na Figura 3, estas litofácies definem dois conjuntos de parassequências progradacionais, cuja geometria em funil mostra a variação de litotipo mais fino na base com engrossamento textural para o topo, características compatíveis com a interpretação de sistemas deltaicos feita por Caputo (1984), Vaz *et al.* (2007) e outros autores.

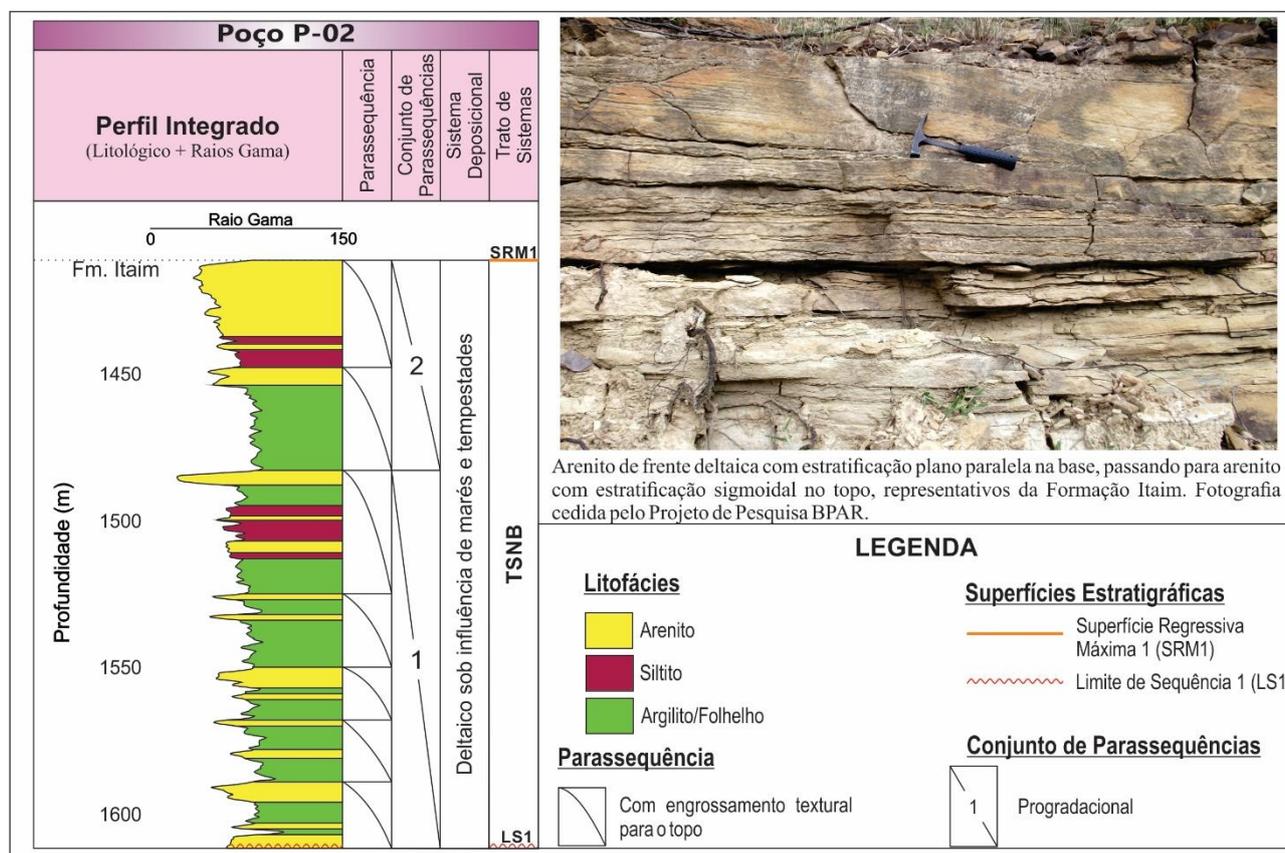


Figura 3. Intervalo do perfil integrado do poço P-02 ilustrando o Trato de Sistemas de Nível Baixo (TSNB), correspondente à Formação Itaim. À direita superior, fotografia ilustrativa do TSNB em afloramento. Sistema deposicional de acordo com Vaz *et al.* (2007).

São observados nos poços estudados a frequente ocorrência de camadas mais espessas de folhelho na base dos dois conjuntos de parassequências, que indicam deposição em ambiente de prodelta. Nesta porção, também ocorrem delgadas camadas de arenito que podem ser atribuídas a eventos de tempestade, como também observaram Caputo (1984) e Della Fávera (1990).

No topo dos conjuntos de parassequências 1 e 2, observa-se litofácies menos radiativas (arenitos) com maior espessura, podendo-se inferir deposição em subambiente de frente deltaica. Em geral, nos seis poços estudados, o Conjunto de Parassequências 2 apresenta maior espessura das camadas de arenito, indicando progradação da frente deltaica sobre o prodelta. Essa tendência progradante dos conjuntos de parassequências descritos anteriormente culmina na Superfície Regressiva Máxima 1 (SRM1), que marca a máxima extensão dos depósitos de nível baixo em direção à bacia e

início do Trato de Sistemas Transgressivo (TST).

O TST é constituído pelos conjuntos de parassequências 3 e 4, que correspondem à porção inferior da Formação Pimenteiras. Este trato de sistemas é caracterizado pela predominância de litofácies pelíticas de ambiente plataformal, em geral com ocorrência de camadas delgadas de arenito que, assim como no TSNB, podem ser atribuídas a eventos de tempestades com base na descrição feita por Caputo (1984) e Della Fávera (1990). É notório o padrão agradacional a retrogradacional dos conjuntos de parassequências que compõem este trato, cujos folhelhos se tornam cada vez mais radiativos em direção ao topo, culminando na Superfície Transgressiva Máxima 1 (STM1), posicionada em um nível de folhelho cuja radiatividade no perfil de raios gama é próxima a 150 API (unidade de radiação do *American Petroleum Institute*), conforme observa-se na Figura 4.

