

**INTERPRETAÇÃO INTEGRADA DE DADOS DE REFLEXÃO SÍSMICA E
SENSORIAMENTO REMOTO NA CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL DA BACIA DO
ACRE - BRASIL**

Niterói (RJ), 2018





**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO
MESTRADO ACADÊMICO EM
DINÂMICA DOS OCEANOS E DA TERRA**

**INTERPRETAÇÃO INTEGRADA DE DADOS DE REFLEXÃO SÍSMICA E
SENSORIAMENTO REMOTO NA CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL DA BACIA DO
ACRE - BRASIL**

por

Ezequiel de Magalhães Bastos

Dissertação apresentada como requisito
parcial à obtenção do grau de Mestre em
Dinâmica dos Oceanos e da Terra

Orientador: Cleverson Guizan Silva

Co-Orientador: Carlos Maurício Monnerat de
Oliveira

Niterói
2018

EZEQUIEL DE MAGALHÃES BASTOS

**INTERPRATAÇÃO INTEGRADA DE DADOS DE REFLEXÃO SÍSMICA E
SENSORIAMENTO REMOTO NA CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL DA
BACIA DO ACRE - BRASIL**

Dissertação de autoria de Ezequiel de Magalhães Bastos submetida ao Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra, da Universidade Federal Fluminense como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestre em Dinâmica dos Oceanos e da Terra, ênfase em Geologia Marinha e Geofísica.

Aprovado em: ___/___/2018

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr Cleverson Guizan Silva (Orientador)

Prof.Dr.

Dra. Talita Lammoglia (Avaliadora)

Prof. Dr.

Niterói RJ
2018

FICHA CATALOGRÁFICA

Bastos, Ezequiel de Magalhães.

Interpretação Integrada de Dados de Reflexão Sísmica e Sensoriamento Remoto na Caracterização Estrutural da Bacia do Acre - Brasil / Ezequiel de Magalhães e Bastos
92fl.

Dissertação (Mestrado em Dinâmica dos Oceanos e da Terra) – Universidade Federal Fluminense, 2018.

Orientador: Cleverson Guizan Silva

Co-orientador: : Carlos Maurício Monnerat de Oliveira

Este trabalho é dedicado especialmente a

Aos meus pais, que sempre me motivaram e apoiaram os meus estudos, mostrando o valor da educação e o significado do amor incondicional.

À minha esposa, Luciana, que acreditou e me apoiou durante a realização deste trabalho.

Agradecimentos

Os agradecimentos aqui prestados são, de qualquer modo, sempre incompletos, pois inúmeras são as pessoas com as quais lidamos, no decorrer deste percurso, e que serviram, e muito, para agregar conhecimentos que não se restringem ao acadêmico.

Inicialmente, agradeço a Deus por ter permitido chegar até este momento. À minha família, que sempre me motivou e apoiou os meus estudos, mostrando o valor da educação e o significado do amor incondicional.

À minha esposa, Luciana, que sempre me apoiou e ajudou nos momentos mais complicados e difíceis,acompanhando-me durante toda a realização deste trabalho. Ao nosso “filho” Filipo pela diversão diária.

Aos meus amigos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro: Joelcio Jr, Mario e Victor Gil. Aos amigos de turma de mestrado na UFF: Yael, Livia e Vinicius Jantorni que compartilharam essa fase intensa juntos no decorrer destes anos. Aos meus amigos: Fernando, Karyme, Mauro e Vinícius Barçal, com os quais tenho o privilégio de conviver.

Aos amigos da Petrobras com quem muito aprendi. Ao Dr. Carlos Maurício Monnerat de Oliveira que me ajudou imensamente no desenvolvimento deste estudo, sendo um exemplo de profissional. As Geólogas Cristiany Pereira e Dra.Talita Lammoglia pelo apoio e sugestões nodesenvolvimento desta dissertação.

À empresa Halliburton – Landmark Software & Services, por ter me dado a oportunidade de realizar este trabalho, utilizando sua estrutura.

À Agência Nacional Petróleo, pelo fornecimento dos dados para que este trabalho fosse realizado.

À todos da Universidade Federal Fluminense – Lagemar, coordenação, professores e funcionários pelo suporte durante os anos de estudo. Em especial ao meuorientador Dr.Cleverson Guizam.

SUMÁRIO

Agradecimentos	iv
Lista de Figuras	vi
Resumo	x
Abstract	xi
1. Introdução	1
1.1. Localização	2
1.2. Histórico de Exploração	3
1.3. Objetivo	6
1.4. Justificativa	7
1.5. Metodologia de Trabalho	7
2. Geologia Regional	18
2.1. Bacia do Acre	29
2.1.2. Estratigrafia	30
2.2. Evolução Tectono-Sedimentar	34
3. Resultados	38
3.1. Interpretação Estrutural e Estratigráfica	38
3.2. Estratigrafia	38
3.2.1. Interpretação Estratigráfica	39
3.3. Interpretação Estrutural	43
4. Análise Estrutural por Sensoriamento Remoto	57
4.1. Metodologia no uso das imagens SRTM	61
4.2. Análise morfométrica	65
4.3. Análise da rede de drenagem e relevo na Bacia do Acre	68
4.4. Análise estrutural com base no dado de elevação digital de terreno	75
4.5. Comparação Sísmica X Sensoriamento Remoto	77
5. Discussão	81
6. Conclusão	85
7. Referências Bibliográficas	88

Lista de Figuras

Figura 1: Localização da Bacia do Acre (VASCONCELLOS E COUTINHO, 2013).	3
Figura 2: Poços perfurados na Bacia do Acre (Duarte, 2011).....	4
Figura 3: Histórico de Exploração na Bacia do Acre (VASCONCELLOS E COUTINHO, 2013).....	5
Figura 4: Mapa da localização da Bacia do ACRE e das linhas sísmicas e poços utilizados neste trabalho. 1 – Juruá-Mirim. 2- Rio do Moura. 3- Cruzeiro do Sul. Sistema de coordenada UTM_SIRGAS 2000 – Zona 18S.	8
Figura 5: Linhas Sísmicas (tempo sísmico) antes da correção do deslocamento vertical.	10
Figura 6: Linhas Sísmicas (tempo sísmico) após a correção do deslocamento vertical.	10
Figura 7: Espectro de Frequência da linha 0031-180A da Bacia do Acre. Frequência dominante entre 10 -30 Hz. Eixo x: Frequência (Hz) e Eixo y: Amplitude (dB).....	12
Figura 8: Filtragem na faixa 15 -30 Hz. Linha filtrada a esquerda e original a direita.	12
Figura 9: Atributo Estrutural de Descontinuidade. Linha 031-0180A. As cores pretas indicam áreas de maior descontinuidade nos refletores sísmicos, indicando regiões de possíveis falhamentos. As setas indicam as falhas de Oeste Batã e Batã da esquerda para direita. Exagero vertical de 3.	13
Figura 10: Atributo Estrutural de Descontinuidade. Linha 0040-0016. As cores pretas indicam áreas de maior descontinuidade nos refletores sísmicos, indicando regiões de possíveis falhamentos. A seta indica as falhas de Batã.....	13
Figura 11: Poço 1-RM-AC (Rio do Moura) plotado na sísmica em tempo. Linha 0040-0051	14
Figura 12: Modelo de velocidade para a Bacia do Acre. Foram construídas três camadas de velocidades, 1, 2 e 3.	15
Figura 13: Resolução Sísmica do dado. Foram utilizadas três regiões destacadas no dado sísmico. Linha 0031-180A (mapa na figura 8). No gráfico a direita é exibida a frequência em cada intervalo.....	16
Figura 14: Horizonte regional interpretado nas bacias vizinhas ao Acre (modificado de ZELASCO, 2010). As setas indicam as falhas presentes na Bacia do Acre Oeste Batã e Batã.	19
Figura 15: Comparação de cartas estratigráficas das Bacias Ucayali e Acre (CAPUTO, 2014).	21
Figura 16: Campos de hidrocarbonetos em bacias Peruanas (VASCONCELLOS E COUTINHO, 2013) ...	22
Figura 17: Linha sísmica interpretada da Bacia do Acre. Semelhanças estruturais e sedimentares com bacias Peruanas. Em preto destaca-se a Falha Oeste de Batã, que controla a Serra do Divisor, e, em verde, a Falha de Batã.	23

Figura 18: Seção sísmica mostrando a Bacia de Ucayali e a Bacia do Acre. Para localização, linha E-E` no mapa da figura 13. (Zelasco, 2010)	23
Figura 19: Seção interpretada, linha B-B`no mapa da figura 13 (Zelasco,2010).	24
Figura 20: Mapa da Fm. Chonta (esquerda) e linhas sísmicas da Bacia do Acre utilizadas no presente trabalho (direita). Destaque para as linhas sísmicas em azul A (Bacia Ucayali) e B (Bacia do Acre). As seções sísmicas correspondentes a essas linhas encontra-se na Figura 20.....	25
Figura 21: Seções sísmicas A e B (Bacia Ucayali e Acre respectivamente). Observa-se a continuação das estruturas e refletores. Ver Figura 20 para localização das seções	25
Figura 22: Seção Sísmica na bacia do Solimões (BARATA <i>et al.</i> , 2007)	27
Figura 23: Mapa estrutural da região Amazônica, focando na Bacia do Solimões, (Caputo, 2014). Observa-se a Bacia do Acre no limite oeste da Bacia do Solimões. Observar, também, o Megacisalhamento do Solimões, de direção N78E, que afeta o Sul da Bacia do Solimões, bem como a Bacia do Acre.	28
Figura 24: Seção interpretada indicando falhas reversas de alto ângulo e de direção N-S. Exagero vertical de 4.	30
Figura 25: Coluna estratigráfica da Bacia do Acre (CUNHA, 2007).	32
Figura 26: Discordância Pré- Cretácea (linha amarela). Linha 0040-0047.	35
Figura 27: Cenário geotectônico sugerido para o Neo-Jurássico (cerca 140Ma) (ZALAN, 2004).	36
Figura 28: Desenho esquemático de seção geológica na bacia do Acre, ZALAN (2004)	37
Figura 29: Ilustração exibindo terminações sismo-estratigráficos (RIBEIRO,2001).....	39
Figura 30: Seção sísmica mostrando as principais unidades e estruturas.	40
Figura 31: Unidade sobreposta ao embasamento sofrendo <i>pinch-out</i> . Linha 0054-038. A seta indica o embasamento.	41
Figura 32: Superfície de Discordância Pré-Cretáceo (horizonte amarelo). Linha 0031-178.	42
Figura 33: Destaque para refletores Cretáceos plano-paralelos e refletores basculados das formações sotopostas sendo truncados pela discordância angular.	42
Figura 34: Falhas e Horizontes interpretados.....	44
Figura 35: Atributo de Descontinuidade Estrutural aplicado no dado sísmico da Bacia do Acre. Linha 0040-046. As áreas pretas indicam maior descontinuidade. Em amarelo destaca-se a falha de Batã.	46
Figura 36: Mapa estrutural em profundidade (metros) do embasamento da Bacia do Acre. As áreas 1 e 2 são discutidas no texto.	48

Figura 37: Espaçamento entre as linhas sísmicas - impacto no grid.....	47
Figura 38: Mapa da Superfície Discordância Pré-Cretácea em profundidade. As linhas preta e amarela referem-se em planta às falhas Oeste Batã e Batã.	50
Figura 39: Mapa de isópacas do Cretáceo na Bacia do Acre. Média de espessura de 645 metros.	51
Figura 40: Topo do Cretáceo em profundidade na Bacia do Acre. As linhas preta e vermelha referem-se em planta às falhas Oeste Batã e Batã.	52
Figura 41: Rastreamento da camada de sal. Linhas 0040-051 e 0031-183.	54
Figura 42: Movimentação do sal. Linha e 0031-183.	54
Figura 43: Linha Sísmica mostrando intrusão Ígnea. A esquerda linha não interpretada e a direita com a intrusão e principais horizontes interpretados. Figura 44: Mapa de Localização da linha da Figura 40.	56
Figura 45: Mapa de Localização da linha sísmica 0040-49.	56
Figura 46: Catálogos de terremotos: IAG-USP (entre 1724 a 1995, magnitudes > 2.5). Destaque para a região do Acre (Centro de Sismologia da USP, 2017).	59
Figura 47: Poços do campo de Azulão sobrepostos na anomalia de drenagem (ALMEIDA FILHO et al., 2010).	61
Figura 48: Mosaico das imagens SRTM para a área de Estudo. A linha preta representa o contorno da Bacia do Acre segundo definido pela ANP. A legenda indica a elevação do terreno. Sistema de coordenada UTM_SIRGAS 2000 – Zona 18S.	63
Figura 49: Correção do dado, preenchimento dos "sinks" (SOBRINHO ALVES et al., 2010).	63
Figura 50: Histograma do mosaico SRTM da área estudada.	64
Figura 51: Perfil de Elevação no dado SRTM. A região 1 indica elevações em território Peruano. Em 2 a Serra do Divisor (Bacia do Acre) e em 3 a região da falha de Batã. Sistema de coordenada UTM_SIRGAS 2000 – Zona 18S.	64
Figura 52: Mapa Geológico para o Estado do Acre. Imagem recortada na região da Bacia do Acre. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2018).	67
Figura 53: Principais rios da região centro-noroeste do Estado do Acre. Sistema de coordenada UTM_SIRGAS 2000 – Zona 18S.	68
Figura 54: Drenagens Interpretadas no dado SRTM. Sistema de coordenada UTM_SIRGAS 2000 – Zona 18S.	69
Figura 55: Exemplos de capturas de drenagens com ângulos de aproximadamente 90 graus. Sistema de coordenada UTM_SIRGAS 2000 – Zona 18S.	70
Figura 56: Padrões de Drenagem (ARCANJO,2011)	71

