Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologia e Ciências
Faculdade de Geologia

Victor Hugo Teixeira Schuback

Interpretação Sísmica e Modelagem gravimétrica 2D do Paleozoico inferior na porção Sudeste da Bacia do Parnaíba.

Rio de Janeiro
2019

Victor Hugo Teixeira Schuback

Interpretação Sísmica e Modelagem gravimétrica 2D do Paleozoico inferior na porção Sudeste da Bacia do Parnaíba.

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geociências, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Geociências.

Orientador: Prof. Dr. Miguel Ângelo Mane

Rio de Janeiro

2019

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/C

S383 Schuback, Victor Hugo Teixeira Schuback.
Interpretação Sísmica e Modelagem gravimétrica 2D do Paleozoico inferior na porção Sudeste da Bacia do Parnaíba / Victor Hugo Teixeira Schuback. – 2019.
350 f. : il.

Orientador: Miguel Ângelo Mane.
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia.

1. Geologia estratigráfica - Brasil, Nordeste – Paleozoico –Teses. 2. Prospecção sísmica. – Parnaíba, Rio, Bacia (PI e MA) – Teses. 3. Método de reflexão sísmica – Parnaíba, Rio, Bacia (PI e MA) – Teses. 4. Sedimentação e depósitos – Parnaíba, Rio, Bacia (PI e MA) – Paleozoico – Teses. I. Mane, Miguel Ângelo. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Geologia. III. Título.

CDU 551.14(812.1/2)

Bibliotecária responsável: Fernanda Lobo / CRB-7:5265

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

_____ _____

Assinatura Data

Victor Hugo Teixeira Schuback

Interpretação Sísmica e Modelagem gravimétrica 2D do Paleozoico inferior na porção Sudeste da Bacia do Parnaíba.

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geociências, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Geociências.

Aprovada em 26 de Fevereiro de 2019.
Banca Examinadora:

Prof. Dr. Miguel Ângelo Mane (Orientador)
Faculdade de Geologia – Universidade do Estado do Rio de Janeiro

---

Prof. Dr. Webster Ueipass Mohriak
Faculdade de Geologia - Universidade do Estado do Rio de Janeiro

---

Prof. Dr. Wagner Moreira Lupinacci
Departamento de Geologia e Geofísica - Universidade Federal Fluminense

---

Prof. Dr. Hernani Chaves
Faculdade de Geologia - Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Rio de Janeiro
2019

DEDICATÓRIA

À minha querida família.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho, resultado de intenso esforço e dedicação, só pôde ser concretizado graças a influência e apoio de diversas pessoas e organizações. Dedico um agradecimento especial:

À minha querida família que está sempre comigo, me apoiando e acreditando no meu potencial.

À minha querida esposa Melissa Moro pela paciência e suporte durante esta jornada.

Ao programa de Pós-Graduação em Análise de bacias e faixas móveis, ao Departamento de Geologia e ao Laboratório de Sismoestratigrafia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro por todo apoio e estrutura que foram oferecidos para a realização deste trabalho.

À Agência Nacional do Petróleo (ANP) pelos dados geofísicos oferecidos.

À empresa GEOSOFT pelo apoio técnico e por oferecer a licença de software Oasis-Montaj, que foi de grande valia para a pesquisa.

À empresa Schlumberger pelo apoio técnico e por oferecer a licença do software PETREL.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pelo suporte financeiro.

Aos meus companheiros do Laboratório de Sismoestratigrafia, pelas constantes discussões geológicas e geofísicas, em especial a Ana Carolina, Renata Gama, Luciana Brelaz, Suellen Gouvêa, Talissa Mira e Hugo Raphael.

À geóloga Amanda Porto pelos ensinamentos e pela importante contribuição que permitiram a evolução desta pesquisa.

Ao orientador Miguel Mane por acreditar e confiar nesta pesquisa.

Ao professor e membro da banca desta dissertação Webster Mohriak, pelas importantes sugestões para a melhoria do trabalho de dissertação.

Ao professor e membro da banca desta dissertação Wagner Moreira Lupinacci.

Você não pode mudar o vento, mas pode ajustar as velas do barco para chegar onde quer.

Confúcio

RESUMO

SCHUBACK, Victor Hugo Teixeira. *Interpretação Sísmica e Modelagem gravimétrica 2D do Paleozoico inferior na porção Sudeste da Bacia do Parnaíba.* 2019. 86 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