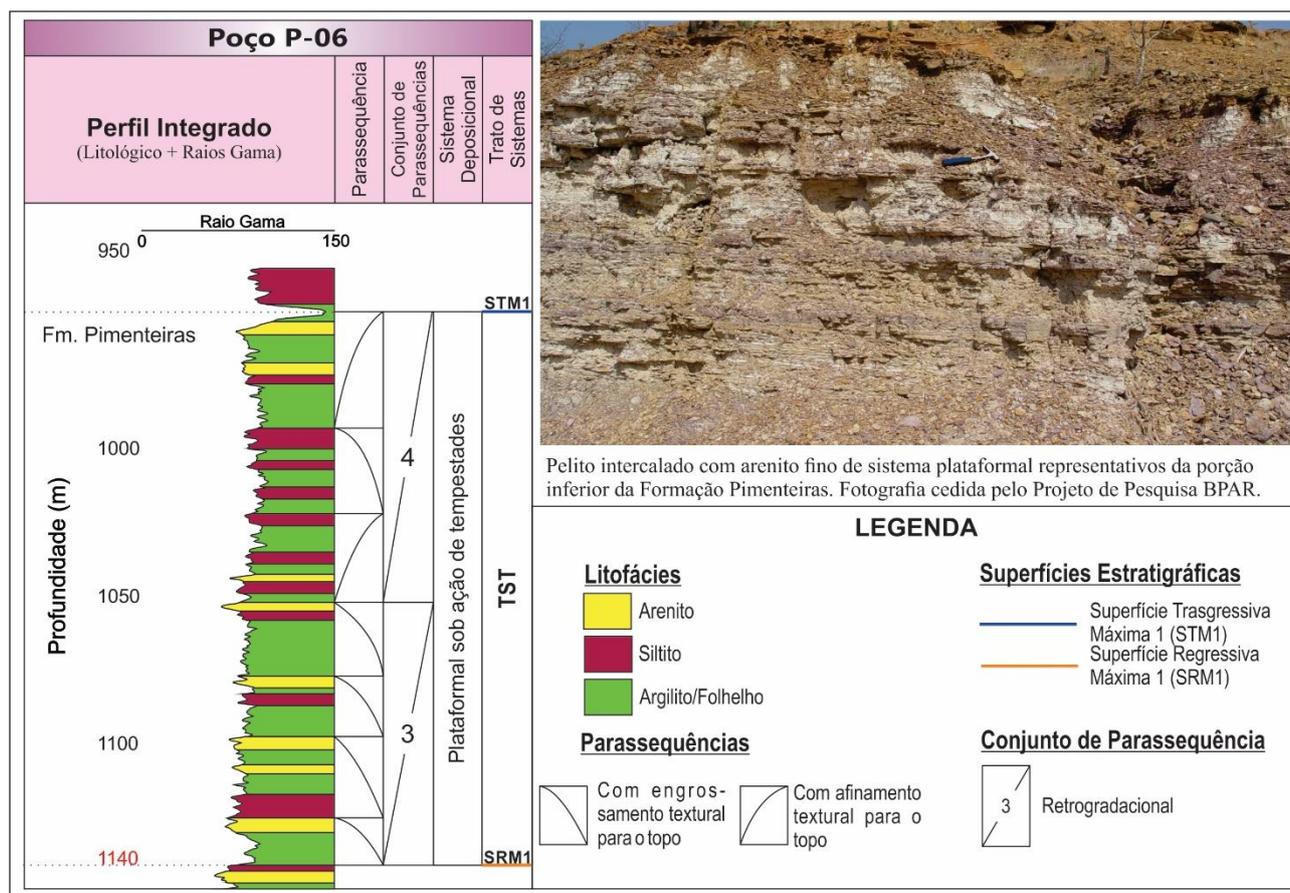


Figura 4. Intervalo do perfil integrado do poço P-06 ilustrando o Trato de Sistemas Transgressivo (TST), correspondente à porção inferior da Formação Pimenteiras. À direita superior, fotografia ilustrativa do TST em afloramento. Sistema deposicional de acordo com Vaz *et al.* (2007).

A partir da STM1 inicia-se o Trato de Sistemas de Nível Alto (TSNA), o qual se caracteriza pelo padrão predominantemente progradacional dos conjuntos de parassequências que o compõem, apresentando engrossamento textural cada vez mais marcante em direção ao topo da unidade e limite superior da SEQ1, a superfície LS2 (Figura 5). Esta superfície, denominada neste trabalho de Discordância Neodevoniana, coincide com o limite entre as formações Cabeças e Longá e é marcada pela passagem abrupta de arenitos da formação inferior para pelitos da formação superior, que foi interpretada como uma superfície erosiva em razão da sua variação lateral nos perfis, com ausência de litofácies em alguns indicando possível erosão. No topo do TSNA (porção superior da Formação Cabeças) é descrita a ocorrência de diamictitos resultantes da glaciação do Fameniano, de acordo com Caputo (1984), Caputo *et al.* (2008) e outros.

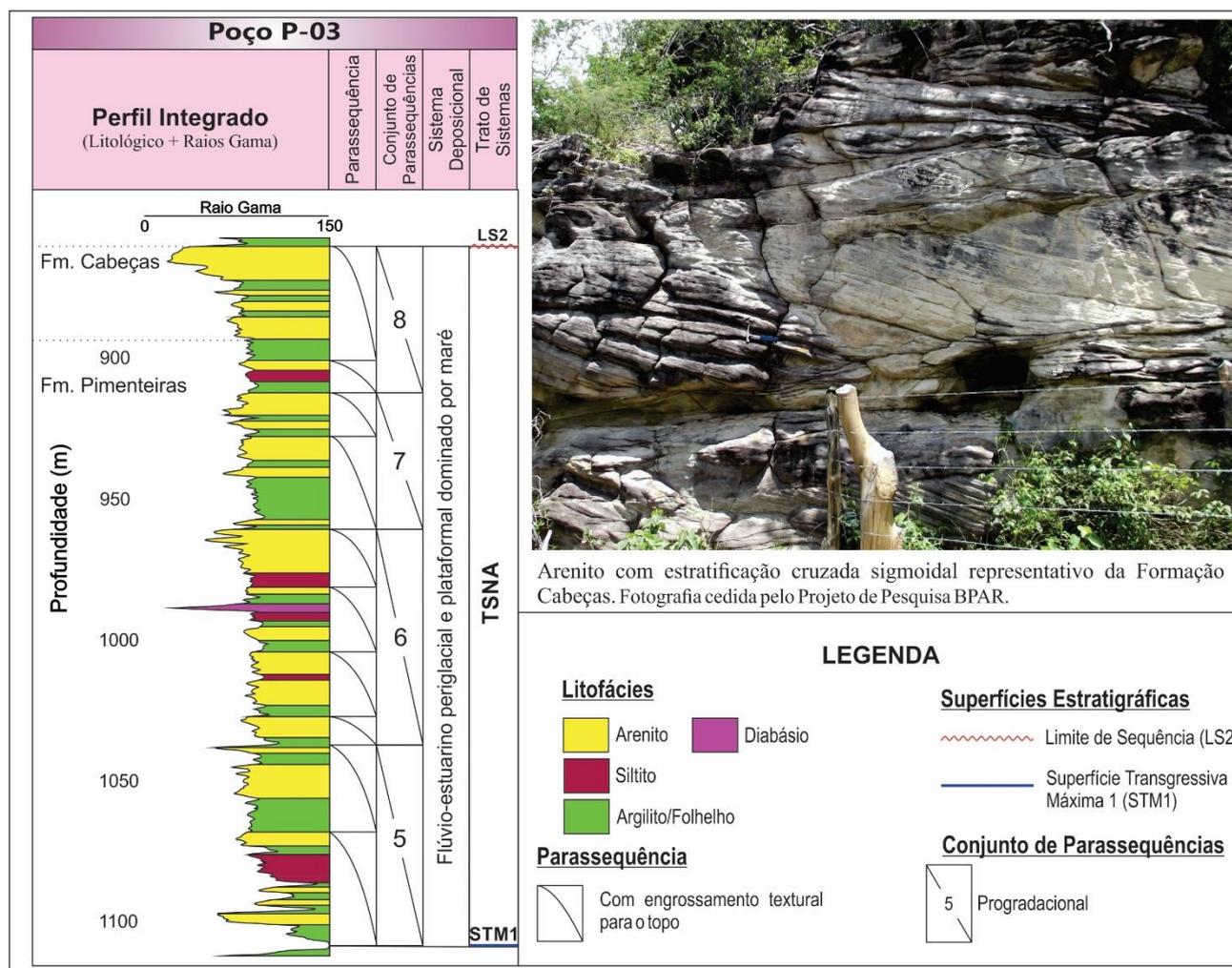


Figura 5. Intervalo do perfil integrado do poço P-03 ilustrando o Trato de Sistemas de Nível Alto (TSNA), correspondente à porção superior da Formação Pimenteiras e à Formação Cabeças. À direita superior, fotografia ilustrativa do TSNA em afloramento. Sistema deposicional de acordo com Vaz *et al.* (2007).

Sequência Depositional 2 (SEQ2)

A Sequência Depositional 2 (SEQ2) equivale litoestratigraficamente à Formação Longá, constituída principalmente por rochas pelíticas (Figura 6) cuja deposição se deu em um sistema plataformar em um intervalo de cerca de 15 Ma, de acordo com a carta estratigráfica de Vaz *et al.* (2007). Isto a enquadra ainda como um ciclo de segunda ordem, porém, vale ressaltar a menor magnitude desta em relação à Sequência Depositional 1, também de segunda ordem de acordo com Van Wagoner *et al.* (1991).