Figura 57: Padrão Radial. Sistema de coordenada UTM_SIRGAS 2000 – Zona 18S.	71
Figura 58: Padrão Dentrítico e Treliça. Sistema de coordenada UTM_SIRGAS 2000 – Zona 18S. ...	72
Figura 59: Alto grau de sinuosidade dos canais na Bacia do Acre. Cursos fluviais meandrantés. Sistema de coordenada UTM_SIRGAS 2000 – Zona 18S.	72
Figura 60: Atributo de Rugosidade para a Bacia do Acre. Sistema de coordenada UTM_SIRGAS 2000 – Zona 18S.	74
Figura 61: Mapa de relevo da Bacia do Acre. Áreas 1, 2 e 3 indicando diferentes zonas de altitude da bacia. Sistema de coordenada UTM_SIRGAS 2000 – Zona 18S.	74
Figura 62: Lineamentos na Bacia do Acre. Sistema de coordenada UTM_SIRGAS 2000 – Zona 18S. ...	76
Figura 63: Diagrama de Roseta dos lineamentos da bacia do Acre, Destaque para direção média (rosa) dos lineamentos da região SW-SE.....	76
Figura 64: Inflexões de drenagens para Leste. Destaque para cotovelos de drenagem. Sistema de coordenada UTM_SIRGAS 2000 – Zona 18S.	77
Figura 65: Falhas interpretadas com base no dado SRTM. Sistema de coordenada UTM_SIRGAS 2000 – Zona 18S.....	79
Figura 66: Interpretação de Falhas no SRTM. A esquerda o dado com interpretação e a direita somente o SRTM. Linha marrom indica a Falha Oeste de Batã e a linha amarela a Falha de Batã. Sistema de coordenada UTM_SIRGAS 2000 – Zona 18S.	79
Figura 67: Sobreposição no dado SRTM das falhas Batã, Oeste Batã e do mapa do topo do Cretáceo interpretados no dado sísmico. Sistema de coordenada UTM_SIRGAS 2000 – Zona 18S.	80

Resumo

A Bacia do Acre, localizada no **noroeste** do território brasileiro, possui evolução tectônica **distinta** em comparação com as demais bacias sedimentares nacionais. Sua relação com a tectônica Andina é direta, fazendo parte das chamadas bacias sub-andinas. Estruturalmente, esse grupo de bacias possui uma evolução tectono-sedimentar similar. A interpretação estrutural nesta Bacia é complexa, já que ocorreram diferentes pulsos tectônicos, causando inclusive a inversão da bacia. Foi realizada a interpretação integrando dados sísmicos de reflexão aos modelos digitais de elevação de terreno. Imagens adquiridas pela missão *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) foram utilizadas na identificação de lineamentos e feições morfológicas que, somadas às interpretações no dado sísmico, ajudam no entendimento do comportamento estrutural da Bacia do Acre. Os resultados indicam que estruturas em subsuperfície apresentam reflexo no relevo da região, principalmente falhas reversas de expressivo rejeito. A interpretação do arranjo da rede de drenagem indica falhamentos direcionais, devido a mudanças bruscas de direção, com ângulos de praticamente 90 graus.

Palavras-chave: Bacia do Acre, interpretação sísmica, dados SRTM.

Abstract

The Acre Basin, located in the west part of the Brazilian territory, has a unique tectonic evolution when compared to other Brazilian sedimentary basins. Due to its relation to the Andean tectonism, it is part of the so-called sub-andean basins. In a structural way, this group of basins has a similar tectono-sedimentary evolution. The structural interpretation in this basin is complex, since different tectonic pulses occurred, even causing the basin inversion. The interpretation was accomplished by gathering the seismic reflection data to the digital terrain elevation models. Images obtained through the Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) were used in the lineament identification and morphological features that combined to the seismic data interpretation contribute to understand the structural behavior of the Acre Basin. The results indicate that subsurface structures reflect in the region's relief, mainly where reverse faults with big throws occur. The drainage network indicates directional faulting, due to the abrupt direction changes with angles of about 90 degrees.

Keywords: Acre basin, seismic interpretation, SRTM data.

1. Introdução

A Bacia do Acre, localizada no **noroeste** do território brasileiro, possui evolução tectônica **distinta** em comparação com as demais bacias sedimentares nacionais. Sua relação com a tectônica Andina é direta, fazendo parte das chamadas bacias sub-andinas, sendo a mais oriental deste grupo, na região amazônica. Sofreu sucessivas deformações de diferentes origens: compressivas, distensivas e transcorrentes, gerando estruturas complexas que muitas vezes são difíceis de identificar em linhas sísmicas e afloramentos. Assim sendo, a utilização de dados de maior cobertura regional se faz necessária para identificar registros, em superfície, de tal história evolutiva.

Dentre outros métodos, a utilização de imagens de satélite vem ao encontro desta necessidade. Porém, a densa cobertura vegetal da região e a presença de nuvens nas imagens dificultam as interpretações geológicas de imagens ópticas. Com o advento das imagens de elevação digital de terreno, foi possível mitigar este problema, já que o que se busca são as diferenças de topografia na área estudada, lineamentos que possam indicar falhamentos de diferentes naturezas. Estes lineamentos, interpretados com base no modelo digital de elevação, no qual são extraídas as drenagens presentes na bacia, relação de altos e baixos estruturais e a presença de anomalias de drenagens. A integração de diferentes dados, em bacias de nova fronteira, é essencial, devido à escassez de material disponível e à dificuldade de acesso, entre outros. Os modelos de elevação digital do terreno foram gerados por radar interferométrico da SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*). A possibilidade de extração automática da rede de drenagem, a partir do modelo digital de elevação, abriu novas possibilidades para o emprego dessa abordagem no estudo de áreas de fronteira exploratória (IBANEZ, 2007).

Com base no modelo SRTM, podem ser interpretadas e extraídas importantes informações com base na análise da rede de drenagem e na topografia. Combinar essas interpretações com os dados de geologia e geofísica, como sísmica, magnetometria e mapeamentos de campo, corrobora ao entendimento da evolução tectono-estrutural de uma bacia sedimentar.

A integração da interpretação dos dados sísmicos junto com as interpretações no modelo de superfície é uma boa opção para entender e confirmar se estruturas mais profundas possuem reflexos em superfície. A partir do modelo tectono-sedimentar para a área é possível prever padrões estruturais para as demais regiões da bacia.

A Bacia do Acre se tornou alvo de estudos pela busca de hidrocarbonetos no início do século XX, passando por diferentes **ciclos** de exploração ao longo deste período. O fato das bacias vizinhas (Peruanas), bem como a Bacia do Solimões, possuírem grandes campos produtores de petróleo e gás motivou a exploração de hidrocarboneto na Bacia do Acre. Porém, dúvidas como a presença de reservatórios e de geração de hidrocarbonetos em quantidade comerciais ainda persistem na Bacia do Acre. Esta questão corrobora o fato de que é preciso unir diferentes fontes de dados para auxiliar o reconhecimento de importantes estruturas e outros elementos do sistema petrolífero na Bacia do Acre.

1.1. Localização

A Bacia do Acre (Figura 1), localizada no noroeste brasileiro, fronteira com o Peru e envolvendo parte dos estados do Acre e do Amazonas, possui área de aproximadamente 40,000 km² e corresponde a uma depressão alongada de direção N-S (CAPUTO, 2014). Dentro do contexto geotectônico da América do Sul, encontra-se no limite entre dois grandes *trends* de bacias fanerozóicas: um representado pelas bacias subandinas, com direção geral norte-sul e outro representado pela Sinéclise Amazônica, compreendendo as bacias do Solimões e Amazonas com direção leste-oeste (OLIVEIRA, 1994).

Seus limites estruturais são o Arco de Iquitos à leste, de idade jurássica, separando-a da Bacia do Solimões. Ao norte/noroeste/sul/sudeste, bordejando as Bacias do Acre e de Madre de Deus, situam-se as bacias Peruanas, sendo elas: Madre de Dios, Ucayali e Marañon. A Bacia do Acre é considerada uma continuação destas bacias em território brasileiro. Todas de domínio sub-andino de antepaís, e com ocorrências comerciais de hidrocarbonetos, descoberta que, até o momento, ainda não ocorreu na Bacia do Acre. O limite entre a Bacia de Ucayali com a Bacia

do Acre se dá pelo Alto do Divisor (Serra do Divisor- Brasil). À noroeste, a Bacia do Acre apresenta, aparentemente, continuidade na Bacia do Marañon(CUNHA, 2007). Sendo a bacia sedimentar brasileira que mais sofreu influência da tectônica Andina, a Bacia do Acre apresenta estruturas e uma evolução distinta das demais bacias nacionais. Segundo Oliveira (1994), esta bacia apresenta evolução tectônica complexa, multicíclica, no qual ora houve momentos de esforços compressivos e ora distensivos.

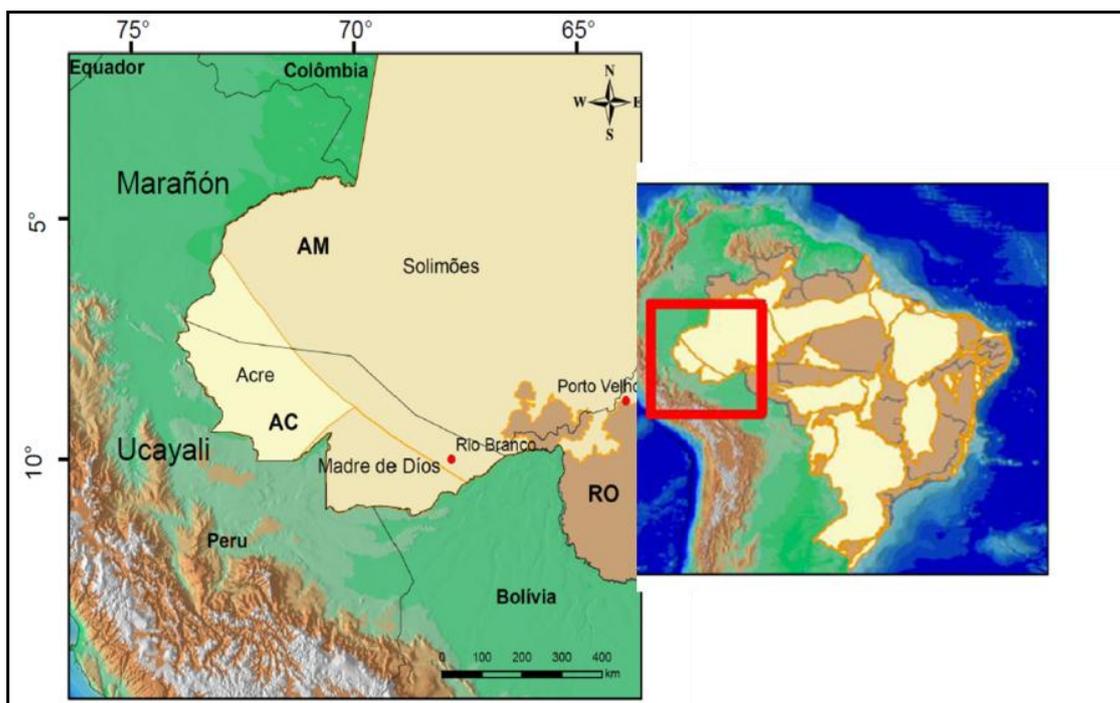


Figura 1: Localização da Bacia do Acre (VASCONCELLOS E COUTINHO, 2013).

1.2. Histórico de Exploração

Os estudos geológicos na Bacia do Acre iniciaram nas primeiras décadas do século XX, principalmente pela busca por hidrocarbonetos na região. Para isso, foram realizados diversos trabalhos de campo, com objetivo de levantar as primeiras informações sobre estratigrafia e regime estrutural da área. Posteriormente, na década de 50, as descobertas de grandes reservas nas bacias Peruanas, motivaram a recém-criada Petrobras a retomar os estudos na Bacia do Acre, com foco em rochas Paleozóicas (VASCONCELLOS E COUTINHO, 2013). Poços foram perfurados, alcançando seções de intercalações de areia e argila, sendo

classificados como secos. Na Figura 2, observam-se os nomes e as datas dos poços perfurados ao longo dos anos nesta bacia.

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) dividiu o histórico de exploração desta Bacia em cinco fases ao longo dos anos, iniciando, como dito acima, na primeira metade do século XX (Figura 3). Na primeira fase de exploração, entre 1935 e 1944, chamada de reconhecimento geológico da área, foram feitos trabalhos de campo com esse propósito. A fase 2, entre 1958 e 1964, foi impulsionada por descobertas em bacias Peruanas, e por isso, 4 poços estratigráficos foram perfurados, além do uso de gravimetria e imagens aéreas. Na fase 3, entre 1971 e 1975, a Petrobras perfurou 4 poços pioneiros, objetivando à seção Cretácea da Bacia e adquiriu dados sísmicos 2D. No ano de 1984, foi descoberto o campo de Camisea, no Peru. Isso impulsionou o início da fase 4, entre 1981 e 1997, na qual mais 4 poços foram perfurados e somente um **apresentou** indício de hidrocarbonetos.

Com a quebra do monopólio no setor de Óleo e Gás, a fase 5 foi iniciada no ano de 1997, sendo o Bloco BAC-1 concedido à Petrobras. Mais recentemente, a ANP realizou novos estudos na Bacia, adquirindo dados como magnetometria e gravimetria. No total foram perfurados 11 poços ao total na Bacia, porém a maioria não encontrou indícios de hidrocarbonetos (DUARTE,2011).

Poço	Início da Perfuração	Data de Conclusão	Profundidade Medida	Classificação
2INST0001 AM	19/11/1959	24/12/1959	2203,7	Seco
2CDST0001 AC	17/3/1961	12/7/1961	2653,7	Seco
2JMST0001 AC	16/3/1962	1/1/1963	2864,5	Seco
2REST0001 AC	24/4/1964	16/5/1964	769,8	Seco
1JQ 0001 AM	28/5/1974	6/8/1974	3169	Seco
1BT 0001 AM	20/11/1974	24/2/1975	3749	Seco
1BT 0002 AM	3/5/1975	20/6/1975	2790	Seco
1RZ 0001 AC	12/10/1975	28/11/1975	2926	Seco
1RM 0001 AC	3/7/1982	1/2/1983	4258,5	Seco com indício de HC
1SD 0001 AC	10/3/1983	28/5/1983	3119	Seco
1RPX 0001 AM	30/8/1995	22/2/1996	5049	Seco

Figura 2: Poços perfurados na Bacia do Acre (Duarte, 2011).