O presente trabalho propõe uma nova perspectiva acerca do arcabouço estrutural e estratigráfico do segmento sudeste da Bacia do Parnaíba. O resultado da interpretação de 1500 km lineares de sísmica de reflexão 2D, associados a dados gravimétricos, revelou a presença de uma bacia grabenforme pré-Siluriana ao longo de uma megazona de cisalhamento, de direção NE-SW, denominada Lineamento Transbrasiliano (LTB). Mapas de isópacas e do topo do embasamento indicam a influência do LTB durante a instalação desta bacia pré-Siluriana, e também durante a deposição inicial da sequência siluriana da Bacia do Parnaíba (Grupo Serra Grande). O pacote pré-siluriano é limitado no topo pela discordância pré-siluriana (PSU) na base pelo topo do embasamento e possui espessura máxima de 2.400 m, preenchendo um graben de aproximadamente 17 km de largura, balizado a SE por uma falha mestra que se estende por pelo menos 240 km na direção NE-SW. Três principais sequências foram identificadas na bacia pré-siluriana, Sequências I, II e III. Devido ao seu contexto geológico e à sua posição geográfica elas foram correlacionadas às unidades da Bacia do Jaibaras (BJ), classificada como um rifte de idade cambro-ordoviciana e localizada na borda NE da Bacia do Parnaíba, paralela ao LTB. A Sequência I, mais basal, possui espessura de aproximadamente 200 m e foi interpretada como a fase pré-rifte, correlata ao Grupo Ubajara da BJ. Acima, a Sequência II possui espessura máxima de 1300 m no eixo central do graben, interpretada como fase sin-rfite I e correlata às Formações Massapê e Pacujá da BJ. Finalmente no topo, a Sequência III possui espessura máxima de 1200 metros e foi interpretada como fase sin-rifte II, correlata à Formação Aprazível da BJ. A análise dos dados aeropotenciais e a modelagem direta 2D de um perfil gravimétrico na região sugerem um embasamento heterogêneo sob o pacote sedimentar pós e pré silurianos, uma vez que as anomalias negativas não se correlacionam diretamente com o mapa de isópaca total da área. O modelo que melhor se ajustou à curva da anomalia gravimétrica *Bouguer* foi o que apresentou um corpo intrusivo de alta densidade no limite crosta superior/inferior na região do LTB. Os principais *trends* de anomalia negativa, de formato alongado e direção N30E e N45E foram associados a blocos metassedimentares de baixa densidade, possivelmente de idade Neorpoterozóica ou mais antigos e inseridos em estruturas alinhadas ao LTB.

Palavras-chave: Bacia do Parnaíba. Lineamento Transbrasiliano. Interpretação sísmica. Paleozoico Inferior.

ABSTRACT

SCHUBACK, Victor Hugo Teixeira. *Seismic Interpretation and 2D gravity Modeling of the Lower Paleozoic in the Southeast portion of the Parnaíba Basin.* 2019. 86 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

We present a new perspective on the structural and stratigraphic framework in the southeast segment of the Parnaíba Basin. The interpretation of two-dimensional seismic reflection profiles over a lenght of 1500 km, associated to gravity data, revealed the presence of a grabenlike pre-silurian basin bounded by a major shear zone, trending NE-SW, denominated Transbrazilian Lineament (LTB). This research has built several isopach and basement maps that indicate the influence of the shearing zone LTB throughout the installation of the pré-silurian basin and the initial deposition of the silurian sequence of the Parnaíba Basin (Serra Grande Group). The pre-sillurian sequence mapped is bounded on the top by pré-silurian unconformity (PSU) and its base by the top of the basement, has a maximum thickness of 2400 meters, filling a 17km wide graben, bounded SE by a main fault that extends over 240km in NE-SW direction. Three main sequences were identified along the pré-silurian basin, sequences I, II and III. Due to its geological context and geographical position they were correlated with the Jaibaras Basin (BJ) unit, classified as a cambro-ordovician rift and located in the NE border of the Parnaíba Basin, parallel to LTB. The sequence I, more basal, has a thickness of approximately 200 m and has been interpreted as the pre-rift phase, correlated to the Ubajara Group (BJ). Above, Sequence II has maximum thickness of 1300 m on the central axis of the graben, interpreted as syn-rift I and correlated to Massape and Pacujá Formations of BJ. Finally at the top, Sequence III has a maximum thickness of 1200 meters and was interpreted as sin-rift II, correlated to the Aprazível Formation. The analysis of the aeropotential data and two dimensional gravity modeling processes along a seismic profile suggests a heterogeneous crystalline basement under pré-silurian and pos-silurian sequences, since the negative anomalies do not correlate directly with the total basin isopach map. The model that best fits to the bouguer gravity anomalie curve was the one that presented a high density intrusive body, located in the limit of superior/inferior crust in the LTB region. The main negative anomalie trends, long-shaped and direction N30E and N45E, were associated to low density meta-sedimentary blocks, possibly of Neorpoterozoic or older and found in structures alined to the LTB.

Keywords: Parnaíba Basin. Transbrazilian Lineament. Seismic Interpretation. Lower Paleozoic.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo e dos dados geofísicos. 15
Figura 2 - Mapa geotectônico da Bacia do Parnaíba 18
Figura 3 - Mapa do arcabouço estrutural do embasamento cristalino da área de estudo. 19
Figura 4 - Diferentes paleoconstruções do embasamento Pré-Siluriano da Bacia do Parnaíba 21
Figura 5 - Seção sísmica profunda interpretada ao longo da Bacia do Parnaíba 22
Figura 6 - Seção tectonoestratigráfica representativa do Graben do Jaibaras. 24
Figura 7 - Carta estratigráfica da Bacia do Parnaíba. 26
Figura 8 - Mapa geológico simplificado da Bacia do Parnaíba. 28
Figura 9 - Classificação de fáceis sísmicas. 32
Figura 10 - Principais estruturas associadas a intrusões de soleiras. 34
Figura 11 - Interpretação de soleiras de diabásio ao longo da linha sísmica 0295-007. . 35
Figura 12 - Calibração poço-sísmica, realizada a partir da ferramenta *seismic well tie* do software PETREL. 36
Figura 13 - Atributos utilizados na interpretação sísmica. 38
Figura 14 - Fluxograma da construção do modelo de velocidade. 40
Figura 15 - Procedimento de construção do modelo final do cubo de velocidade. 41
Figura 16 - Seção sísmica interpretada referente a linha *Dip* 0295-004. 43
Figura 17 - Seção sísmica interpretada referente a linha *Dip* 0295-006 44
Figura 18 - Seção sísmica interpretada referente a linha *Dip* 0295-007 45
Figura 19 - Seção sísmica interpretada referente a linha *Dip* 0295-008 46
Figura 20 - Mapa de isópaca total da seção sedimentar até o topo do embasamento. . . 48
Figura 21 - Linha sísmica 0295-007 interpretada com zoom ao longo da calha principal do LTB. 49
Figura 22 - Mapa de Isópacas do Grupo Serra Grande, de idade siluriana. 51
Figura 23 - Intrusões ígneas mapeadas ao longo da linha sísmica 0295-006. 53
Figura 24 - Mapa de Isópacas da Bacia Pré-Siluriana interpretada. 55
Figura 25 - Mapas 2D e 3D referentes a superfície do Embasamento e seus planos de falhas principais. 57
Figura 26 - Mapa representativo do principal depocentro pré-siluriano ao longo da área de estudo. 58
Figura 27 - Micronivelamento dos dados de anomalia *Bouguer*. 61
Figura 28 - Espectro de potência da anomalia *Bouguer*. 62
Figura 29 - Mapas de anomalia *Bouguer* total, *Bouguer* residual, *Bouguer* regional e Campo Magnético Anômalo. 66