A SEQ2 é delimitada na base pela Discordância Neodevoniana, que corresponde nos perfis ao Limite de Sequências 2 (superfície LS2) e, no topo, pela Discordância Eocarbonífera (Vaz *et al.*, 2007), marcada nos perfis pelo Limite de Sequências 3 (superfície LS3). É constituída pelos Trato de

Sistemas de Nível Baixo (TSNB), Trato de Sistemas Transgressivo (TST) e, eventualmente, Trato de Sistemas de Nível Alto (TSNA).



Figura 6. Fotomontagem ilustrando a sucessão de rochas pelíticas da Formação Longá na localidade de Elesbão Veloso – PI, cedida pelo Projeto de Pesquisa BPAR.

O TSNB da SEQ2 (Figura 7) é constituído por um conjunto de parassequências no qual as litofácies presentes são argilitos/folhelhos, siltitos e arenitos. Tais litofácies, assim como no TSNB da SEQ1, apresentam um padrão progradacional a agradacional da base para o topo, com uma proporção maior de argilito/folhelho na parte superior do perfil. O TSNB sobrepõe a superfície LS2 (Discordância Neodevôniana) e tem como limite superior a SRM2.

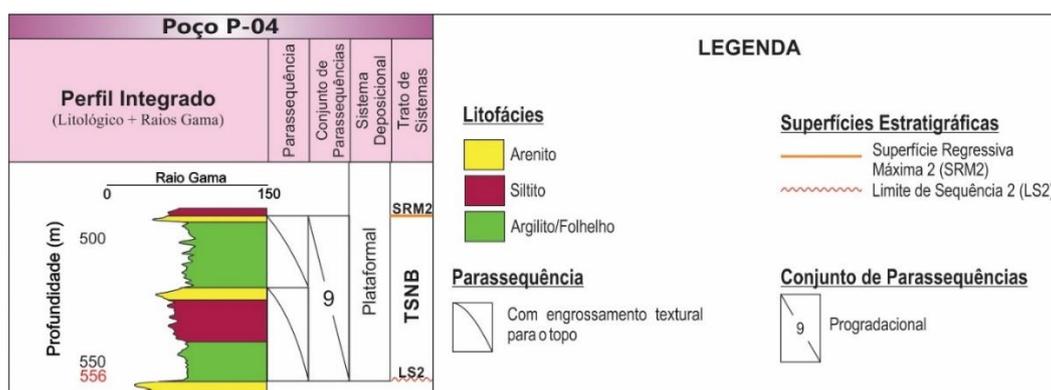


Figura 7. Intervalo do perfil integrado do poço P-04 ilustrando o Trato de Sistemas de Nível Baixo (TSNB), correspondente à porção inferior da Formação Longá. Sistema deposicional de acordo com Vaz *et al.* (2007).

O TST da SEQ2 (Figura 8) é constituído por um conjunto de parassequências cuja tendência é predominantemente retrogradacional, iniciando-se na SRM2, que o separa do TSNB, e culminando na STM2, posicionada no nível de folhelho mais radiativo da sequência. Nos poços em que a sequência está incompleta, ou seja, nos poços P-01, P-02, P-04 e P-05, em que o TSNA não foi observado, o limite deste trato de sistemas é o limite da sequência (LS3), a Discordância Eocarbonífera (Vaz *et al.*, 2007).

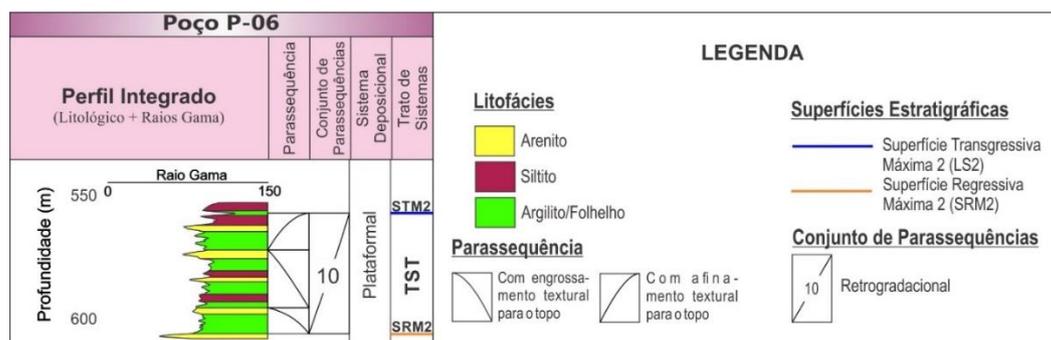


Figura 8. Intervalo do perfil integrado do Poço P-06 ilustrando o Trato de Sistemas Transgressivo (TST), correspondente à porção mediana da Formação Longá. Sistema deposicional de acordo com Vaz *et al.* (2007).

O TSNA da SEQ2 (Figura 9), presente somente nos poços P-03 e P-06, sobrepõe-se à STM2 e é constituído por um conjunto de parassequências progradacional em que predominam litofácies areníticas. O topo deste trato de sistemas é a superfície LS3, correspondente à Discordância Eocarbonífera, que separa temporalmente, com um hiato de cerca de 10 Ma, as rochas desta unidade da Formação Poti, de acordo com a carta estratigráfica de Vaz *et al.* (2007).

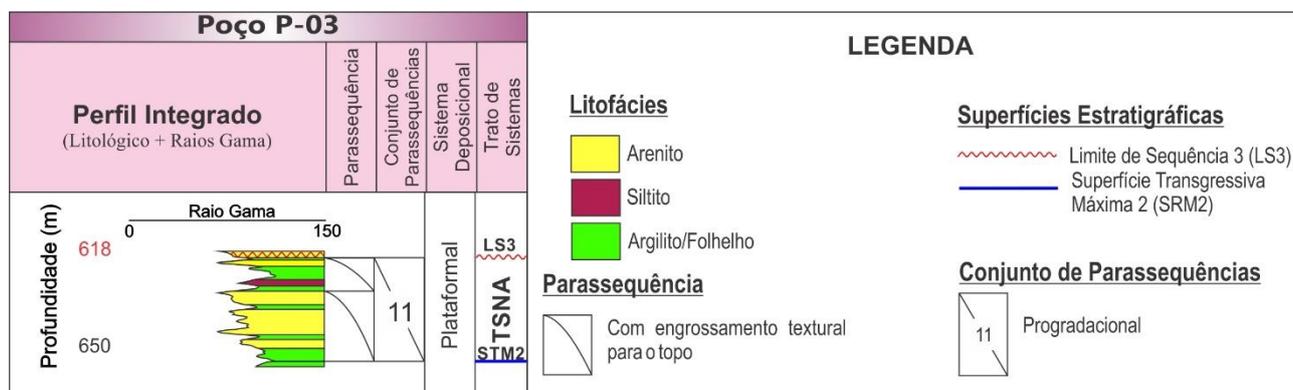


Figura 9. Intervalo do perfil integrado do Poço P-03 ilustrando o Trato de Sistemas de Nível Alto (TSNA), correspondente à porção superior da Formação Longá. Sistema deposicional de acordo com Vaz *et al.* (2007).

Análise 2D

A análise estratigráfica em duas dimensões da seção estudada foi realizada em duas fases: na primeira foi confeccionada uma seção estratigráfica esquemática perpassando cinco poços interpretados na etapa anterior e, na segunda, foi realizada a interpretação sismoestratigráfica das três linhas sísmicas disponibilizadas para estudo.