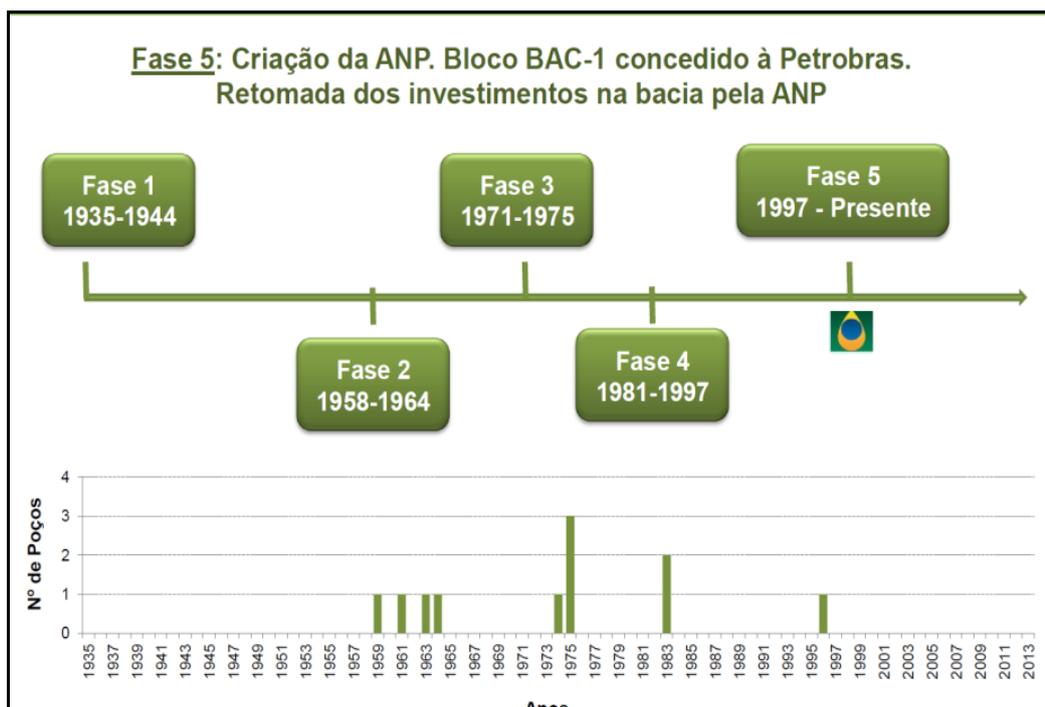


Figura 3: Histórico de Exploração na Bacia do Acre (VASCONCELLOS E COUTINHO, 2013).

Nos poços considerados mais promissores, foi feito um estudo quanto à maturação da matéria orgânica. O estudo geoquímico, realizado nos poços 1-RM-1-AC e 1-SD-1-AC, mostra que o primeiro está em fase inicial de maturação da matéria orgânica; já no segundo a mesma se apresenta imatura. Apenas os folhelhos da formação Cruzeiro do Sul, de idade paleozóica, apresentam algum potencial para geração de óleo e em profundidades maiores que 3.200 metros.

Com a evolução das fases descritas acima, o conhecimento geológico da área avançava na mesma medida em que os investimentos e a aquisição de novos dados eram realizados. Na década de 50, o autor Leite (1958); in OLIVEIRA, 1994) desenvolveu a primeira teoria de evolução tectônica da Bacia, segundo a qual os primeiros movimentos tectônicos na área estariam relacionados a orogênia (revolução) Herciniana, que afetou as rochas do Pré-Cambriano e do Paleozóico Inferior, causando dobramentos e metamorfismo. A sedimentação cretácea, na área mapeada, compreenderia a borda leste de um mar, rico em depósitos arenosos e pobre em folhelhos. Sobre este mar cretáceo se estabeleceria uma sedimentação de origem continental, resultante do início da Orogênia Andina, responsável pelas grandes estruturas mapeadas.

Na década de 70, houve um grande impulso de projetos envolvendo a bacia do Acre e as áreas no entorno, destacando-se: mapeamento do CPRM, projeto RADAM e estudos da Petrobras, na busca por reservas econômicas de hidrocarbonetos. Neste período, foram adquiridas linhas sísmicas 2D, gravimetria e magnetometria. Estes novos dados proporcionaram um entendimento mais profundo da Bacia, já que foi possível interpretar as estruturas em subsuperfície.

A Bacia do Acre é considerada uma nova fronteira exploratória pela ANP, com blocos oferecidos para concessão nas últimas rodadas de licitações. Um dos problemas encontrados, devido ao fato de ser uma nova fronteira exploratória, é a falta de infraestrutura e um mercado consumidor atrativo. Outro agravante para a exploração no local é a limitação de áreas indígenas e de reservas ambientais, na qual não é permitido implantar toda estrutura para perfuração e escoamento da produção.

1.3. Objetivo

O objetivo principal deste trabalho é o estudo estrutural da Bacia do Acre, integrando dados sísmicos de reflexão e de sensoriamento remoto. **O estudo estrutural pode auxiliar na interpretação regional da bacia e também na exploração de hidrocarbonetos.** Não é uma tarefa fácil realizar análises em bacias com poucos dados disponíveis, por isso, é importante a integração de diferentes fontes de dados.

Para isso, é preciso passar por algumas etapas, envolvidas no fluxo de trabalho de geofísica, desde o carregamento dos dados à sua interpretação estrutural, bem como a seleção e carregamento dos dados de sensoriamento remoto. As etapas envolveram:

- Interpretação estrutural com base nas linhas sísmicas em tempo, falhas, horizontes, corpos de rochas ígneas, etc;
- Construção do modelo de velocidade da área com objetivo de gerar mapas e definir estruturas em profundidade;

- Seleção e organização da base de dados de Sensoriamento Remoto;
- Interpretação das imagens de satélite: rede de drenagem e lineamentos;
- Integração dos dados: geofísicos (sísmica) e sensoriamento remoto.

1.4. Justificativa

A descoberta de uma jazida de hidrocarbonetos, assim como a de outros bens minerais, compreende uma atividade de risco elevado devido ao número de fatores associados, que contribuem para elevação do grau de incerteza (LIMA, 2004). Em bacias de nova fronteira, o risco é ainda maior, já que os dados disponíveis são limitados. Para isso, a integração de diferentes tipos de dados é essencial para o entendimento regional das estruturas presentes e para diminuir as incertezas inerentes à própria exploração. No caso da Bacia do Acre, linhas sísmicas 2D, limitadas em área são o principal dado utilizado na geofísica de exploração, dificultando, por exemplo, a interpretação de estruturas transcorrentes. Para isso, com objetivo de mitigar custos e riscos exploratórios, é preciso utilizar diversos tipos de dados e integrá-los de maneira a melhorar o entendimento das características geológicas da bacia.

1.5. Metodologia de Trabalho

Com o objetivo traçado, foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre a Bacia do Acre e suas principais características, como, tectônica compressiva, inversão de bacias, etc. Apesar de o histórico de exploração na bacia ser antigo, iniciado nas primeiras décadas do século XX, não existe uma vasta bibliografia sobre a região, provavelmente pelo fato de ainda não terem sido encontradas reservas comerciais. Por outro lado, muitos estudos foram realizados, principalmente nas Bacias do Solimões e Amazonas, regiões que não só abrigam reservas de petróleo, como também outros recursos minerais.

Após essa etapa, deu-se início à integração dos dados sísmicos com as imagens de satélite. Para isso, foi realizado o carregamento dos dados, o controle de qualidade, a interpretação sísmica e a interpretação das imagens de satélite. A ANP disponibilizou para este trabalho 34 linhas sísmicas 2D, no domínio de tempo sísmico de trânsito, e 3 poços (Figura 4). Os poços estão indicados pelos números 1, 2 e 3, sendo respectivamente: 1 – Juruá-Mirim, 2- Rio do Moura, 3- Cruzeiro do Sul. Os perfis destes poços não estavam em um formato utilizável para serem carregados no ambiente de interpretação. Sendo assim, estes foram digitalizados com objetivo de transformar esses dados no formato de perfis de poços (formato "las").

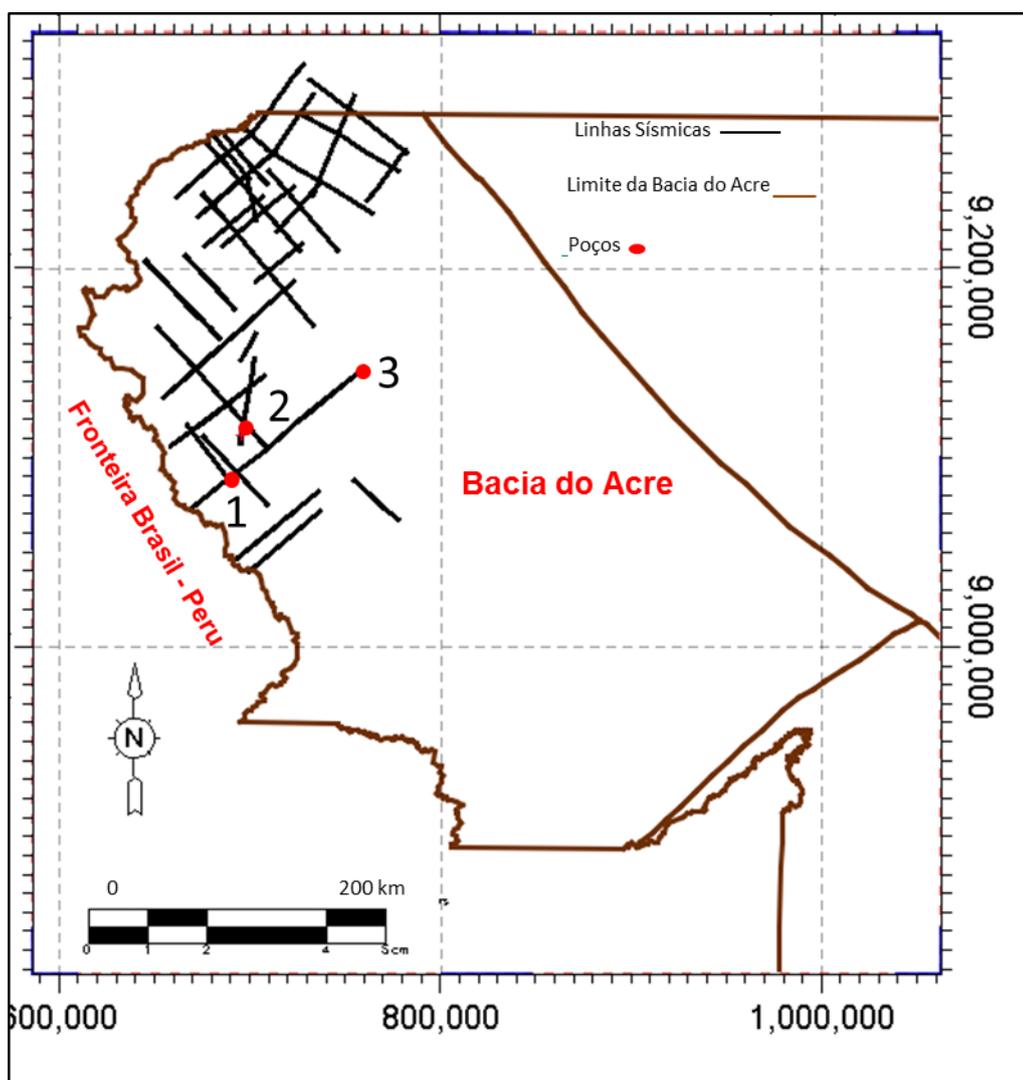


Figura 4: Mapa da localização da Bacia do ACRE e das linhas sísmicas e poços utilizados neste trabalho. 1 – Juruá-Mirim. 2- Rio do Moura. 3- Cruzeiro do Sul. Sistema de coordenada UTM_SIRGAS 2000 – Zona 18S.

Inicialmente, os dados sísmicos e os poços foram carregados em um software comercial de interpretação (DecisionSpace Geosciences). Nesta etapa, foi preciso reunir informações cartográficas sobre a Bacia em questão, para concretizar o correto carregamento dos dados. Esta etapa é crítica, pois erros quanto ao posicionamento geográfico, causariam sérios problemas nas correlações das estruturas de subsuperfície com as estruturas aflorantes e/ou os poços.

Observou-se que as linhas sísmicas apresentavam deslocamento vertical, umas em relação às outras (Figura 5), o que impossibilita uma interpretação regional, o rastreamento dos horizontes, sendo preciso, assim, a realização de uma correção entre as mesmas. A estratégia foi interpretar um refletor bem “marcado” na sísmica, para que não houvesse dúvida da localização do mesmo, e com isso, este horizonte foi utilizado como base para a correção. Este tipo de problema é muito comum quando se trabalha com linhas 2D. O objetivo desta correção é dar continuidade nos refletores em todas as linhas sísmicas. Esta etapa demanda muito cuidado, pois pode facilmente gerar anomalias, como falsos altos ou baixos estruturais. Na Figura 5 é apresentado um exemplo de duas linhas que possuem esse deslocamento. Na Figura 6, pode-se averiguar o resultado após a correção do deslocamento vertical. A estratégia é realizar as correções em todas as interseções (nós) das linhas para ter certeza de que estão alinhadas e com continuidade nos refletores.

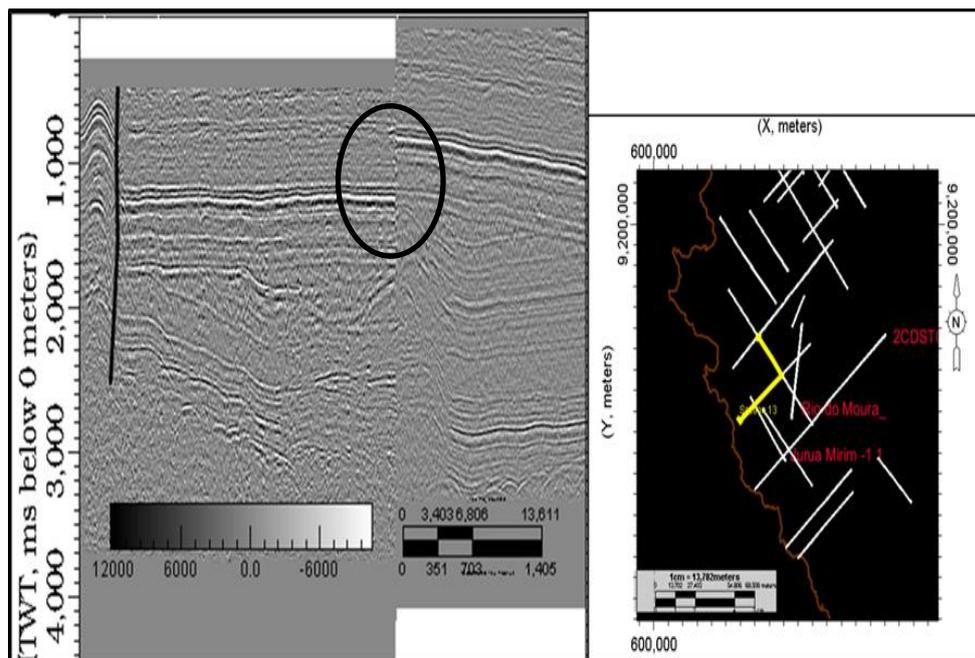


Figura 5: Linhas Sísmicas (tempo sísmico) antes da correção do deslocamento vertical.