Figura 30 - Mapa de anomalia *Bouguer* com localização e profundidade de fontes por meio da deconvolução de Euler. 68
Figura 31 - Densidade dos blocos utilizadas durante o processo de modelagem. 70
Figura 32 - Comparativo entre perfil de anomalia gravimétrica *Bouguer* ao longo da Bacia do Jaibaras e perfil de anomalia gravimétrica *Bouguer* ao longo da linha sísmica 0295-007. 72
Figura 33 - Modelagem gravimétrica direta 2D ao longo do perfil sísmico 0295-007. . 74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
BDEP	Banco de Dados de Exploração e Produção
CAMP	Central Atlantic Magmatic Province
CMA	Campo Magnético Anômalo Total
EQA	Equatorial Circum-Atlantic Province
Fm.	Formação
BJ	Bacia do Jaibaras
IGRF	Campo Geomagnético Internacional de Referência (*International Geomagnetic Reference Field)*
KM	Quilômetro
LTB	Lineamento Transbrasiliano
PSTM	Migração em tempo pós-empilhamento (Post-Stack Time Migration)
RMS	Raiz Média Quadrática (*Root Mean Square)*
TecVa	Técnica Volume de Amplitude
TWT	Tempo Duplo (*Two Way Time)*
USP	Universidade de São Paulo
WGS	Sistema Geodésico Internacional (*World Geodetic System*)

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	12
1	**LOCALIZAÇÃO E BASE DE DADOS**	14
1.1	**Aerolevantamentos**	14
1.2	**Dados Sísmicos**	16
1.3	**Poço**	16
2	**CONTEXTO GEOLÓGICO**	17
2.1	**Embasamento Pré-Cambriano**	17
2.1.1	Lineamento Transbrasiliano	19
2.2	**Bacias Pré-Silurianas ao longo do LTB**	20
2.2.1	Bacia do Jaibaras	23
2.3	**Bacia Parnaíba**	25
2.4	**Magmatismo**	29
3	**INTERPRETAÇÃO SíSMICA**	30
3.1	**Metodologia**	30
3.1.1	Identificação de Sequências Sísmicas	30
3.1.2	Geometrias de intrusões magmáticas na sísmica	33
3.1.3	Calibração Poço-Sísmica	35
3.1.4	Atributos Sísmicos	36
3.1.5	Modelo de Velocidade e conversão sísmica em profundidade	39
3.2	**Resultados**	42
3.2.1	Bacia Paleozóica do Parnaíba	50
3.2.2	Bacia Pré-Siluriana	53
3.2.3	Arcabouço Estrutural	56
4	**ANÁLISE DOS DADOS AERO-POTENCIAIS**	59
4.1	**Processamento dos dados**	60
4.1.1	Micronivelamento dos dados gravimétricos	60
4.1.2	Mapa de anomalia *Bouguer* residual e regional	61
4.1.3	Deconvolução de Euler 3D	63
4.1.4	Mapa do Campo Magnético Anômalo	64
4.2	**Resultados**	64
5	**MODELAGEM GRAVIMÉTRICA 2D**	69
5.1	**Resultados**	69
6	**DISCUSSÃO**	75
	CONCLUSÃO	80
	REFERÊNCIAS	82

INTRODUÇÃO

É notável a crescente importância de bacias de novas fronteiras perante ao cenário exploratório nacional e internacional. De uma forma generalizada pode-se afirmar que o conhecimento geológico e geofísico da Bacia do Parnaíba é considerável. Graças aos intensos estudos da ANP na região e os avanços em técnicas de aquisição, processamento e interpretação dos dados geofísicos, áreas que antes eram vistas como inviáveis para a exploração, tornaram-se promissoras para geração de óleo/gás, fato de grande importância para o mercado exploratório. Recentes investimentos têm contribuído para um melhor entendimento da região sudeste da Bacia do Parnaíba, conforme pode ser consultado nos últimos leilões de blocos exploratórios da ANP, constando na 14ª e 15ª rodada de licitação de blocos (2017/2018), com importante enfoque na região sudeste da Bacia do Parnaíba. Recentes publicações da ANP na região sudeste da Bacia do Parnaíba trazem a luz do conhecimento novas percepções com potencial exploratório na bacia, indicando um novo sistema petrolífero para a região, o Siluriano Tianguá-Ipu (ABELHA; PETERSOHN; BASTOS, 2018). Porém, a região sudeste da Bacia do Parnaíba ainda carece de conhecimento quanto à gênese e evolução de seu substrato cristalino, poucos são os dados geofísicos disponíveis na região, possuindo apenas algumas linhas sísmicas regionais e poucos poços. Entende-se que um conhecimento mais detalhado de seu substrato torna-se fundamental para uma análise mais exata do desenvolvimento tectono-sedimentar da bacia.