Análise da Seção Estratigráfica

A seção estratigráfica A-A' (Figura 10) tem direção aproximada SW-NE, comprimento de cerca de 200 km, iniciando-se no poço P-06, passando pelos poços P-05, P-04, P-03 até o poço P-02. Nesta seção foi realizada a correlação dos poços acima mencionados a partir das seis superfícies estratigráficas determinadas na análise estratigráfica 1D. Para tanto, o *datum* escolhido foi a Superfície Transgressiva Máxima 1 (STM1) em razão de sua fácil identificação em todos os perfis analisados e de seu significado estratigráfico no contexto da Bacia do Parnaíba por representar o marco da maior transgressão marinha registrada em toda a sua coluna sedimentar (Góes & Feijó, 1994).

Vale ressaltar que esta seção estratigráfica é esquemática, apresentando apenas uma estimativa do que poderia ser o comportamento das superfícies estratigráficas ao longo das linhas que ligam cada poço. Todavia, este tipo de projeção é válido para se entender acerca do preenchimento sedimentar das unidades estratigráficas de interesse.

De uma maneira geral, observam-se na seção A-A' suaves variações de espessura dos tratos de sistemas das duas sequências, o que é coerente com o contexto deposicional de uma bacia do tipo sinéclise, como é o caso da Bacia do Parnaíba. Conforme observa-se na Figura 10, as maiores variações se encontram no TSNA da SEQ1, no segmento entre os poços P-04 e P-03.

Os TSNB e TST da SEQ1 apresentam espessuras semelhantes, o que, para o primeiro, pode ser entendido como resultante do ainda pequeno espaço de acomodação durante a sua deposição e, para o segundo, sua espessura relativamente grande em comparação com modelos de deposição deste trato, pode estar relacionada a uma lenta subida do nível eustático. Já o TSNA apresenta a maior espessura da SEQ1, em razão do acréscimo da taxa de deposição e do maior espaço de acomodação referente ao período no qual se depositou este trato.

Na SEQ2, o TSNB tem suas maiores espessuras na região dos poços P-04 e P-03. O TST também tem acréscimo de espessura na região desses poços, sendo importante ressaltar que o limite superior deste trato nos poços P-02, P-04 e P-05 representa a fusão da STM2 com o LS3, que constitui a

Discordância Eocarbonífera. Por fim, o TSNA da SEQ2 ocorre na seção a SW, no poço P-06, e em menor espessura no poço P-03, estando ausente nos demais poços da seção.

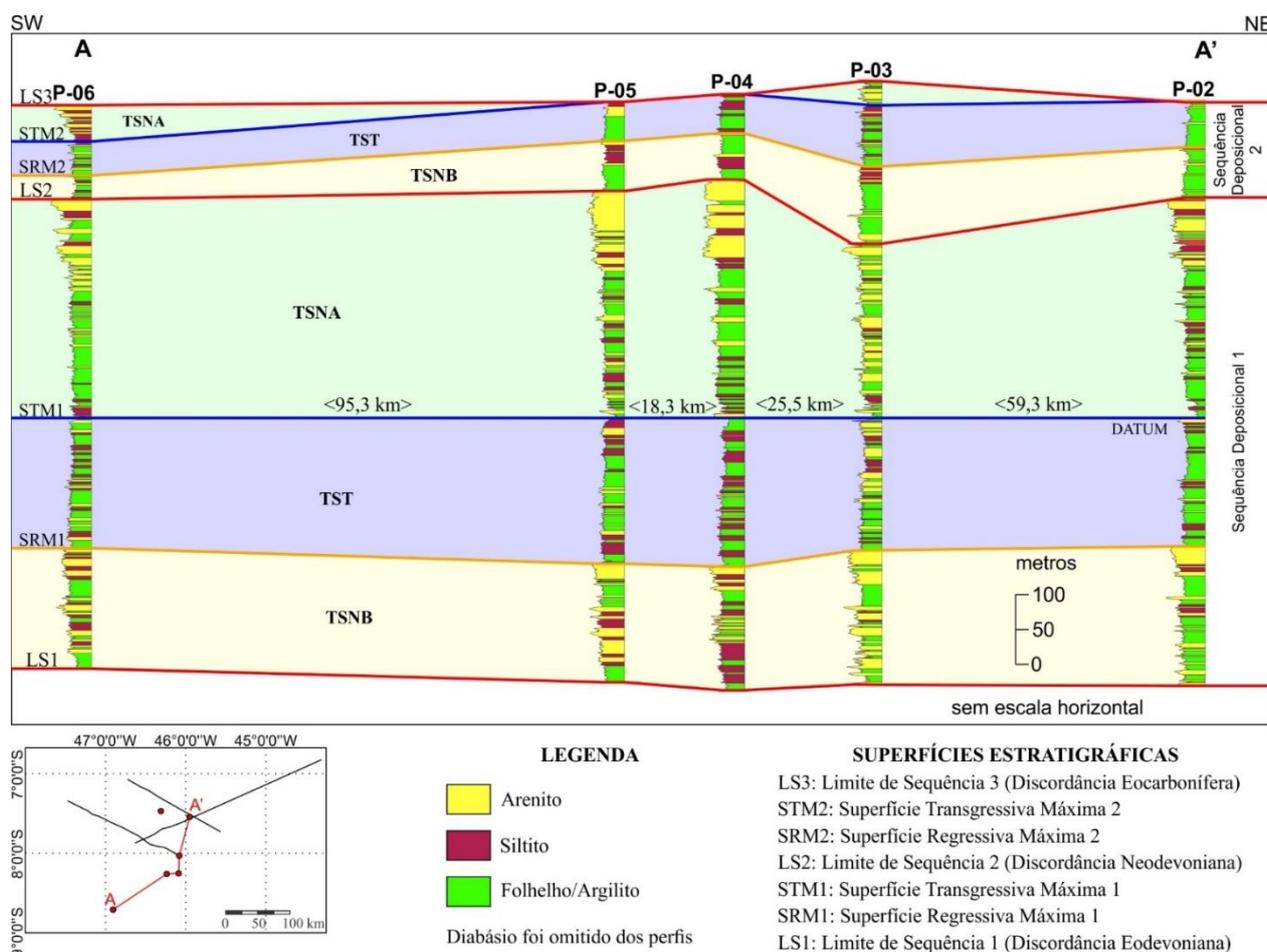


Figura 10. Seção estratigráfica esquemática de correlação dos poços P-06, P-05, P-04, P-03 e P-02

Em relação à SEQ1, a SEQ2 apresenta espessura menor em razão de sua menor magnitude e está associada a um ciclo deposicional, cuja transgressão marinha é menos abrangente e possivelmente mais rápida.

Análise Sismoestratigráfica

A análise sismoestratigráfica teve como objetivo principal reconhecer as sismofeições (terminações dos refletores e sismo fácies) bem como retratar a distribuição lateral das unidades genéticas reconhecidas na análise 1D. Para tanto, foram analisadas as linhas sísmicas A (Figura 11), B e C, amarradas com os poços P-02 e P-03, que se localizam nas suas proximidades. Além das superfícies-chaves, corpos de diabásio auxiliaram nesta amarração. Esses corpos, por constituírem refletores de alta amplitude, em decorrência do forte contraste de impedância acústica no contato destas rochas ígneas com as rochas sedimentares que as circundam, foram usados para definir na Linha Sísmica A (Figura 12A) o posicionamento do perfil de raios gama.

Com relação às terminações dos refletores, procurou-se investigar a ocorrência de terminações em *onlap*, *downlap*, truncamento erosional e/ou *toplap* com as discordâncias que constituem os limites de sequências, bem como terminações em truncamento aparente e/ou *downlap* com as superfícies transgressivas máximas. No entanto, com exceção de uma única terminação em *downlap* observada sobre uma superfície transgressiva máxima (Figura 12B), os demais tipos não puderam ser identificados nas linhas analisadas. De uma maneira geral, como se observa na Figura 11, os refletores que definem as superfícies estratigráficas da seção em estudo são paralelos e contínuos e foram reconhecidos principalmente pela correlação com os poços e por se revelarem refletores com alta amplitude.