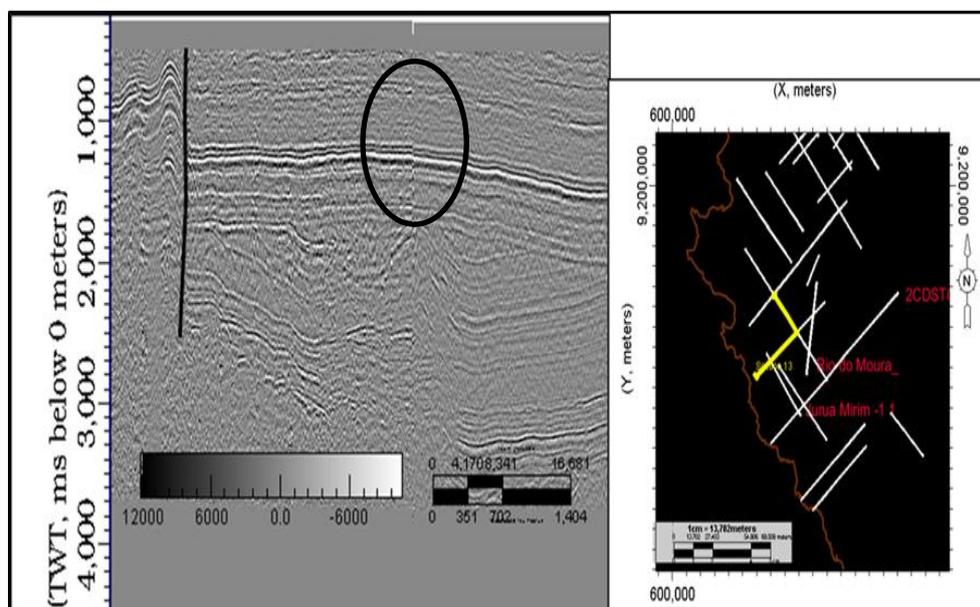


Figura 6: Linhas Sísmicas (tempo sísmico) após a correção do deslocamento vertical.

A sísmica terrestre apresenta qualidade inferior em comparação aos dados marítimos, devido à própria metodologia de aquisição, limitações e adversidades que cada ambiente apresenta. Contudo, o dado apresenta boa qualidade em comparação com sísmicas terrestres de outras bacias sedimentares. Mesmo assim, com objetivo de melhorar a qualidade, a visualização de estruturas e diminuir incertezas na interpretação, foram feitos testes com filtros visando a

remoção de ruídos e o aumento na relação sinal/ruído. Existem diversos tipos de filtros disponíveis, dependendo do objetivo a ser alcançado. Dentre os testados, foi escolhido o filtro passa banda (*BandPass*). Este tipo filtro remove as frequências indesejadas e reduz ruídos, tendo como resultado a passagem das frequências dentro da banda escolhida. Um dado dominado por altas frequências costuma dificultar a interpretação dos refletores sísmicos. Para conhecer a faixa de frequência dominante do dado, foi extraído histograma de espectro de frequência em uma linha padrão em *TWT* (tempo duplo de reflexão). O mesmo procedimento foi executado em mais linhas para obter a média da região (Figura 7).

Analisando o histograma da Figura 7, chega-se a conclusão que a frequência dominante do dado é uma faixa entre 10 à 30 *hertz*. No intuito de encontrar a melhor faixa de corte da frequência para que se retirem os ruídos do dado sem prejudicar as estruturas, foram realizados testes com base nesta faixa, a fim de se descobrir qual seria a melhor opção de filtragem. Foi escolhida a faixa de corte 15–30 *hertz* (Figura 8) para aplicar no dado, levando este valor como uma média. Pode-se observar o corte de ruído no dado sísmico. Assim, todo o dado foi submetido a esse filtro. Pesou-se, nessa escolha, a manutenção das principais estruturas e a continuidade dos refletores sísmicos. Como mencionado, a presença de ruídos pode levar o intérprete ao erro, gerando ou mascarando estruturas e afetando a continuidade dos refletores. Tendo o dado sísmico filtrado, foi possível passar para a próxima etapa, que consiste na extração de atributos sísmicos.

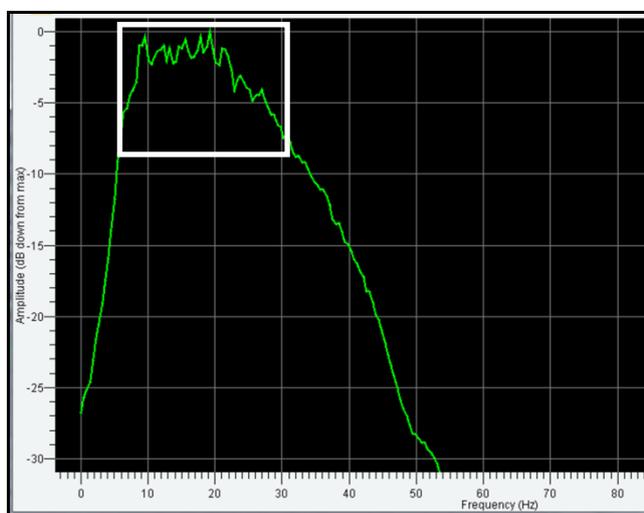


Figura 7: Espectro de Frequência da linha 0031-180A da Bacia do Acre. Frequência dominante entre 10 -30 hz.
Eixo x: Frequência (hz) e Eixo y:Amplitude (dB).

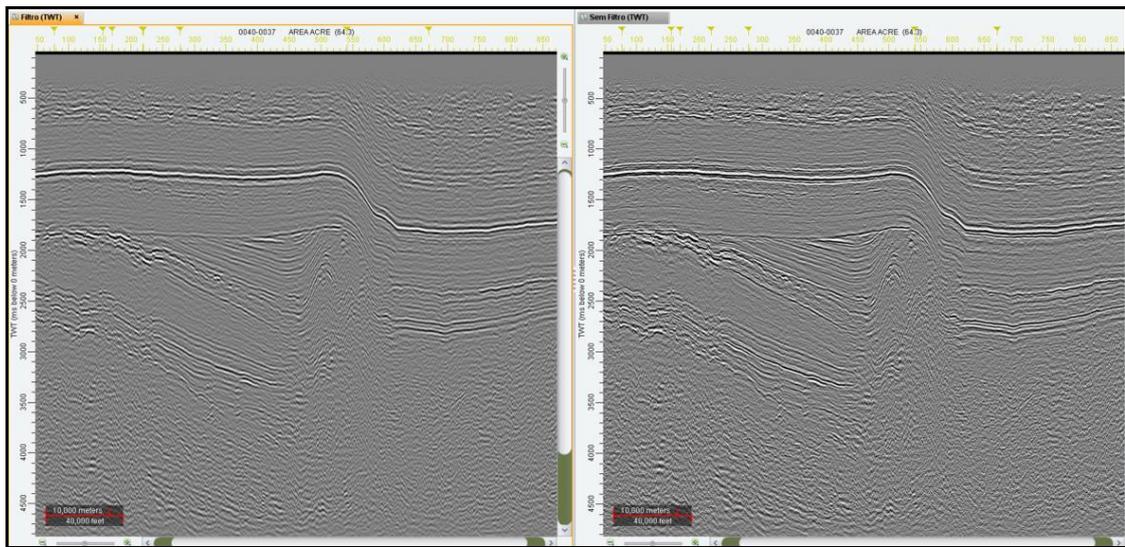


Figura 8: Filtragem na faixa 15 -30 hz. Linha filtrada a esquerda e original a direita.

Foi extraído um atributo estrutural de descontinuidade (Figura 9 eFigura 10), a fim de utilizar esse produto na interpretação estrutural. Diversas tentativas de parâmetros foram feitas, diversificando a quantidade de linhas, traços e amostras no momento da extração. Este estilo de atributos “discretiza” o dado em regiões contínuas e descontínuas, com objetivo de ajudar na interpretação de falhas principalmente. Nas áreas de maior descontinuidade pode-se interpretar a presença de falhas ou fraturas. Isto não é conclusivo, porém serve como um guia na interpretação do dado. Apesar de ser comum o uso de atributos estruturais em visão de mapa, isso só é possível em locais com aquisição 3D. Porém, mesmo em seções2D é possível utilizar estes atributos como guias durante a interpretação.

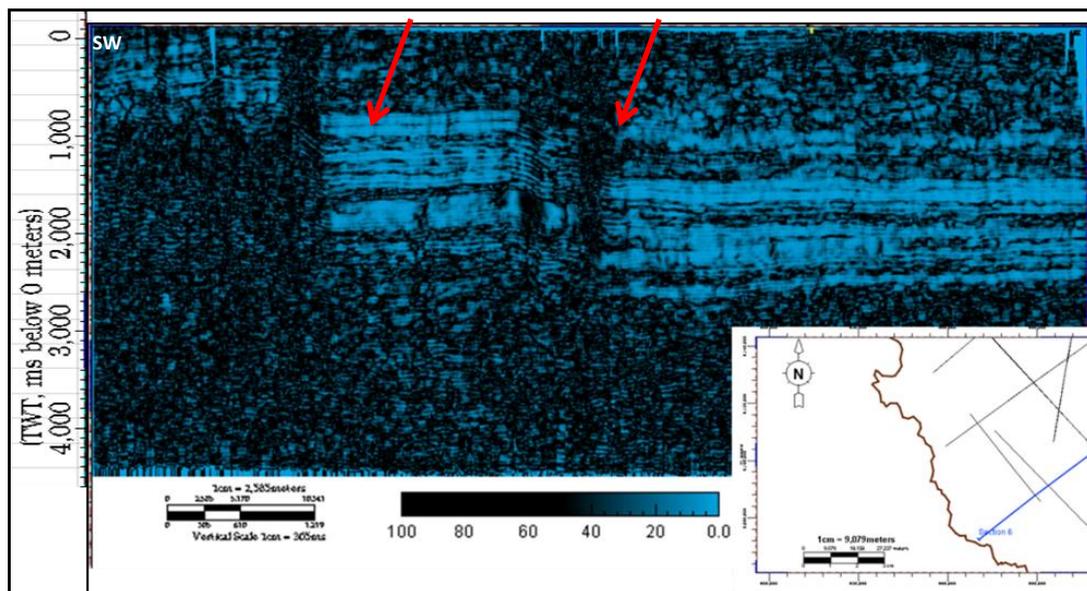


Figura 9: Atributo Estrutural de Descontinuidade. Linha 031-0180A. As cores pretas indicam áreas de maior descontinuidade nos refletores sísmicos, indicando regiões de possíveis falhamentos. As setas indicam as falhas de Oeste Batã e Batã da esquerda para direita. Exagero vertical de 3.

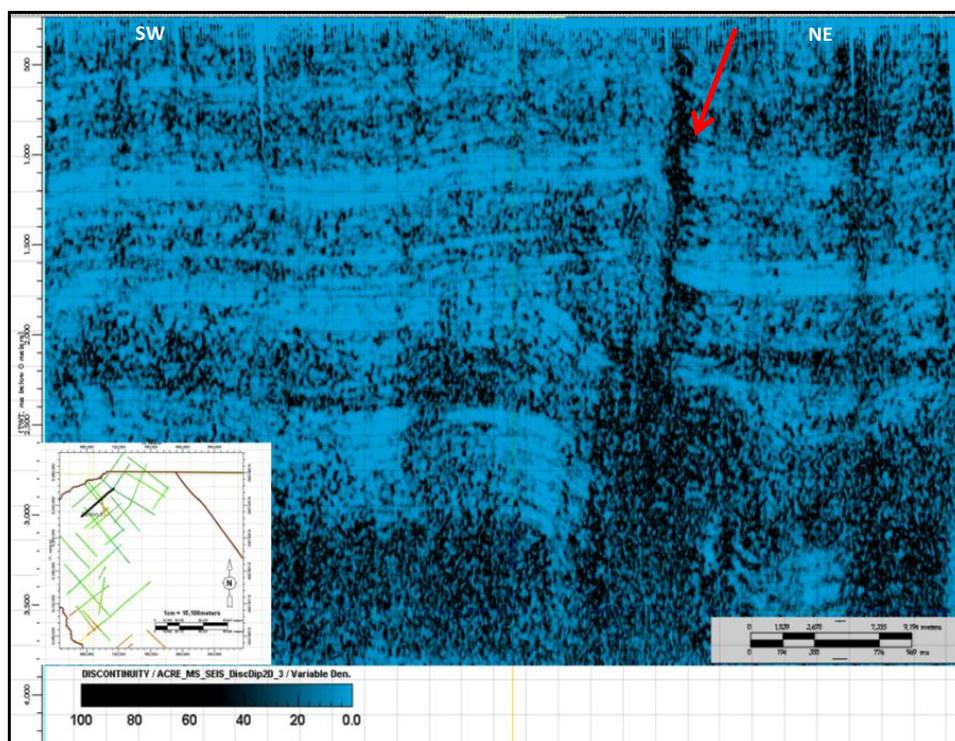


Figura 10: Atributo Estrutural de Descontinuidade. Linha 0040-0016. As cores pretas indicam áreas de maior descontinuidade nos refletores sísmicos, indicando regiões de possíveis falhamentos. A seta indica as falha de Batã.