Tendo em vista o foco perante o cenário exploratório nacional da região sudeste da Bacia do Parnaíba, motivou-se a elaboração de tal dissertação, auxiliando assim no enriquecimento tanto para a interpretação exploratória na industria do petróleo, quanto para o enfoque científico-acadêmico, com análise geológica e geofísica do desenvolvimento da bacia.

A área de interesse do presente trabalho é cortada por uma importante descontinuidade continental, de nível crustal e direção NE-SW, denominada Lineamento Transbrasiliano (LTB). Tal lineamento teve influência direta nos registros sedimentares mais antigos da bacia. Segundo Araujo *et al.* (2012), o LTB controlou a formação e o preenchimento sedimentar de grabens percursores à Bacia do Parnaíba e de outros Grabens Eocambrianos (540-520 Ma). Por meio da análise de dados gravimétricos, sísmicos e de poço, Castro *et al.* (2016) apresentaram novas perspectivas sobre o arcabouço estrutural da bacia e delimitaram a existência de tais grabens de idade Cambro-ordoviciano ao longo da zona de estudo, que devido ao contexto geológico e a posição geográfica poderiam ser correlatos ao Graben do Jaibaras e do Cococi. Porém, poucos trabalhos publicados até então caracterizaram os pacotes sedimentares inseridos e os limites exatos dos grabens sotopostos à Bacia do Parnaíba, tornando impreciso o entendimento do arcabouço estrutural e o histórico tectono-sedimentar na zona do presente trabalho.

A região de estudo foi fortemente afetada por dois eventos magmáticos Mesozoicos, correlacionados com as Formações Mosquito e Sardinha, e caracterizados por intrusões de diques e soleiras ao longo da Bacia do Parnaíba. Segundo Neto *et al.* (2013), as soleiras intrudidas nos

sedimentos da Bacia do Parnaíba, ao longo do LTB, encontram-se claramente envolvidas em processos de deformação, podendo ser um indicador de reativação tectônica que ocorreu após 200Ma. Porém, existe uma literatura limitada quanto à influência desses eventos magmáticos na área de estudo, bem como à influência nos processos do sistema petrolífero, sua assinatura na sísmica e, por fim, sua influência nos registros sísmicos e potenciais da área.

O presente trabalho intitulado "Interpretação Sísmica e Modelagem gravimétrica 2D do Paleozoico inferior na porção Sudeste da Bacia do Parnaíba", tem como objetivo a caracterização sismoestratigráfica e sismoestrutural dos principais intervalos sísmicos da Bacia do Parnaíba e da Bacia pré-siluriana. Pretende-se, por meio de processos de modelagem gravimétrica 2D ao longo de uma linha sísmica, caracterizar a macroestruturação do embasamento cristalino que se encontra abaixo da sequência pré-siluriana e da sequência do Parnaíba, estabelecendo a influência do arcabouço estrutural durante a deposição sedimentar da seção pré-siluriana e dos primeiros registros sedimentares da Bacia do Parnaíba. Pretende-se, com isso, compreender as sequências sedimentares da Bacia pré-Siluriana e da Bacia do Parnaíba ao longo do Lineamento Transbrasiliano.

1 LOCALIZAÇÃO E BASE DE DADOS

A região investigada está inserida na porção nordeste do território brasileiro, entre os estados do Maranhão e do Piauí (Figura 1), e abrange uma área de aproximadamente 50.000 Km^2. Pertence à porção centro-leste da Bacia do Parnaíba, uma das três maiores bacias de idade paleozoica brasileira.

A integração de métodos sísmicos e não sísmicos está sendo requisitada cada vez mais na indústria do petróleo por apresentar resultados com excelente resolução e confiabilidade, permitindo com que os modelos geológicos sejam mais fidedignos da geologia local.

Os métodos geofísicos potenciais manipulados nesta dissertação passaram por técnicas de controle de qualidade, tratamento e interpretação. Neste trabalho, foi realizada a interpretação sísmica em seções sísmicas 2D, análise gravimétrica além de modelagem gravimétrica direta 2D. A conversão em profundidade do dado sísmico envolveu a utilização de um poço e de dados de velocidades sísmicas oriundas do processamento *post-Stack*. Todos os dados foram fornecidos pela ANP, sendo que os dados de gravimetria e magnetometria foram obtidos através do programa *"Levantamentos aerogeofísicos da Parnaíba"*, por meio de convênio entre a ANP e a Escola politécnica da Universidade de São Paulo (USP). As linhas sísmicas utilizadas, que somam 1500 km lineares, foram adquiridas pela ANP no ano de 2008. O único poço considerado neste trabalho é um poço pioneiro e foi classificado como seco com indícios de gás, perfurado e finalizado no ano de 1962. A distribuição dos dados na área de estudo pode ser observada na Figura 1.