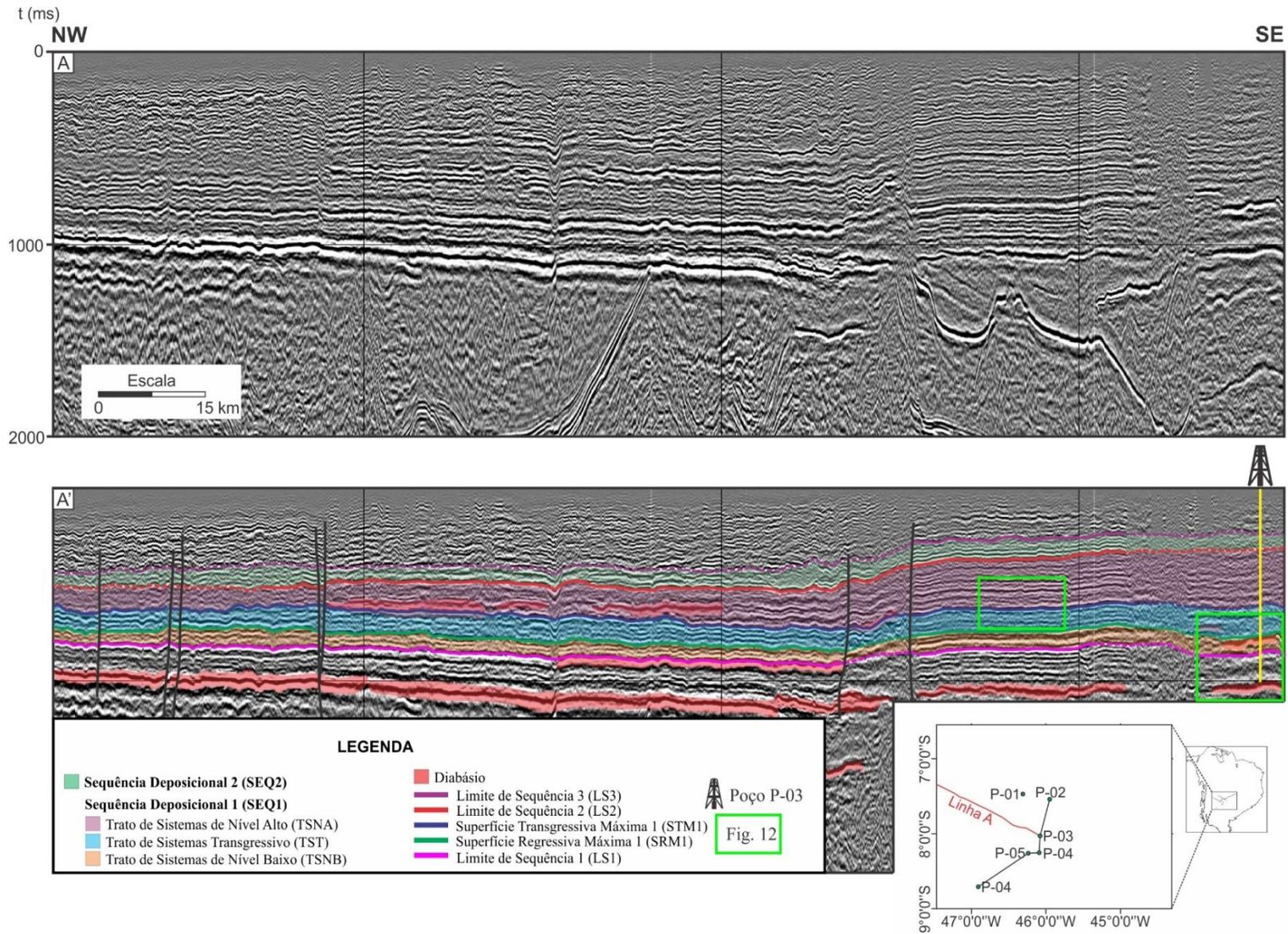


Figura 11. Linha Sísmica A, mostrando superfícies estratigráficas e tratos de sistemas identificados a partir da amarração com o poço P-03.

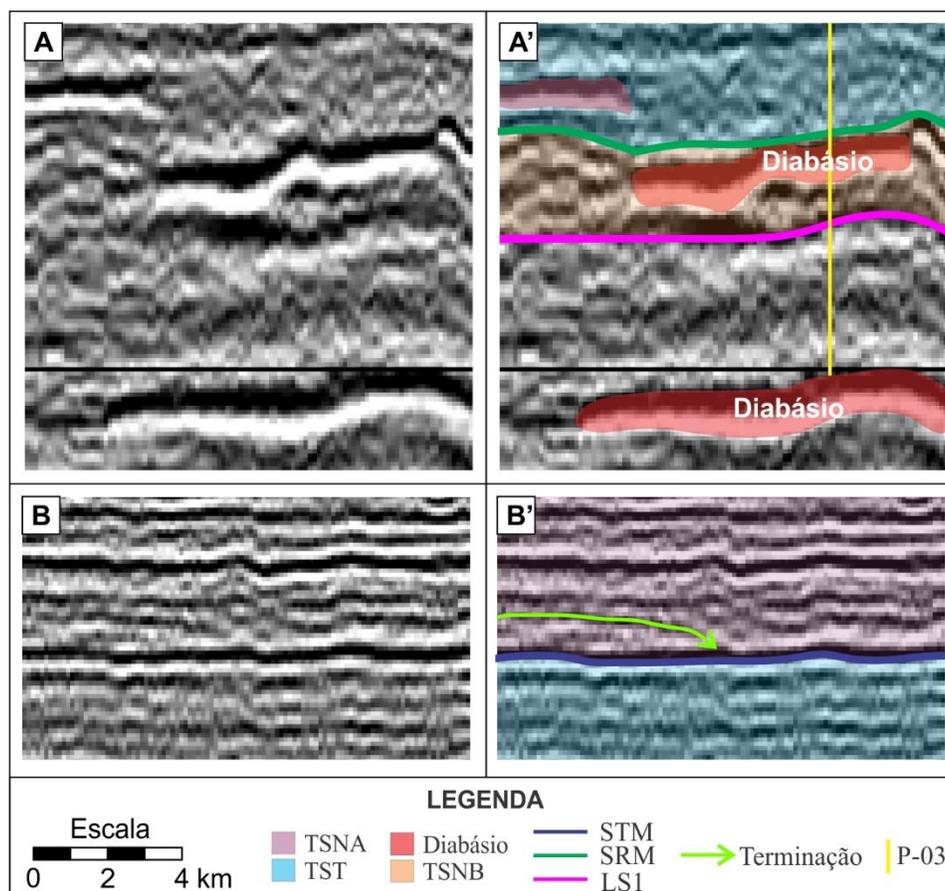


Figura 12. A) Refletores gerados por corpos de diabásio utilizados na amarração sísmica-poço; B) Terminação em *downlap* sobre a STM da SEQ1. A localização destes quadros na Linha Sísmica A podem ser conferidos na Figura 11.

Conforme mostra a Figura 11, foram identificadas as superfícies LS1, LS2 e LS3 que limitam as sequências deposicionais 1 e 2, sendo que na SEQ1 foi possível determinar as superfícies que separam cada um dos três tratos de sistemas: SRM1 e STM1. Na SEQ2 não foram identificadas as superfícies estratigráficas e tratos de sistemas que a compõem em razão de sua menor espessura, indivisível na escala das linhas sísmicas estudadas.