Seguindo o fluxo tradicional de trabalho, é essencial realizar a amarração dos poços, originalmente em profundidade, com a sísmica, que se encontra no domínio do tempo. Portanto, é preciso curvas (perfis) de densidade e velocidade para gerar o sismograma sintético e seguir todo o fluxo de amarração de poço. As mesmas, no

entanto, não estavam disponíveis para os poços liberados pela ANP para realização do trabalho, então foi adotada outra estratégia para conseguir amarrar os poços. Foi necessário utilizar uma tabela de *checkshots*, com os pares de tempo sísmico e a profundidade equivalente, para o poço 1-RM-0001-AC, o que permitiu correlacionar o poço com a sísmica após pequenos ajustes. O poço amarrado facilita na identificação das camadas e sua correlação estratigráfica, o que se reflete na localização e interpretação dos principais horizontes sísmicos. Os principais horizontes interpretados foram o embasamento da bacia (vermelho), discordância pré-cretácea (amarelo) e topo do cretáceo (azul) (Figura 11).

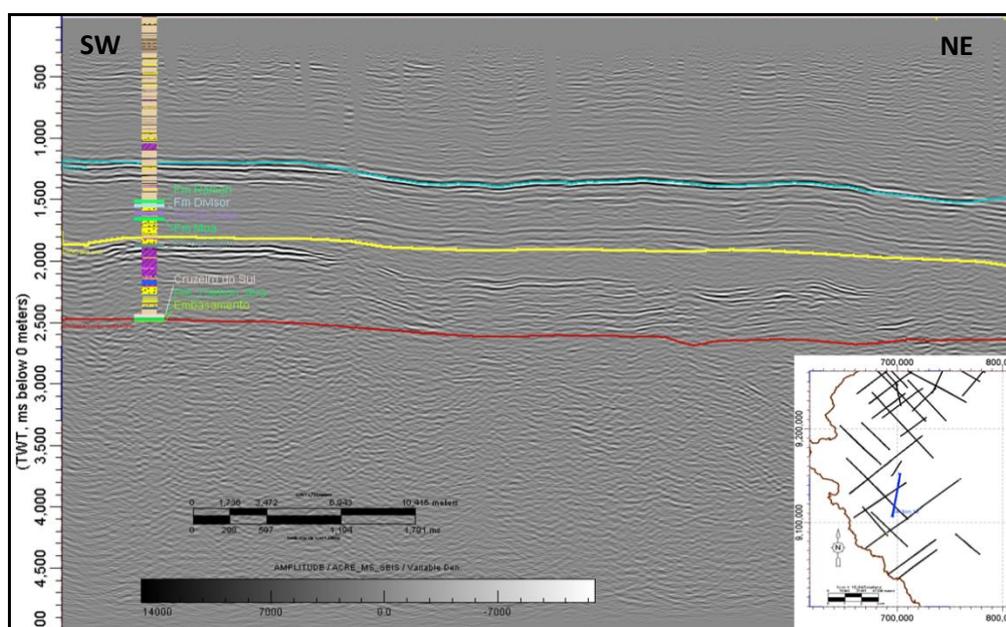


Figura 11: Poço 1-RM-AC (Rio do Moura) plotado na sísmica em tempo. Linha 0040-0051

Como a sísmica foi disponibilizada em tempo duplo de trânsito (TWT – *two way time*) da onda sísmica, foi preciso transformar este dado para profundidade, com objetivo de realizar uma análise estrutural mais eficaz. O fluxo de trabalho tradicional para essa conversão envolve muitas etapas e é fundamental para a interpretação sísmica. Caso seja construído de maneira equivocada, durante a migração dos dados pode deformar, deslocar e criar/destruir estruturas. Para obter um modelo consistente, é preciso a disponibilidade de perfis de poços referentes à densidade e velocidade e dados secundários, porém muito importantes, na

construção de modelo complexos, tais como horizontes, falhas, corpos de sal multi-z, atributos sísmicos, geostatística etc.

Inicialmente realiza-se a amarração dos poços com a sísmica em tempo (*two way time*), a tabela T/D (*time-depth*) gerada a partir da amarração é utilizada como *input* para a construção do modelo de velocidade. Entretanto, como dito acima, os demais dados de poços não estavam disponíveis, sendo assim, optou-se por realizar um modelo de velocidade mais simples, basicamente utilizando os dados oriundos dos *checkshots* do poço 1-RM-0001-AC e horizontes interpretados. Adotou-se a estratégia de utilizar as velocidades obtidas no poço, para gerar as velocidades intervalares, limitando-as pelos horizontes estruturais. Posteriormente, o dado foi convertido para profundidade aplicando este modelo no qual a velocidade intervalar é multiplicada pelo tempo de trânsito simples. As velocidades variam entre 2.400 a 6.000 m/s. Para isso, foram utilizados três horizontes interpretados, sendo eles: topo do Cretáceo, base do Cretáceo e embasamento. De acordo com os perfis disponibilizados a média do intervalo de velocidade para cada uma das camadas, 1, 2 e 3, é respectivamente: 2.500 a 3.500 m/s, 3.500 a 5.000 e 6.000 m/s para o embasamento (Figura 12).

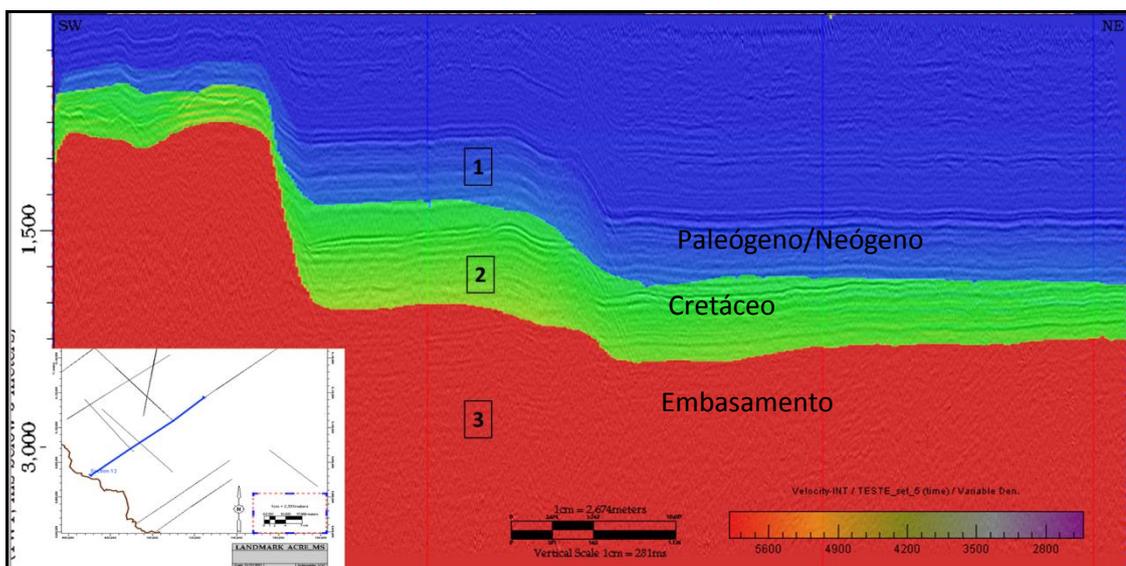


Figura 12: Modelo de velocidade para a Bacia do Acre. Foram construídas três camadas de velocidades, 1, 2 e 3.

Na etapa de interpretação é importante estar ciente sobre o limite do dado em fornecer informações inerentes à geologia da região, no que tange à resolução vertical sísmica. Segundo Rosa (2010), a resolução vertical de um dado sísmico é

definida como a capacidade de separar refletores verticalmente próximos. A resolução vertical seria a menor espessura de camada, acima da qual é possível isolar de forma correta os refletores topo e base de uma camada. Foi realizado o cálculo em três intervalos distintos estratigraficamente, sendo eles: 1– Paleógeno/Neógeno, 2-Cretáceo e 3– Pré-Cretáceo. O cálculo leva em consideração a frequência dominante e a velocidade média destes intervalos.

O cálculo consiste em:

$$E = \frac{Vm}{4f}$$

E= Espessura. Vm= Velocidade Média F= Frequência dominante.

O primeiro intervalo indicou resolução vertical de 32 metros (rosa), já o segundo de 55 metros (vermelho) e 92 metros (laranja) para a seção Pré-Cretácea (Figura 13). O resultado foi coerente, já que a resolução vertical piora com o aumento da profundidade.

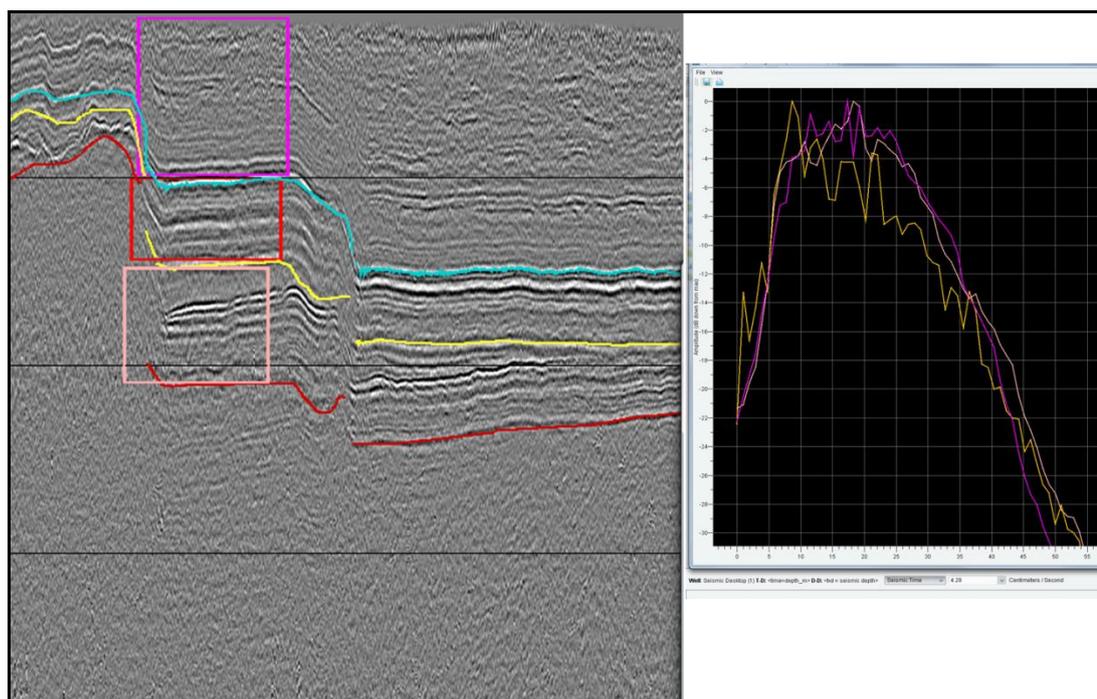


Figura 13: Resolução Sísmica do dado. Foram utilizadas três regiões destacadas no dado sísmico. Linha 0031-180A (mapa na figura 8). No gráfico a direita é exibida a frequência em cada intervalo.

Com esta etapa concluída, a interpretação estrutural sísmica foi iniciada, e será explicitada no capítulo 3. Paralelamente ao desenvolvimento da metodologia aplicada na sísmica, outra frente do trabalho consistiu na utilização de técnicas de interpretação de sensoriamento remoto para obter informações sobre o reflexo das estruturas da subsuperfície no relevo da bacia. Para isso, optou-se por trabalhar com os dados de elevação digital de terreno – SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). O objetivo do uso destas imagens é verificar se as estruturas em subsuperfície causaram interferência no relevo, de acordo com o princípio de morfotectônica, que se refere ao estudo de evidências de atividade tectônica em superfície.

Inicialmente foi pensado utilizar imagens ópticas, como as do *Landsat*, porém sua interpretação foi dificultada devido à grande densidade de nuvens. Por isso, optou-se por utilizar as imagens de elevação digital terreno-SRTM. Essas imagens são disponibilizadas gratuitamente pela *National Geospatial-Intelligence-NASA* e cobrem praticamente toda a superfície terrestre. O projeto (SRTM) foi um empreendimento da NASA, em conjunto com agências espaciais alemãs e italianas (FARR *et al.*,2007). Com base nestas imagens, foram realizadas interpretações nas redes de drenagem e posteriormente integradas com o dado sísmico.

Berger (1994), propõe uma metodologia de análise estrutural para bacias sedimentares cobertas por densa vegetação e solo, como no caso da Bacia do Acre e de toda a região Amazônica. Confirma-se, nessa metodologia, a importância da combinação de diferentes tipos de dados, neste caso, dados sísmicos e de sensoriamento remoto. Porém, em um estudo comercial, são utilizadas mais informações, como magnetometria, gravimetria, estudos de campo, entre outros. Segue a metodologia apresentada por este autor:

- Revisão da geologia estrutural regional: entender, de acordo com diferentes autores, os principais regimes tectônicos. Eventos de diferentes naturezas que afetaram a bacia ao longo da sua evolução são importantes para reconhecer as estruturas.
- Neste trabalho, o uso do dado sísmico e sua interpretação e produtos gerados, como os mapas, ajudaram na identificação de feições estruturais em subsuperfície, e que podem atuar também no relevo atual da bacia.

- Análise estrutural: utilizar a rede de drenagem para traçar lineamentos estruturais. As drenagens são reflexo dos regimes e esforços sofridos na bacia, sendo assim, seu caminho pode ser controlado estruturalmente e assim fornecem informações importantes na avaliação de bacias.
- Reconhecimento de estruturas encobertas: aplicação de modelos morfotectônicos para descrever a relação entre estruturas observadas em dados de sensoriamento remoto com estruturas observadas em subsuperfície. O uso da sísmica é importante caso esteja disponível.
- Modelo exploratório: combinação entre as estruturas observadas, na área de estudos, tanto em sísmica e em sensoriamento, com as estruturas descritas na literatura de interesse na exploração petrolífera. Neste caso, as anomalias de drenagem entram como um aliado na identificação de áreas mais propensas a serem locais ideais para estudos mais aprofundados. Já os lineamentos morfoestruturais fornecem um entendimento regional dos principais *trends*. Também podem ser utilizados na identificação de locais interessantes na busca de hidrocarbonetos.