O presente trabalho foi segmentado em três etapas:

a) Interpretação sísmica, geração de mapas de superfície, isópacas e a consequente conversão dos horizontes e mapas em tempo para profundidade;

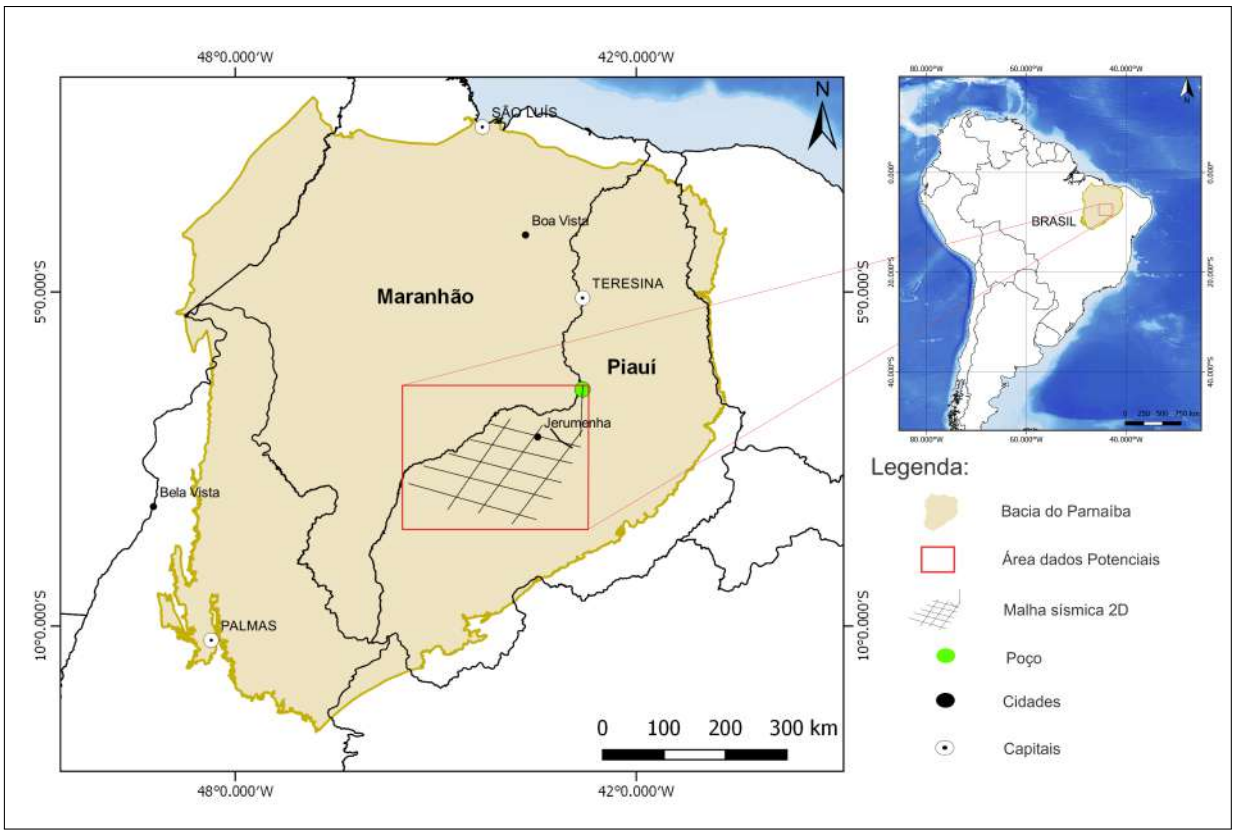
b) Identificação das zonas de anomalias gravimétricas e magnéticas;

c) Modelagem gravimétrica 2D ao longo da linha sísmica 0295-007.

1.1 Aerolevantamentos

Dados de aerolevantamentos utilizados nesta dissertação compreendem dados de gravimetria e magnetometria adquiridos no Projeto Aerogeofísico da Parnaíba, convênio entre a ANP e a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Tal projeto denominado levantamento 0050 cobre toda a extensão da Bacia do Parnaíba e se estende numa área de 750.000 km^2, incluindo diversos estados do nordeste brasileiro, entre eles: Tocantins, Maranhão, Piauí, Pará, Ceará, Pernambuco e Bahia (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo e dos dados geofísicos.



Legenda: Localização da área de estudo, destaque para a Bacia da Parnaíba e conjunto de dados utilizados. No presente trabalho foram utilizados dados de gravimetria, magnetometria, sísmica e poço (Datum WGS 84-23S).
Fonte: O autor, 2019.

As linhas de medição foram realizadas na direção leste-oeste com espaçamento de 6 Km e as linhas de controle possuem direção norte-sul com espaçamento de 24 Km. O espaçamento entre pontos de medição de gravimetria foi de 3,25 m (0,04s) e de magnetometria de 0,78 m (0,01s). O processamento dos dados gravimétricos e magnetométricos foi realizado pela empresa *AerogeoPhysica LatinoAmerica*. O processamento gravimétrico foi submetido a uma série de etapas realizadas nos programas *AGRA* e *Geosoft Oasis Montaj*, com a finalidade de corrigir qualquer variação gravitacional que não se relacione com diferenças de densidades entre rochas em subsuperfície. Os dados de gravimetria adquiridos foram submetidos a correções de latitude, correção de maré, redução *free-air* e redução *bouguer*. Também foram consideradas as correções das acelerações de gravidade executadas em movimento, como a correção das acelerações dinâmicas e a correção *Eötvös*, que se destina a anular o efeito da aceleração angular.