Com relação às sismofácies internas, o conjunto de refletores que define o TST da SEQ1 constitui sismofácies paralelas a subparalelas, com refletores fortemente contínuos, que indicam processo de deposição por decantação/floculação, compatível com o predomínio de pelitos nesta unidade. Os demais tratos de sistemas, TSNB e TSNA, da SEQ1 são representados por refletores um pouco menos contínuos que constituem sismofácies paralelas a subparalelas, indicando deposição por processos trativos e gravitacionais, típicos de sistemas ricos em fácies areníticas,

corroborado pela presença de terminações em *downlap* no TSNA (Figura 12B).

O conjunto de refletores que corresponde à SEQ2 constitui sismofácies paralelas a subparalelas, em que os refletores são contínuos em algumas porções e descontínuos em outras. Externamente, as unidades genéticas, sejam os tratos de sistemas da SEQ1 ou da SEQ2, interpreta-se geometria aproximadamente tabular, refletindo a espessura pouco variável de todos os refletores ao longo da seção.

A análise sismoestratigráfica permitiu, por fim, compreender o comportamento das unidades genéticas ao longo das seções estudadas. Como já descrito, cada unidade genética, seja um trato de sistemas ou a própria sequência deposicional, é caracterizada por apresentar geometria tabular com refletores internos paralelos a subparalelos e concordantes com as superfícies estratigráficas limitantes. A espessura pouco variável destas unidades ao longo da seção é coerente com a ambiência tectônica de uma bacia do tipo sinéclise

e compatível com o contexto em que a bacia estudada foi gerada.

Mapas de isócoras

Foram elaborados quatro mapas de isócoras (Figura 13) com base na espessura em subsuperfície das unidades estratigráficas estudadas, na medida em que foi possível a associação direta destas com as unidades litoestratigráficas preestabelecidas, o que não foi possível somente para elaboração do mapa de isócoras do TST e TSNA, isto porque ambos os

tratos correspondem às seções rochosas antes individualizadas como Formação Pimenteiras. Desta maneira, foi gerado um mapa que contém informações referentes a estes dois tratos, visto que apenas a análise poço a poço permitiria a determinação da espessura de cada um desses tratos individualmente. Vale salientar também que, em razão da concentração de poços em determinadas regiões da bacia em detrimento de outras, o resultado da modelagem pode não ser confiável para todas as regiões devido à extrapolação dos dados.

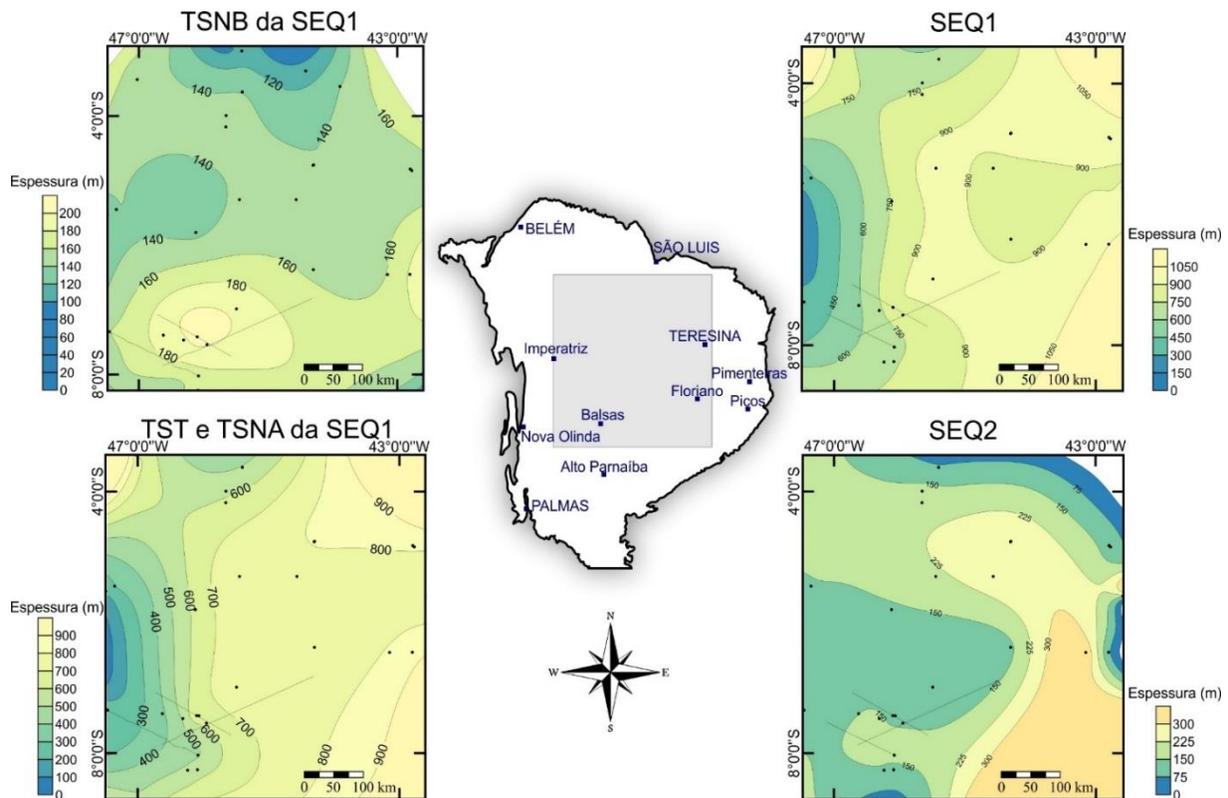


Figura 13. Mapas de isócoras das unidades estratigráficas: TSNB (equivalente à Formação Itaim), superior esquerda; TST e TSNA (formações Pimenteiras e Cabeças), inferior esquerda; SEQ1 completa (formações Itaim, Pimenteiras e Cabeças), superior direita; SEQ2 completa (Formação Longá), inferior direita

O mapa de isócoras do TSNB da SEQ1, que corresponde à Formação Itaim, mostra a espessura máxima desta unidade superior a 200 m, localizada na região centro-sul e sudeste da bacia, o que poderia evidenciar uma possível configuração de depocentro. Porém, considerando-se a escassez de poços amostrados para elaboração do mapa, a ausência de dados de campo (análise de fácies, direções de

paleocorrente etc.) e, principalmente, o tipo de bacia, que dificulta até mesmo a determinação de um TSNB na maioria dos casos, não é possível determinar, com os dados analisados, qual seria a localização do depocentro ou mesmo o *trend* deposicional desta unidade.

Já no mapa de isócoras do TST e TSNA, a espessura máxima é superior a 900 m e ocorre na porção leste. Da mesma maneira, o mapa da SEQ1

completa apresenta maior espessura também na porção leste da Bacia do Parnaíba, onde pode ser superior a 1.050 m, influenciado pela maior espessura dos TST e TSNA nesta região.

O mapa de isócoras da SEQ2 completa, que corresponde à Formação Longá, apresenta espessuras superiores a 300 m na porção sudeste da Bacia do Parnaíba, estendendo-se para norte e noroeste. Porém, é importante considerar que a maior parte dos poços amostrados se encontram na porção sudoeste do mapa, onde as espessuras são inferiores a 150 m, e apenas um poço na região leste apresentou espessura superior a 300 m, fato que resultou na extrapolação e pode não refletir o que de fato ocorre em subsuperfície nessa região.

SÍNTESE ESTRATIGRÁFICA

O método da estratigrafia de sequências aplicado à seção devoniana da Bacia do Parnaíba apresentou resultados, em geral, condizentes com o que se espera para uma bacia do tipo sinéclise e com os resultados de trabalhos anteriores. Della Fávera (2001) aponta como principais desafios na aplicação deste método nas bacias intracratônicas brasileiras: suas dimensões excepcionalmente grandes, com rampas de mergulho muito suaves; linhas de tempo praticamente horizontais e uma história evolutiva que compreende longos períodos de lenta acumulação de sedimentos.