2. Geologia Regional

A Bacia do Acre, dentro do contexto geotectônico da América do Sul, encontra-se no limite entre dois grandes *trends* de bacias fanerozóicas: por um lado, as bacias subandinas de direção N-S; por outro, pela Sinéclise Amazônica, representada pelas bacias do Amazonas e Solimões de direção W-E (OLIVEIRA,1994).

É limitada à leste pelo arco de Iquitos, separando-a da Bacia do Solimões. Este arco possui direção NNW-SSE e tem extensão para norte onde separa a Bacia do Amazonas Colombiana e da Bacia de Llano (MIURA, 1972). Esse arco teria se mantido como uma anomalia positiva durante a sedimentação do Cretáceo – Paleógeno/Neógeno. À oeste, a Bacia do Acre é limitada pelas bacias peruanas de Ucayali e Marañon.

Uma peculiaridade é que ela é a bacia sedimentar brasileira que mais foi afetada pela tectônica Andina podendo ser classificada como uma bacia sub-andina.

As características sedimentológicas e estruturais indicam que a Bacia do Acre é uma continuação das bacias peruanas em território brasileiro. Foram realizadas correlações estratigráficas com as bacias de Ucayali e Marañon, no qual foram identificadas formações análogas. Zelasco (2010) apresenta um mapa estrutural interpretado e interpolado de uma superfície regional (Chonta- Mioceno) que abrange as bacias citadas acima (Figura 14). Dentre as diversas estruturas presentes neste mapa, duas falhas se destacam para a Bacia do Acre: Falha Batã e Oeste Batã.

Segundo Oliveira (1994) estas são as maiores e mais expressivas falhas presentes na bacia, possuindo um rejeito de centenas de metros. Nas linhas sísmicas das Bacias Peruanas, observam-se estruturas similares com as encontradas na Bacia do Acre, provavelmente associadas aos processos tectônicos que afetaram, simultaneamente, ambas as bacias. Falhas reversas, empurrões e grandes discordâncias são exemplos destas semelhanças.

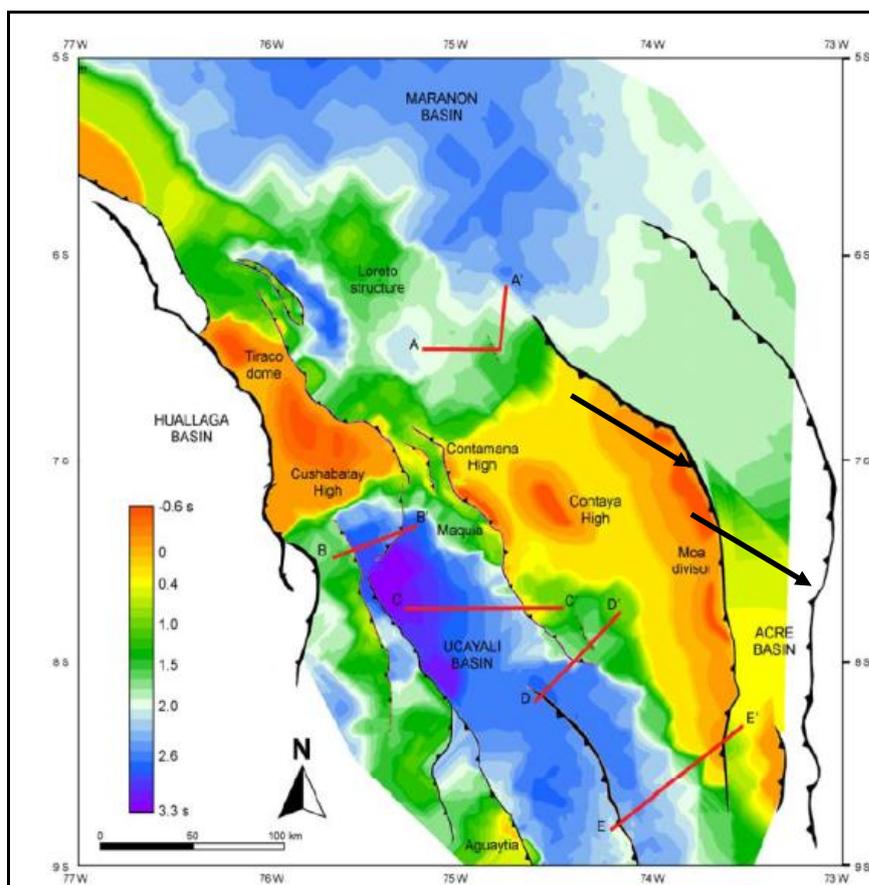


Figura 14: Horizonte regional interpretado nas bacias vizinhas ao Acre (modificado de ZELASCO, 2010). As setas indicam as falhas presentes na Bacia do Acre Oeste Batã e Batã.

Além das estruturas, essas bacias apresentam uma estratigrafia similar. Correlacionam-se rochas geradoras das Bacias Peruanas com possíveis rochas geradoras da Bacia do Acre. Na Bacia de Manañon, a Fm. Chonta e Pucara, geradoras de óleo, são correlacionáveis com os Folhelhos da Fm. Moa da Bacia do Acre. Já na Bacia de Ucayali, carbonatos da Fm. Copacabana seriam similares aos da Fm. Cruzeiro do Sul, presente em território brasileiro. Na Figura 15 observa-se uma comparação das cartas estratigráficas da bacia Ucayali com a bacia do Acre. Na Bacia do Acre, desconhecem-se as formações do ordoviciano ao devoniano já que as perfurações da exploração de petróleo e gás não penetraram nos depocentros mais profundos da bacia, porém os dados sísmicos indicam sua presença (CAPUTO, 2014). Essas correlações servem como guia na busca por reservas de hidrocarbonetos na Bacia do Acre, já que nas bacias vizinhas existem reservas provadas, como, por exemplo, os complexos de Camisea e Pagoreni - Bacia de Ucayali, (Figura 16). A Bacia do Ucayali é uma das maiores bacias sedimentares Peruanas, e faz parte de um sistema ainda maior de bacias sub-andinas que se estendem até o Equador e a Colômbia. Segundo petrolífera *Karoon Petróleo e Gás Ltda*, que atua na região, estas bacias sub-andinas são províncias comprovadas de petróleo, com campos produtores nos três países, possuindo grandes reservas.

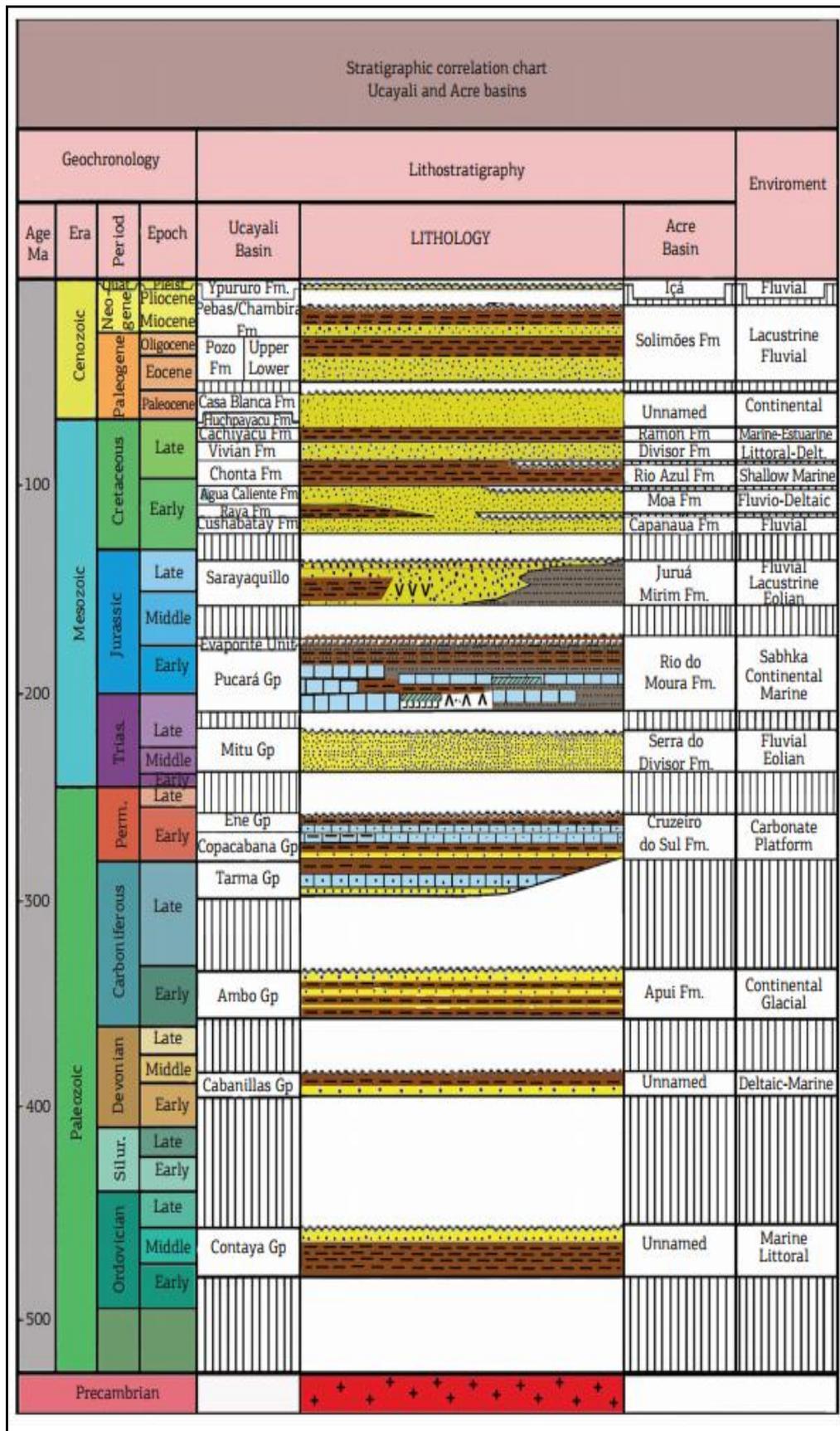


Figura 15: Comparação de cartas estratigráficas das Bacias Ucayali e Acre (CAPUTO, 2014).

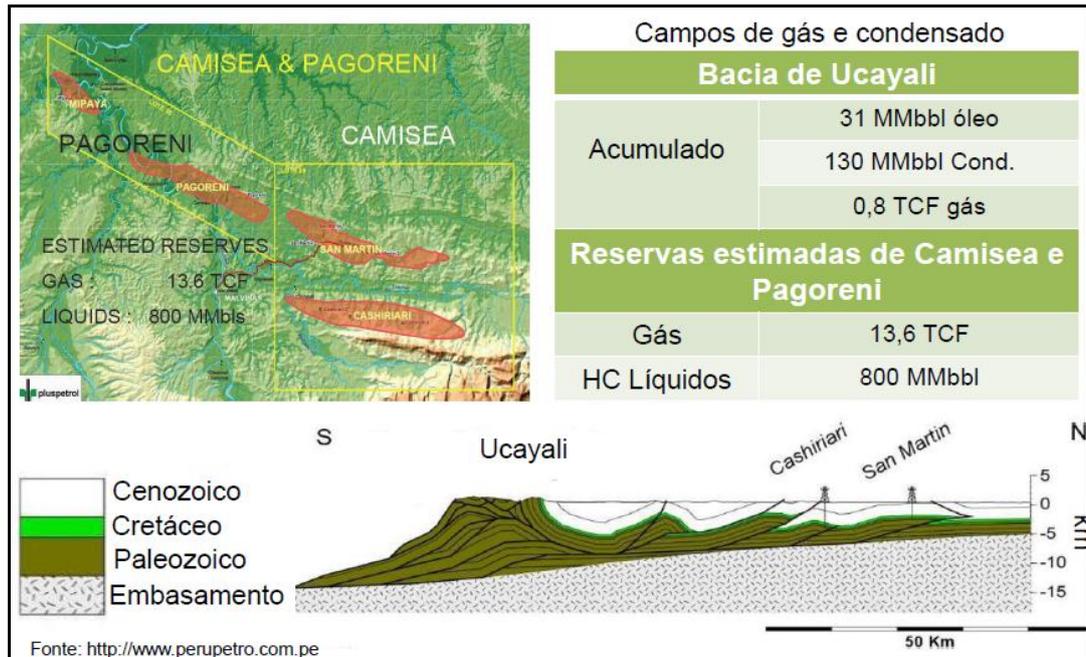


Figura 16: Campos de hidrocarbonetos em bacias Peruanas (VASCONCELLOS E COUTINHO, 2013)

O mapa estrutural da Formação Chonta, exibido na Figura 14, engloba um grande território das bacias subandinas Marañon, Ucayali e Acre. As linhas vermelhas representam seções sísmicas e duas destas linhas serão exibidas nas figuras Figura 18 e Figura 19. Nestas, é possível identificar estruturas e estilos deformacionais similares à Bacia do Acre (Figura 17). É marcante a presença de falhas reversas, a discordância pré-cretácea, chamada de *base cretáceos unconformity*, também presente na Bacia do Acre. Na seção E-E' (Figura 18) a Serra do Divisor é representada por *MOA Divisor*, separando a Bacia Ucayali da Bacia do Acre. Pode-se observar esta estrutura tanto em superfície, que se apresenta como anticlinais, quanto em linhas sísmicas.