Nos dados magnéticos, o processamento removeu a variação magnética diurna, a remoção do Campo Geomagnético Internacional de Referência (IGFR) e realizou a compensação magnética.

1.2 Dados Sísmicos

Diversas linhas Post-*Stack* 2D oriundas do Banco de Dados de Exploração e Produção (BDEP) foram fornecidas pela Agência Nacional do Petróleo (ANP). Os dados foram coletados no ano de 2008 e o processamento foi realizado por intermédio do convênio *Flamoil/ANP*.

Para o presente trabalho, foram utilizados 10 linhas sísmicas, denominadas pelas inicias 0295-001 a 0295-009 e a linha 0240. Compreendem seções sísmicas de dois levantamentos sísmicos, sendo o levantamento 0295_ANP_2D_PARNAÍBA.0295.MIG_FIN referente as linhas sísmicas com iniciais 0295 e o levantamento 0240_Parnaíba_45.0240-0311.STK_FIN referente a linha sísmica 0240. Todas encontram-se em tempo duplo (*TWT*), com um total de aproximadamente 1500 Km lineares de extensão e com profundidade em tempo de até 7,5 s. Durante este trabalho foram utilizados dados de velocidade sísmica oriundas do processamento PSTM (*Post-Stack Time Migration*) associados a dados de poço, para a conversão da sísmica em tempo (segundos) para profundidade em metros. Esta transformação foi realizada para a construção da superfície do embasamento cristalino, das soleiras de diabásio e de demais horizontes em profundidade para, em seguida, utilizar como dado de entrada na construção do modelo gravimétrico direto 2D, por meio de ferramentas do *software OasisMontaj*.

1.3 Poço

Na área de estudo, considerou-se apenas um poço que faz contato com a extremidade da linha sísmica 0295-009. O perfil composto do poço, bem como o topo das formações, foi concedido pela ANP. Denominado poço exploratório 1FL-0001-PI, foi perfurado em 1968 pela empresa Petrobras e atingiu o embasamento numa profundidade de 2405 metros. O poço foi abandonado e classificado como "seco com indícios de gás". Observa-se no perfil composto leituras de raio gama, potencial espontâneo, resistividade e sônico. Os dados disponíveis do poço foram utilizados para auxiliar tanto na interpretação sísmica das principais formações e discordâncias, quanto na conversão de tempo para profundidade dos dados sísmicos, e também na construção do sismograma sintético. Os perfis e os topos das formações foram importantes ferramentas durante a interpretação sísmica e delimitação das formações.