O uso da estratigrafia de sequências como método de análise estratigráfica possibilitou compartimentar a seção estudada em duas sequências deposicionais: Sequência Depositional 1 (37 Ma) e Sequência Depositional 2 (15 Ma), separadas pela Discordância Neodevoniana.

A SEQ1 constitui um ciclo transgressivo-regressivo completo de segunda ordem na qual os sistemas deposicionais, interpretados com base na bibliografia e nos padrões das litofácies, são representados pelos sistemas marinho raso, deltaico e estuarino, por vezes sob influência de tempestades e condições periglaciais. É importante ressaltar que, em se tratando de uma bacia intracratônica – na qual a deposição ocorre em rampas com mergulhos muito suaves –, qualquer elevação do nível eustático afeta a deposição em uma vasta região da bacia, gerando

Corroborando o que se observa na Linha Sísmica A, os mapas de isócoras do intervalo estudado completo e dos TST e TSNA mostram aumento de espessura de NW para SE, tanto na região em que a linha sísmica está localizada quanto se observada a bacia de uma maneira geral. No entanto, pela análise sismoestratigráfica, fica claro que essas variações se devem principalmente ao TSNA, cuja espessura é maior na porção sudeste da linha. Já nos mapas do TSNB da SEQ1 e da SEQ2 completa, na região em que se encontra a Linha Sísmica A não se observam variações expressivas de espessura, corroborando o que também se observa ao longo da linha sísmica.

estratos aproximadamente horizontais, geometria e distribuição dos tratos de sistemas diferentes do que se observa nos modelos de bacias com tectônica mais atuante.

A deposição da SEQ1 inicia-se com o TSNB (Figura 14-a), quando o nível relativo do mar, em sua posição mínima, começa a subir após o evento que deu origem à Discordância Eodevoniana. Este trato de sistemas foi determinado por meio da análise 1D, considerando-se as características das litofácies e os padrões de empilhamento que indicam sua ocorrência: conjuntos de ciclos com padrões de empilhamento que evoluem da base para o topo de progradação a agradacionais. Este arranjo é resultado do acréscimo gradual da taxa de acomodação à medida que a taxa de subida do nível de base aumenta. No momento em que ocorre a máxima extensão dos depósitos de nível baixo em direção à bacia, é gerada a SRM, que, ao menos nos poços estudados, coincide com o topo da Formação Itaim.

O TST foi depositado em ambiente plataformal sob influência de tempestades já em um contexto em que a taxa de subida do nível de base, neste caso o nível relativo do mar, supera a taxa de subsidência (Figura 14-b). Esta situação resulta em um conjunto de parassequências com padrão de empilhamento retrogradacional. Ao final deste trato, ocorre a máxima extensão dos depósitos marinhos em direção ao continente e seu topo é representado pela STM1.

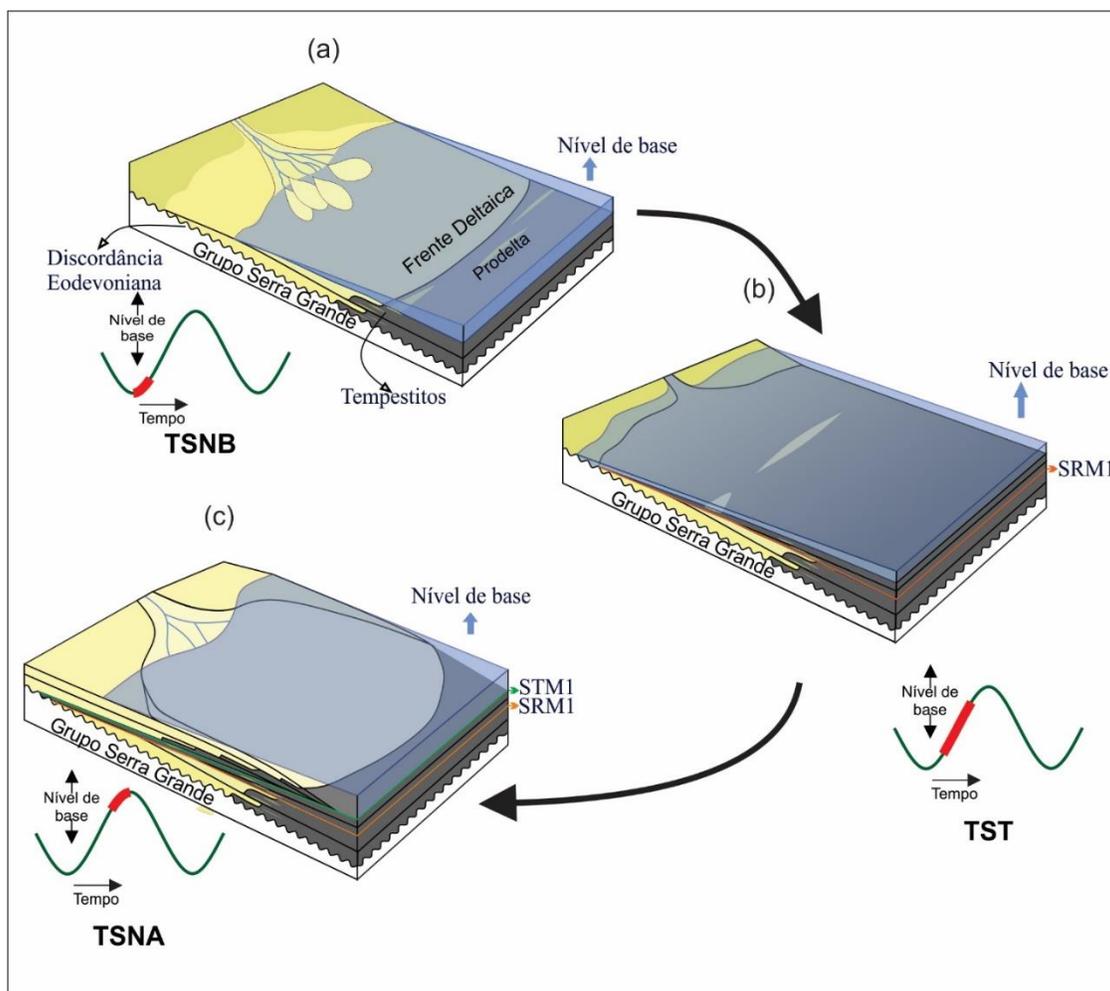


Figura 14. Modelos estratigráficos evolutivos da Sequência Depositional 1 (SEQ1) com exagero vertical para melhor visualização das superfícies estratigráficas e processos envolvidos, sem orientação. (a) TSNB, depositado em condições de subida do nível de base e acréscimo da taxa de acomodação; (b) TST, depositado durante a transgressão marinha; (c) TSNA, depositado no momento final da subida do nível de base, quando a taxa de subida do nível de base começa a diminuir, até o nível do mar estacionário.

O TSNA inicia sua deposição a partir desta máxima transgressão (Figura 14-c), evoluindo de um contexto plataformal para um sistema deltaico ou estuarino com influência glacial. Este trato de sistemas é depositado em condições de decréscimo na taxa de subida do nível de base, o que ocasiona a diminuição na taxa de acomodação, gerando conjuntos de parassequências inicialmente agradacionais que passam a progradacionais no estágio final de deposição. Tanto na análise dos perfis integrados quanto na análise sismoestratigráfica, este trato de sistemas apresentou corpos arenosos mais desenvolvidos, com maiores espessuras e presença de terminações em *downlap* não observadas em

nenhum outro trato, possivelmente em razão de seu espaço de acomodação e aporte sedimentar serem maiores que os dos outros tratos.