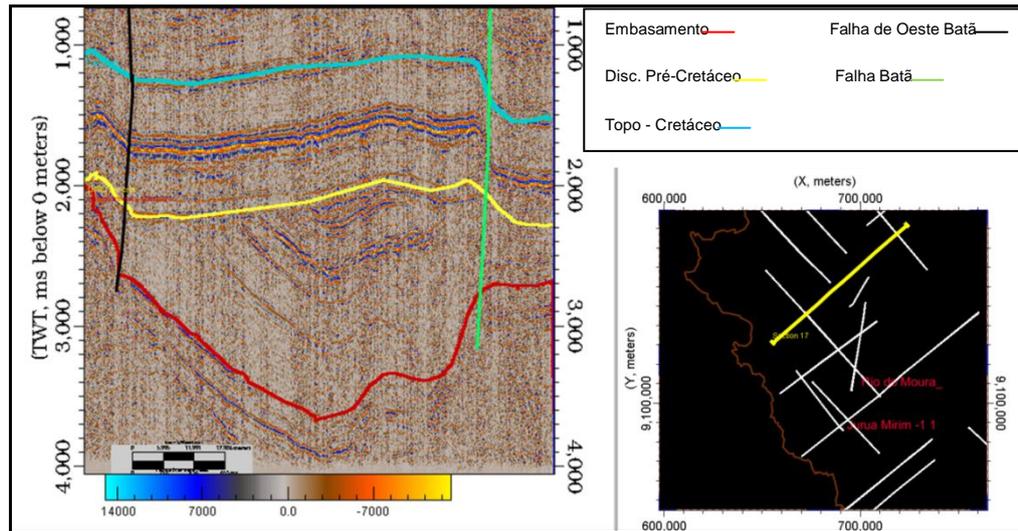


Figura 17: Linha sísmica interpretada da Bacia do Acre. Semelhanças estruturais e sedimentares com bacias Peruanas. Em preto destaca-se a Falha Oeste de Batã, que controla a Serra do Divisor, e, em verde, a Falha de Batã.

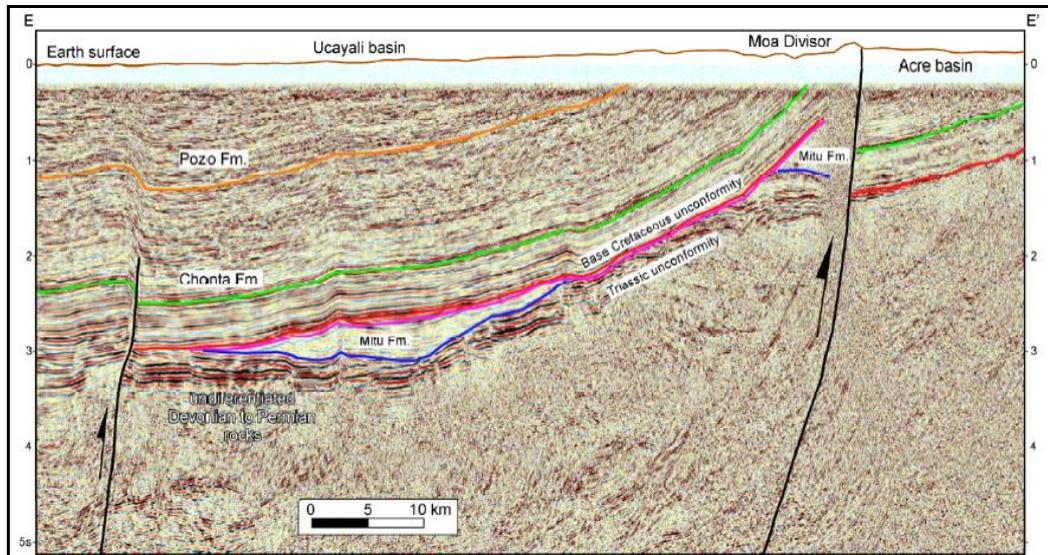


Figura 18: Seção sísmica mostrando a Bacia de Ucayali e a Bacia do Acre. Para localização, linha E-E' no mapa da figura 13. (Zelasco, 2010)

A seção B-B' (Figura 19) também atravessa duas falhas reversas, com grandes rejeitos, assim como no caso de regiões na Bacia do Acre que atravessam a Falha Oeste Batã e Batã. Essa seção especificamente poderia ser facilmente confundida como uma linha sísmica da Bacia do Acre. A busca por hidrocarbonetos, na Bacia do Acre, leva muito em conta essas comparações, tanto estruturais quanto estratigráficas, já que nas bacias Peruanas já foram encontradas grandes reservas de hidrocarbonetos.

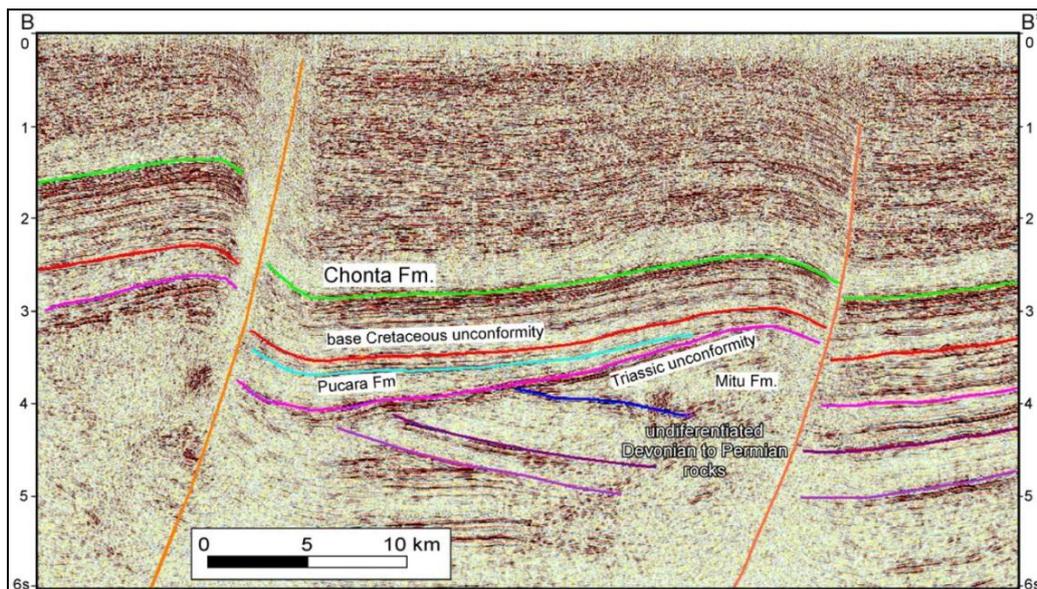


Figura 19: Seção interpretada, linha B-B' no mapa da figura 13(Zelasco,2010).

Foi carregada, no *software* de interpretação sísmica (Figura 21), a imagem de uma linha sísmica interpretada da bacia Peruana de Ucayali, com objetivo de comparar as estruturas e verificar alguma continuidade das camadas na área de transição para a bacia brasileira do Acre. Tomando o devido cuidado de carregar a imagem no mesmo nível de elevação das linhas sísmicas, pode-se observar a Falha Oeste Batã, que se apresenta como um falhamento reverso de direção N-S de alto ângulo e expressivo rejeito, localizada na região da Serra do Divisor. As estruturas possuem uma boa continuidade e semelhanças em sua geometria, fato que corrobora a evolução tectono-sedimentar semelhante das bacias sub-andinas. As principais semelhanças estão no estilo das falhas, principalmente as reversas de alto ângulo e rejeito de centenas de metros e superfícies de discordâncias oriundas de orogenias.

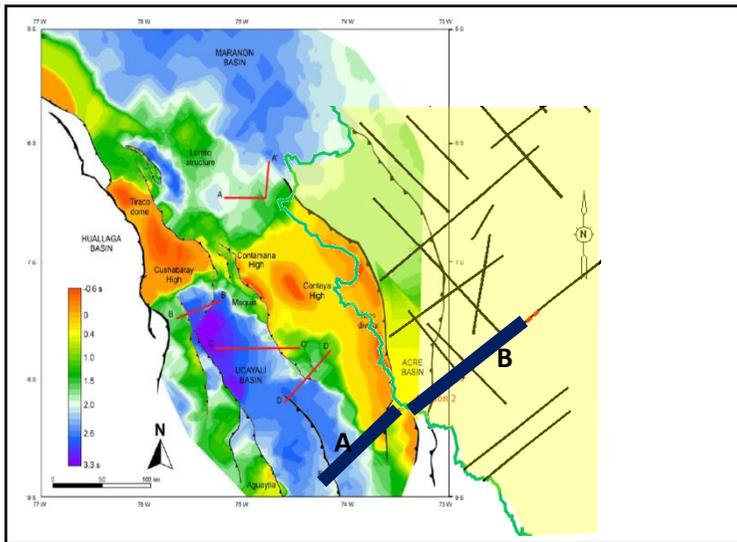


Figura 20: Mapa da Fm. Chonta (esquerda) e linhas sísmicas da Bacia do Acre utilizadas no presente trabalho (direita). Destaque para as linhas sísmicas em azul A (Bacia Ucayali) e B (Bacia do Acre). As seções sísmicas correspondentes a essas linhas encontra-se na Figura 20.

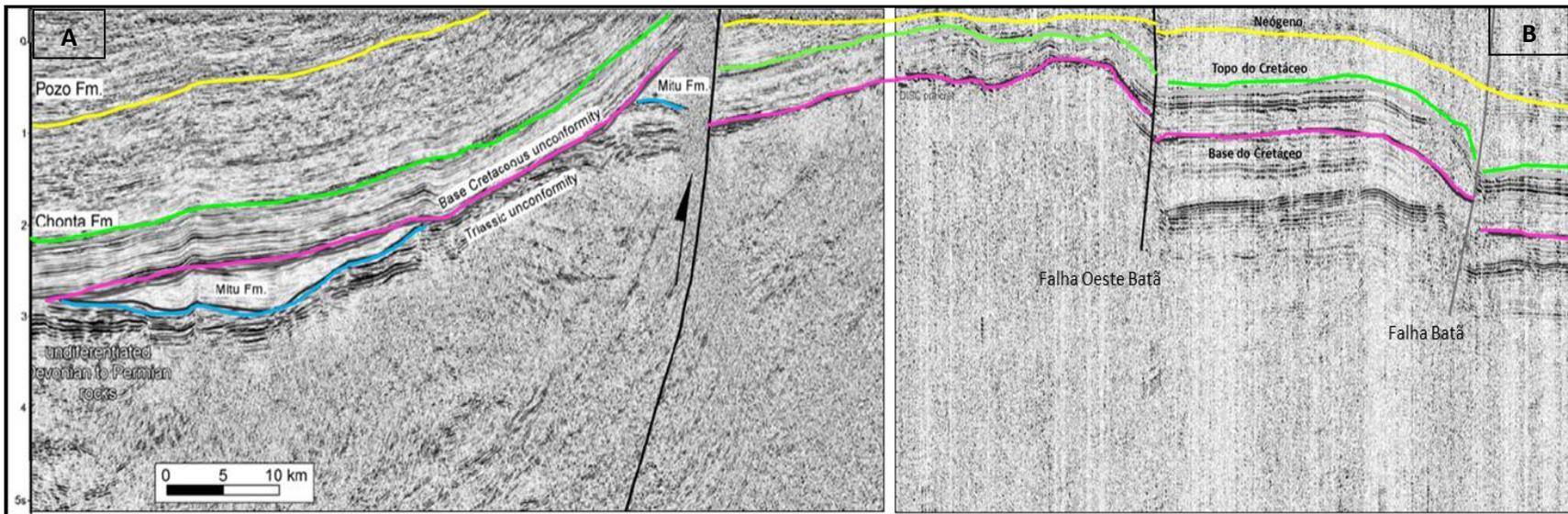


Figura 21: Seções sísmicas A e B (Bacia Ucayali e Acre respectivamente). Observa-se a continuação das estruturas e refletores. Ver Figura 20 para localização das seções

Já em território brasileiro, a bacia que faz fronteira com a Bacia do Acre é a do Solimões, que possui um longo histórico de exploração, parecido com o da Bacia do Acre, com o início da busca por hidrocarbonetos no começo do século XX. De idade paleozóica, é delimitada ao norte pelo Escudo da Guiana e ao sul pelo Escudo Brasileiro. Com aproximadamente 440.000 km² de área, localizada no estado do Amazonas, é separada das bacias Marañon (Peru) e Acre (Brasil); em sua margem ocidental pelo Arco da Iquitos, e da Bacia do Amazonas, no lado leste, pelo Arco Purus (CAPUTO, 2014). O alto de Caruari separa a Bacia em duas sub bacias, sendo elas Jandiatuba e Juruá. As bacias do Acre, Solimões, Madre de Dios, Ucayali, Marañon e outras bacias subandinas formaram originalmente uma única bacia principal, que foi posteriormente subdividida durante diversos eventos tectônicos (CAPUTO & SILVA, 1990).

Na Figura 22, observa-se uma linha sísmica interpretada da bacia do Solimões na qual também se verifica a presença de falhamentos reversos e da discordância pré-cretácea, evidenciando que o evento que gerou esta discordância foi regional. Segundo BARATA & CAPUTO (2007) a Bacia do Solimões é marcada pela presença de soleiras de rochas ígneas (Figura 22). Segundo os mesmos autores, as rochas sedimentares, encontram-se intrudidas por diques e soleiras de diabásio, os quais influenciaram fortemente a evolução térmica da matéria orgânica contida na rocha geradora e do petróleo acumulado na rocha reservatório, compensando a baixa efetividade da sobrecarga sedimentar e reduzido gradiente geotérmico. Na Bacia do Acre também existe a presença de rochas ígneas intrudidas encontradas pelas perfurações dos poços exploratórios. OLIVEIRA (1994) descreve dois eventos distintos, um intrusivo e outro extrusivo.