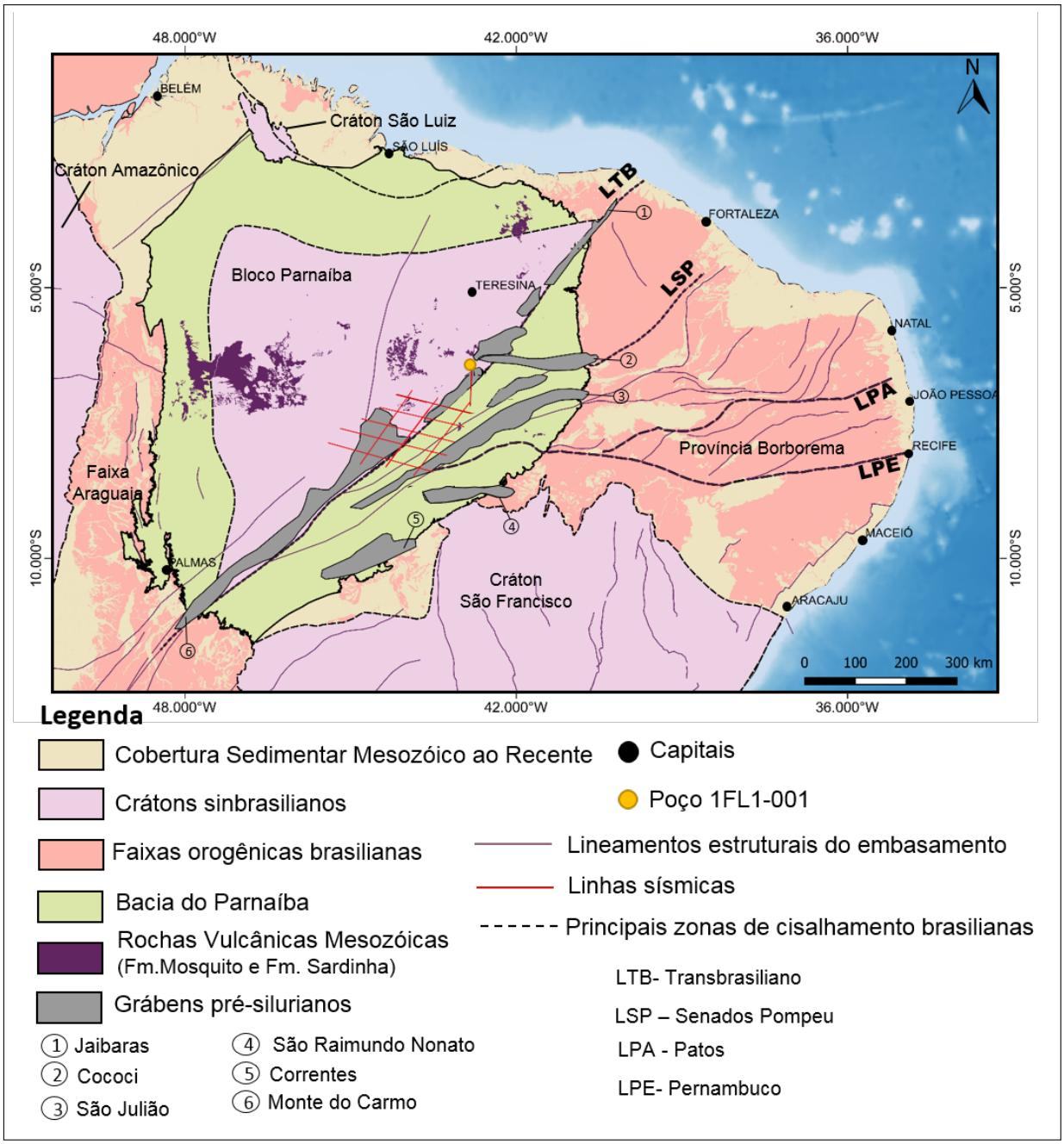
2 CONTEXTO GEOLÓGICO

2.1 Embasamento Pré-Cambriano

Uma seção sísmica de reflexão profunda que atravessou a bacia do Parnaíba na direção leste-oeste revelou uma discordância regional denominada discordância pré-siluriana (PSU), separando os sedimentos da seção pós-siluriana da bacia do Parnaíba de seu embasamento. O embasamento da bacia é compreendido por três diferentes blocos, de oeste para leste respectivamente: Bloco Amazonas/Araguaia, Bloco Parnaíba e Bloco Borborema (DALY *et al.*, 2014). Observa-se na Figura 2 o Bloco Parnaíba inserido na região central da bacia. A área de estudo deste trabalho se situa no limite entre o Bloco Parnaíba e o Bloco Borborema; uma extensa zona de falhas limita esses blocos, o Lineamento Transbrasiliano. Ao norte observa-se o Cráton São Luiz e a oeste a Faixa Araguaia, se estendendo ao longo do limite oriental do Cráton Amazônico. O contato na parte sul da bacia se dá por meio do Cráton São Francisco e a leste pelos terrenos da Província Borborema. Importantes zonas de cisalhamento Brasilianas se desenvolvem no segmento leste da bacia, com lineamentos de direções NE-SW e leste-oeste, como o Lineamento Transbrasiliano, Senador Pompeu, Patos e Pernambuco. Tais lineamentos serviram de base para a instalação de estruturas grabenformes de idade pré-siluriana, como os Grabens do Jaibaras, Cococi, São Julião, São Raimundo Nonato, Correntes e Monte do Carmo (Figura 2).

As principais zonas de fraqueza herdadas do embasamento foram importantes não só na formação da bacia como no desenvolvimento tectono-sedimentar até o eocarbonífero, refletindo na bacia grabens e meio-grabens que, segundo Oliveira e Mohriak (2003), controlaram o depocentro inicial da bacia, atuando como importantes eixos deposicionais, coincidente com Lineamento Transbrasiliano e o Lineamento Pico Santa Înes (Figura 2). Sequências sedimentares inseridas em grabens pré-silurianos ao longo do embasamento da bacia precedem os sedimentos da bacia cratônica do Parnaíba e afloram ao longo do Lineamento Transbrasiliano, como o Graben do Jaibaras a Norte, Cococi e São Julião a Leste (Figura 2).

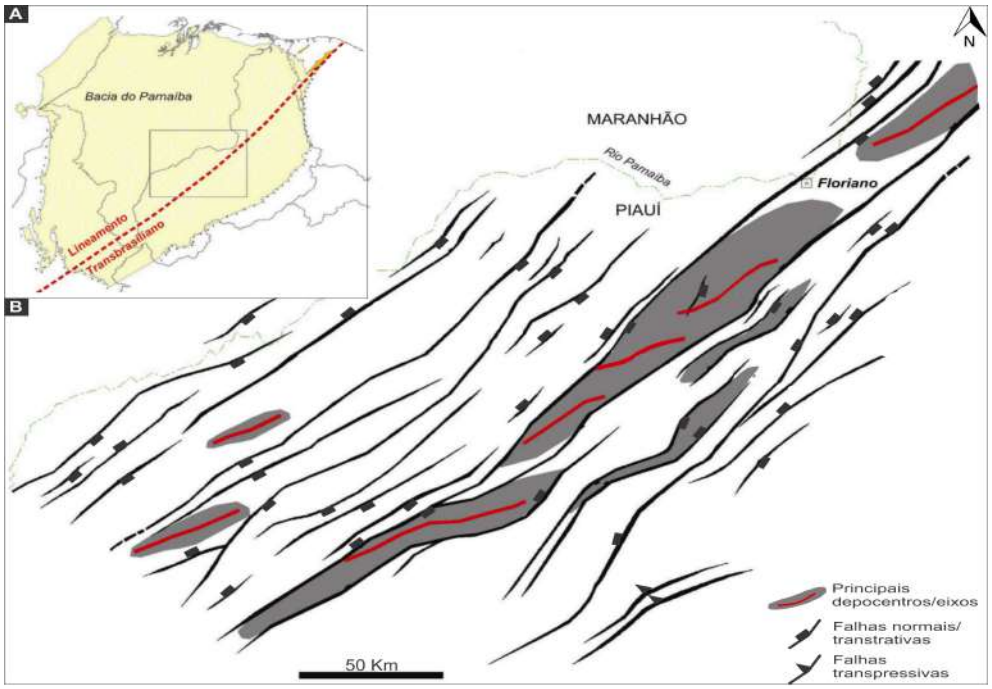
Figura 2 - Mapa geotectônico da Bacia do Parnaíba