A SEQ2, de menor magnitude que a SEQ1, depositou-se completamente em ambiente marinho e apresenta-se incompleta em alguns poços em que o TSNA não foi identificado. A deposição desta sequência inicia-se com um TSNB, de difícil detecção nos perfis, em razão de conter litofácies depositadas em um mesmo contexto ambiental que aquele do TST sobreposto. No TSNB tais litofácies se apresentam em conjuntos de parassequências com padrão de empilhamento progradacional típico de uma fase regressiva; no entanto, o TST apresenta um

arranjo das parassequências notadamente retrogradacional.

Por fim, o TSNA da SEQ2, nos poços em que ocorre, apresenta um padrão fortemente progradacional, com maior ocorrência de camadas

de arenito no topo da seção, que poderiam ser interpretadas como depositadas a partir de sistemas costeiros arenosos (como ilha barreira, praias ou mesmo uma frente deltaica).

CONCLUSÃO

Diante dos resultados aqui apresentados, pode-se concluir que a aplicação do método da estratigrafia de sequências na seção estudada da Bacia do Parnaíba, baseada principalmente na análise de perfis geofísicos (em especial o de raios gama) para determinação das superfícies

estratigráficas e tratos de sistemas, mostrou-se viável, visto que as sucessões de litofácies reconhecidas nos perfis exibem padrões de empilhamento típicos dos tratos de sistemas identificados.

AGRADECIMENTOS

As autoras expressam seus agradecimentos ao Laboratório de Geologia e Geofísica do Petróleo da UFRN pela estrutura física que possibilitou a execução desta pesquisa, ao Projeto de Pesquisa “Geologia e Sistemas Petrolíferos da Bacia Intracratônica do Parnaíba, Nordeste do Brasil” (BPAR), que proveu recursos para a realização desta pesquisa, ao Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica (PPGG-UFRN) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por viabilizarem o desenvolvimento da Dissertação de Mestrado, da qual este artigo é parte integrante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGUIAR, G.A. Revisão geológica da Bacia Paleozóica do Maranhão. *In*: SBG, CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1971, São Paulo. *Anais*. v. 3, p. 113-122.
2. ALBUQUERQUE, K.R.M. **Subdivisão estratigráfica da sequência Devoniana da bacia do Parnaíba**. Rio de Janeiro, 2000. 130 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
3. BARBOSA, R.C.M. **Paleoambiente e Proveniência da Formação Cabeças da Bacia do Parnaíba: Evidências da Glaciação Fammeniana e Implicações na Potencialidade do Reservatório**. Belém, 2014. 124 p. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará.
4. CAPUTO, M.V. **Stratigraphy, Tectonics, Paleoclimatology and Paleogeography of Northern Basins of Brazil**. Santa Barbara, 1984. 583 p. Tese (Doutorado) – University of California.
5. CAPUTO, M.V.; MELO, J.H.G.; STREEL, M.; ISBELL, J.L. Late Devonian and early Carboniferous glacial records of South America. *Geological Society of America Special Papers*, v. 441, p. 161–173, 2008.
6. CAROZZI, A.V. **Análise ambiental e evolução tectônica sinsedimentar da seção siluro-eocarbonífera da Bacia do Maranhão**. Rio de Janeiro, PETROBRAS. Série Ciência-Técnica-Petróleo, n. 7, 1975.
7. CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo** – Folhas SA.22 (Belém), SA.23 (São Luís), SA.24 (Fortaleza), SB.22 (Araguaia), SB.23 (Teresina), SB.24 (Jaguaribe), SC.22 (Tocantins), SC.23 (Rio São Francisco), SC.24 (Aracaju), Escala 1:1. 000.000. Sistema de Informações Geográficas. Programa Geologia do Brasil. Brasília: CPRM. CD-ROM, 2004.
8. DELLA FÁVERA, J.C. **Tempestitos na Bacia do Parnaíba**. Porto Alegre, 1990. 560 p. Tese de Doutorado – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
9. DELLA FÁVERA, J.C. **Fundamentos de Estratigrafia Moderna**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 264p., 2001.
10. FREITAS, E.L. **Análise Estratigráfica da Sequência Devoniana aflorantes na Bacia do Parnaíba entre as cidades de Picos e Oeiras (PI)**. Ouro Preto, 1990. 175 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.
11. GALLOWAY, W.E. Genetic stratigraphic sequences in basin analysis I: architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 73, n. 2, p. 125-142, 1989.
12. GÓES, A.M. **A Formação Poti (Carbonífero Inferior) da Bacia do Parnaíba**. São Paulo, 1995. 171 p.

Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

13. GÓES, A.M de O. & FEIJÓ, F.J. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 8, n. 1, p. 57-68, 1994.

14. KEGEL, W. **Contribuição para o estudo do Devoniano da Bacia do Parnaíba**. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia, 48 p., 1953.

15. LOBATO, G. & BORGHI, L. Análise estratigráfica de alta resolução do limite formacional Longá/Poti, Bacia do Parnaíba – Um caso de investigação de possíveis corpos isolados de arenito. *In*: Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás, 4, 2007, Campinas. **Anais...** Campinas: Associação Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás, 2007, 10 p. Disponível em:

http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/4/resumos/4PDPETRO_1_1_0333-1.pdf. Acessado em: 15 jan. 2015.

16. PLINT, A.G. Sharp-Based shoreface sequences and “offshore bars” in the Cardium Formation of Alberta: Their relationship to relative changes sea level. *In*: WILGUS, C.K.; HASTINGS, B.S.; KENDALL, C.G. St. C.; POSAMETIER, H.W.; ROSS, C.A.; VAN WAGONER, J.C. (eds.). **Sea-level changes: an integrated approach**. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication, v. 42, p. 357-370, 1988.

17. PONCIANO, L.C.M.O. & DELLA FÁVERA, J.C. Flood-dominated fluvio-deltaic system: a new depositional model for the Devonian Cabeças Formation, Parnaíba Basin, Piauí, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 81, n. 4, p. 769-780, 2009.

18. REZENDE, N.G.A.M. **A Zona Zeolítica da Formação Corda, Bacia do Parnaíba**. Belém, 2002. 142 p. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará.

19. SLOSS, L.L. Sequences in the cratonic interior of North America. **Geological Society of America Bulletin**, v. 74, p. 93-113, 1963.

20. SMALL, H.L. **Geologia e suprimento d'água subterrânea no Piauí e parte do Ceará**. Rio de Janeiro: Inspetoria Federal de Obras Contra a Seca, 146 p, 1914.

21. VAN WAGONER, J.C.; MITCHUM, R.M.; CAMPION, K.M.; RAHMANIAN, V.D. **Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies**. American Association of Petroleum Geologists Methods in Exploration Series, n. 7, 55 p., 1991.

22. VAZ, P.T.; REZENDE, N.G.A.M.; WANDERLEY FILHO, J.R.; TRAVASSOS, W.A. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 253-263, 2007.

23. VETTORAZZI, A.L.S. **Caracterização sedimentológica dos arenitos da Formação Cabeças (Devoniano) na borda leste da Bacia do Parnaíba**. Rio de Janeiro, 2012. 91 p. Dissertação (Mestrado em geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

24. YOUNG, C.G.K. **Contribuição à análise da Formação Pimenteira (Devoniano, bacia do Parnaíba): caracterização de um potencial intervalo de rochas-reservatório**. Rio de Janeiro, 2003. 84 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

25. YOUNG, C.G.K. **Estratigrafia de alta resolução da Formação Pimenteira (Devoniano, Bacia do Parnaíba)**. Rio de Janeiro, 2006. 174 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

26. YOUNG, C.G.K. & BORGHI, L. Isolated sandstone bodies: a new model for petroleum exploration in Brazilian Paleozoic Basins. *In*: RIO OIL AND GAS 2006 EXPO & CONFERENCE, Rio de Janeiro, 2006. **Resumos expandidos...** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis, CD-ROM, 6p.

*Manuscrito recebido em: 19 de Fevereiro de 2016
Revisado e Aceito em: 20 de Outubro de 2016*