Legenda: Mapa dos domínios tectônicos do embasamento da Bacia do Parnaíba e regiões adjacentes. Seu embasamento possui estruturas complexas, dividido em 3 blocos (TOZER; WATTS; DALY, 2017). Observa-se o Bloco do Parnaíba em sua parte central, bordejado por importantes crátons e faixas orogênicas. Estruturas grabenformes de idade pré-silurianas se situam ao longo dos principais lineamentos (OLIVEIRA; MOHRIAK, 2003). Os principais limites de blocos cratônicos e estruturas do embasamento foram adaptados de Cordani *et al.* (2016).

Fonte: O autor,2019.

Figura 3 - Mapa do arcabouço estrutural do embasamento cristalino da área de estudo.



Legenda: A) localização da área em estudo. B) Mapa do arcabouço estrutural frágil da bacia e principais falhas do LTB. O mapa mostra as principais calhas que são controladas pelas falhas que compõem o LTB. A deposição dos eixos dos depocentros sugere movimentação dextral durante a deposição da seção sedimentar basal, de idade cambriana.
Fonte: Modificado de NETO *et al.* 2013.

2.1.1 Lineamento Transbrasiliano

O Lineamento Transbrasiliano é uma importante descontinuidade continental de extensão superior a 3000 mil km, situada entre o cráton Amazonas e a porção leste da plataforma Sul Americana, prolongando-se para o continente Africano, com direção NE-SW, e é a mais notável estrutura inserida na Bacia do Parnaíba (Figura 2). Diferentes interpretações atribuem ao lineamento um caráter de megassutura associado à formação do paleocontinente *Gondwana*, no final do Proterozoico e início do Paleozoico. Outros autores atribuem o desenvolvimento das falhas transcorrentes dúcteis ao estágio pós-colisional da orogênese Brasiliana (FUCK *et al.*, 2011).

Num trabalho realizado por Neto *et al.* (2013), por meio de dados sísmicos, caracterizaram os grabens sotopostos aos estratos da bacia, configurando calhas sedimentares alongadas com direção NE-SW, controladas por feixes de falhas sub-verticais (Figura 3) ao longo da área de estudo do presente trabalho.

Os estratos sedimentares da seção paleozoica encontram-se extremamente deformados,

com estruturas em flor positiva, falhas reversas e dobras, caracterizando uma movimentação transpressiva ao longo da zona de cisalhamento. As soleiras de diabásio da Formação Mosquito intrudidas nos sedimentos Paleoziocos e envolvidas na deformação colocam a possibilidade de ter ocorrido reativação das falhas do LTB após 200 Ma. Segundo Cacama *et al.* (2015), o Lineamento Transbrasiliano sofreu processos de reativação diversas vezes (sin e pós Grupo Jaibaras) a partir do Paleozóico Inferior. Foram caracterizadas quatro fases deformacionais: a primeira fase ocorre exclusivamente no Graben do Jaibaras com desenvolvimento de estruturas de temperatura elevada e as demais fases ocorrem afetando tanto o Graben do Jaibaras como as sequências paleozóicas da bacia, com geração de estruturas de temperaturas mais baixas, basicamente rúpteis.

2.2 Bacias Pré-Silurianas ao longo do LTB

Estruturas grabenformes preenchidas por depósitos pré-silurianos encontram-se presentes ao longo dos principais lineamentos da bacia, alguns expostos, como o Graben do Jaibaras. Os primeiros mapas que traduzem o arcabouço estrutural da bacia foram construídos a partir da interpretação de dados aerogeofísicos, sísmicos e de poços (NUNES, 1993), e permitiram a delimitação de uma série de estruturas grabenformes no substrato da Bacia do Parnaíba (Figura 4).

Castro *et al.* (2014), utilizando dados potenciais ao longo da bacia (Figura 5), mostraram uma nova perspectiva do arcabouço estrutural, diferente do modelo proposto por Nunes (1993). Identificaram uma calha ao longo do Lineamento Transbrasiliano, correlacionada ao Graben do Jaibaras, além de extensa seção pré-siluriana ao longo da bacia. Muitas estruturas mapeadas como riftes Cambrianos e Proterozoicos foram interpretadas por esses autores com base nos baixos de anomalias gravimétricas (Figura 4). Recentes contribuições de Castro *et al.* (2016) por meio de mapas gravimétricos, magnéticos e diversas seções sísmicas, identificaram, no entanto, que não existe uma relação direta entre os baixos gravimétricos e os grabens delimitados por Castro *et al.* (2014), sugerindo então que tais anomalias tem como fonte unidades profundas no embasamento, caracterizando um embasamento heterogêneo composto por blocos metassedimentares ou blocos graníticos. Com base nesta conclusão, um novo mapa referente ao arcabouço estrutural foi elaborado (Figura 4 c), considerando uma extensa faixa ao longo do Lineamento Transbrasiliano de rifte Cambro-Ordoviciano.