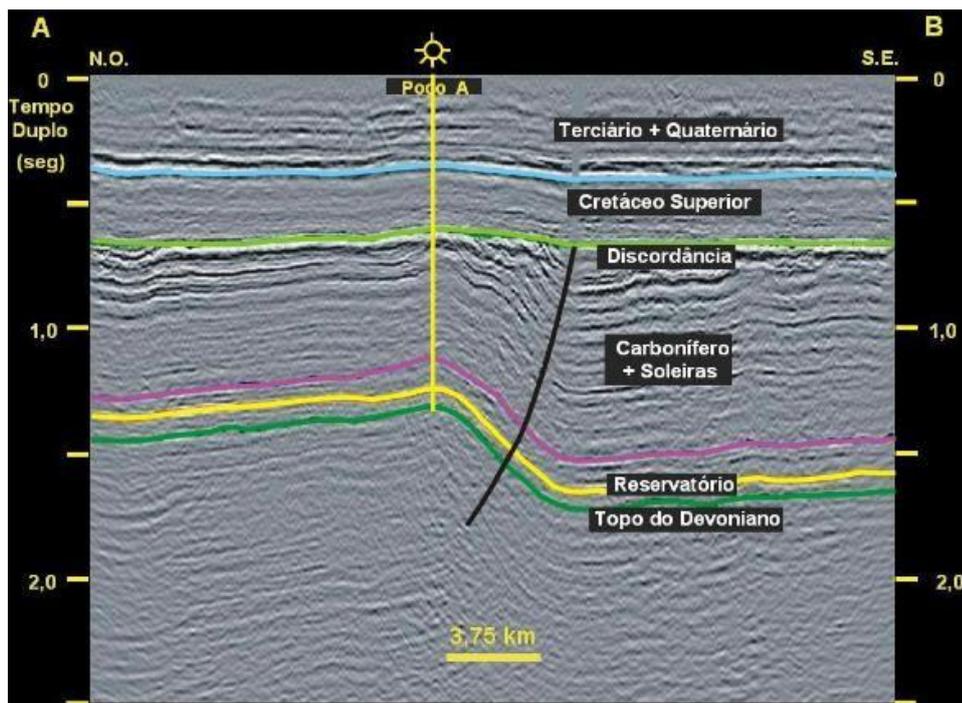


Figura 22: Seção Sísmica na bacia do Solimões (BARATA *et al.*, 2007)

A Bacia do Solimões apresenta acumulações provadas de hidrocarbonetos, no qual a estruturação das camadas tem papel essencial na geração das trapas. As falhas e as dobras transpressionais tão antigas como o Jurássico tardio constituem boas armadilhas de hidrocarbonetos no Brasil e em muitas bacias sub-andinas. Segundo Caputo (1991), o arco de Iquitos comportou-se como uma charneira, no qual a Bacia do Solimões foi separada das demais bacias. Este arco se formou como uma intumescência lateral da litosfera em resposta ao espessamento tectônico causado pela acreção de terrenos alóctones na borda oeste do continente. Neste momento, no início da subducção Andina (Eocretáceo) o arco de Iquitos passou a sofrer acentuado soergimento periférico, responsável pela erosão dos sedimentos na área.

Estruturalmente a Bacia do Solimões apresenta falhas normais nas bordas norte e sul, além de dobras e falhas ao longo da bacia e a presença de intrusões ígneas. A partir de 1978, com a descoberta da província de óleo e gás de Juruá, a pesquisa na bacia se intensificou, culminando, em 1986, em outra descoberta, a província de Urucu. Foram identificadas cinco unidades deposicionais, as quais são limitadas por discordâncias regionais. Na Figura 23, Caputo(2014), ilustra a proposta

de um modelo no qual se evidencia uma zona de transpressão aliada a falhas transcorrentes e escalonadas, que também atinge a Bacia do Acre.

Na Bacia do Solimões, reservatórios localizam-se em zonas de falhamentos *em échelon*, causados por esses movimentos tectônicos. A região apresenta ampla deformação e muitas falhas inversas, ao longo das bacias do Solimões e do Acre, também presentes em uma grande área das bacias da plataforma sul-americana, na Argentina, Chile e Peru. Estruturas como inversões estruturais, blocos soerguidos, dobras assimétricas são atribuídas à compressão e ao cisalhamento ao longo desta vasta área.

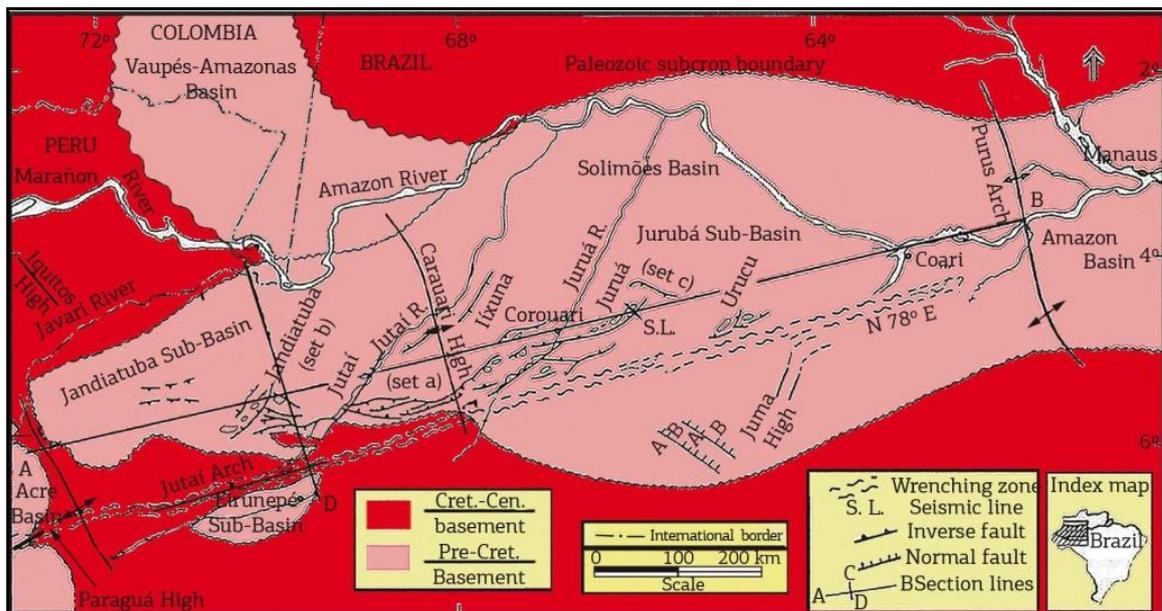


Figura 23: Mapa estrutural da região Amazônica, focando na Bacia do Solimões, (Caputo, 2014). Observa-se a Bacia do Acre no limite oeste da Bacia do Solimões. Observar, também, o Megacisalhamento do Solimões, de direção N78E, que afeta o Sul da Bacia do Solimões, bem como a Bacia do Acre.

2.1. Bacia do Acre

A Bacia do Acre é uma perissutura ou uma bacia *foredeep*, assentada sobre litosfera rígida, associada à formação de uma megassutura compressional, o cinturão andino (CUNHA, 2007). Com evolução geológica característica, no qual em certo momento foi atingida pela tectônica andina, a Bacia do Acre se diferencia assim das demais bacias sedimentares brasileiras. Segundo Oliveira (1994), existem dois domínios geomorfológicos presentes nesta bacia, sendo eles: região de serras com altitudes de até 700 metros de direção N-S e região das planícies, na qual estão presentes rios de médio e grande porte. Na região das serras, está localizada a Serra do Divisor. Este conjunto de serras é descrito como anticlinais assimétricos associados a falhamentos reversos. Em imagens de satélite, é possível identificar tais regimes muito claramente, como será evidenciado no capítulo sobre este tema.

Ao longo da evolução do estudo na Bacia do Acre, iniciado nas primeiras décadas no século XX, foram definidos os estilos estruturais e deposicionais. O trabalho mais completo e referência neste tema é o de Oliveira (1994), no qual são definidos os estilos estruturais da bacia, além dos eventos tectônicos a eles associados, quais sejam: dois eventos distensivos, três eventos compressivos e um evento transcorrente.

A Bacia do Acre, devido a sua evolução multicíclica, apresenta muitas estruturas de diferentes naturezas. Uma das principais falhas presentes na região denomina-se Falha Oeste de Batã, que resulta nos anticlinais citados acima, presentes na Serra do Divisor, com direção aproximada N-S (Figura 24). Nos mapas gerados a partir de horizontes interpretados, também é facilmente visualizado este falhamento, devido à abrupta quebra e grande rejeito, chegando a centenas de metros. Em relação aos regimes de falhamentos da bacia, também são descritas falhas e fraturas com direção aproximada NNE-SSW com rejeitos normais ou direcionais, predominantemente dextrais (BARROS *et al.*, 1977). Essas interpretações foram possíveis, após a aquisição sísmica na região, que possibilitou a interpretação das estruturas recobertas por sedimentos e rochas mais recentes.

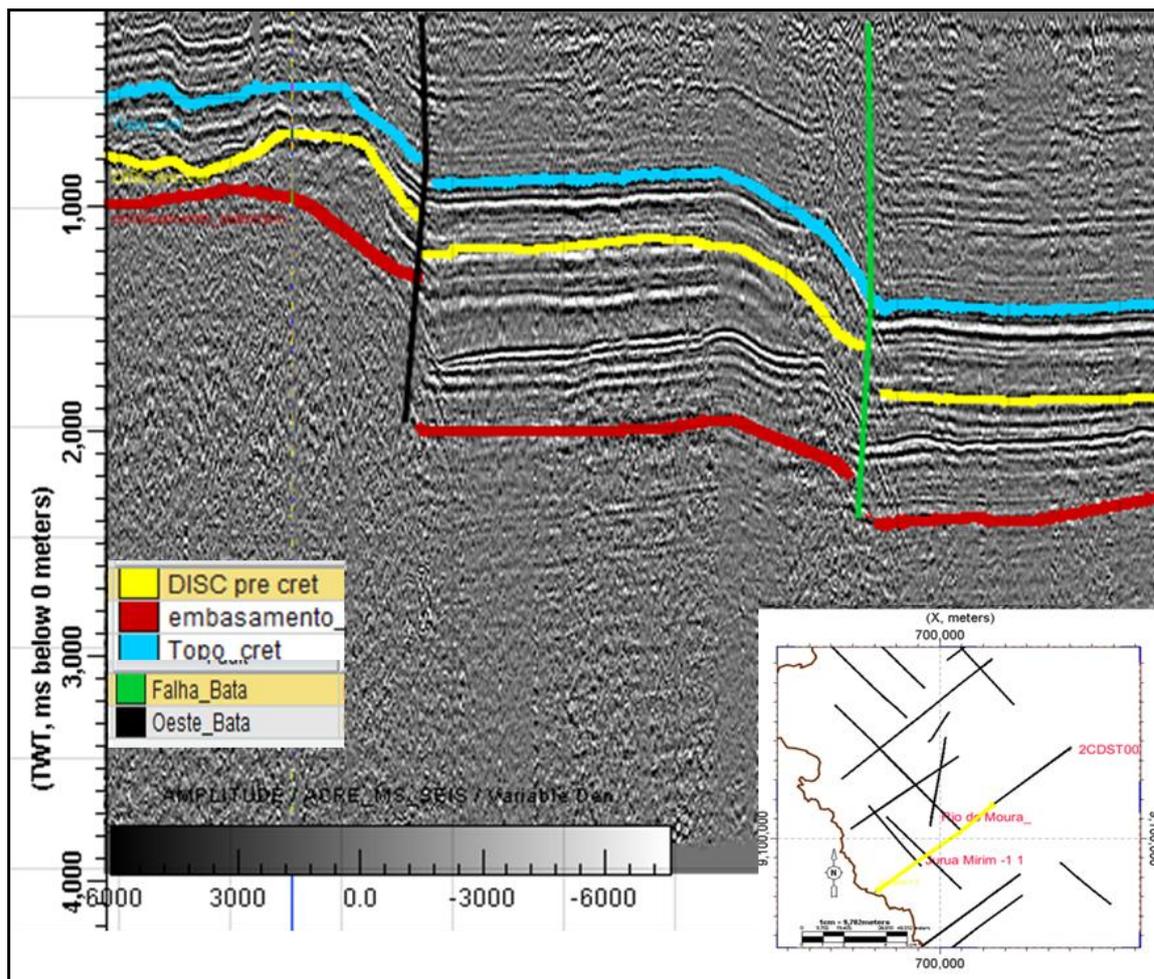


Figura 24: Seção interpretada indicando falhas reversas de alto ângulo e de direção N-S. Exagero vertical de 4.

2.1.2. Estratigrafia

A coluna estratigráfica da Bacia do Acre começou a ser construída com base nos primeiros estudos na região no início do século XX. Os trabalhos de campo feitos pelos técnicos do Departamento Nacional de Produção Mineral–DNPM. Foram identificadas as primeiras sequências e formações presentes. Com as perfurações de poços na busca por hidrocarbonetos, foi possível identificar formações não aflorantes, deixando assim a carta estratigráfica mais completa. Como a Bacia do Acre possui uma relação de evolução muito próxima das bacias sub-andinas adjacentes, muitas vezes foi feita, e ainda é realizada, uma comparação entre as sequências e ambientes deposicionais das mesmas, o que corrobora parao entendimento mais amplo de toda região. A evolução da bacia pode ser relacionada a ciclos deposicionais e tectônicos, controlados por fases orogênicas que atuaram

na Placa Sul-Americana (BARROS e CARNEIRO, 1991). As discordâncias estão associadas às orogenias que ocorreram como, por exemplo, a Orogenia Juruá, que gerou uma conspícua superfície discordante sobre a qual rochas cretáceas se depositaram.

A carta estratigráfica da Bacia do Acre apresenta as quatro grandes sequências deposicionais, representadas por rochas de idades permo-carbonífera, juro-triássica, cretácea a cenozóica. A última atualização foi realizada por (CUNHA,2007), que identifica nove formações e três grandes discordâncias (Figura 25). O embasamento da bacia pertence à Faixa Rondoniana-Cráton Amazônico. Esta faixa é a mais nova dentre as faixas móveis que compõem o Cráton Amazônico, com idade entre 1450 Ma e 1100 Ma. O embasamento foi interpretado, nos primeiros trabalhos de campo na bacia, em regiões em que falhamentos reversos fizeram com que o embasamento estivesse sobreposto a rochas de idade mais recente e aflorantes. Foram descritos como gnaisses dioríticos, gnaisses graníticos, anfíbolitos e veios de quartzo, diques de diabásio (PAMPLONA,1971).

O registro sedimentar é iniciado com a sequência permo-carbonífera em um ambiente sin-rift. Localmente afetada pela Orogenia Herciniana, gerou deformações nesta sequência e no embasamento. A sequência de idade permo-carbonífera é representada pelas formações Apuí, Cruzeiro do Sul e Rio do Moura(FEIJÓ e SOUZA, 1994). Após o embasamento, a primeira formação que se tem registro é a Apuí, que apresenta conglomerados, arenitos conglomeráticos, diamictitos e folhelho. Com o aumento do nível do mar, estabeleceu-se uma plataforma carbonática, onde foi depositada Fm. Cruzeiro do Sul. Esta formação possui abrangência nas bacias vizinhas e é composta por sedimentos carbonáticos de plataforma marinha aberta. Seguindo na coluna estratigráfica, tem-se a Fm. Rio do Moura, que foi depositada em um momento de um ciclo regressivo, representada por arenitos intercalados com carbonatos, siltitos e folhelhos negros.

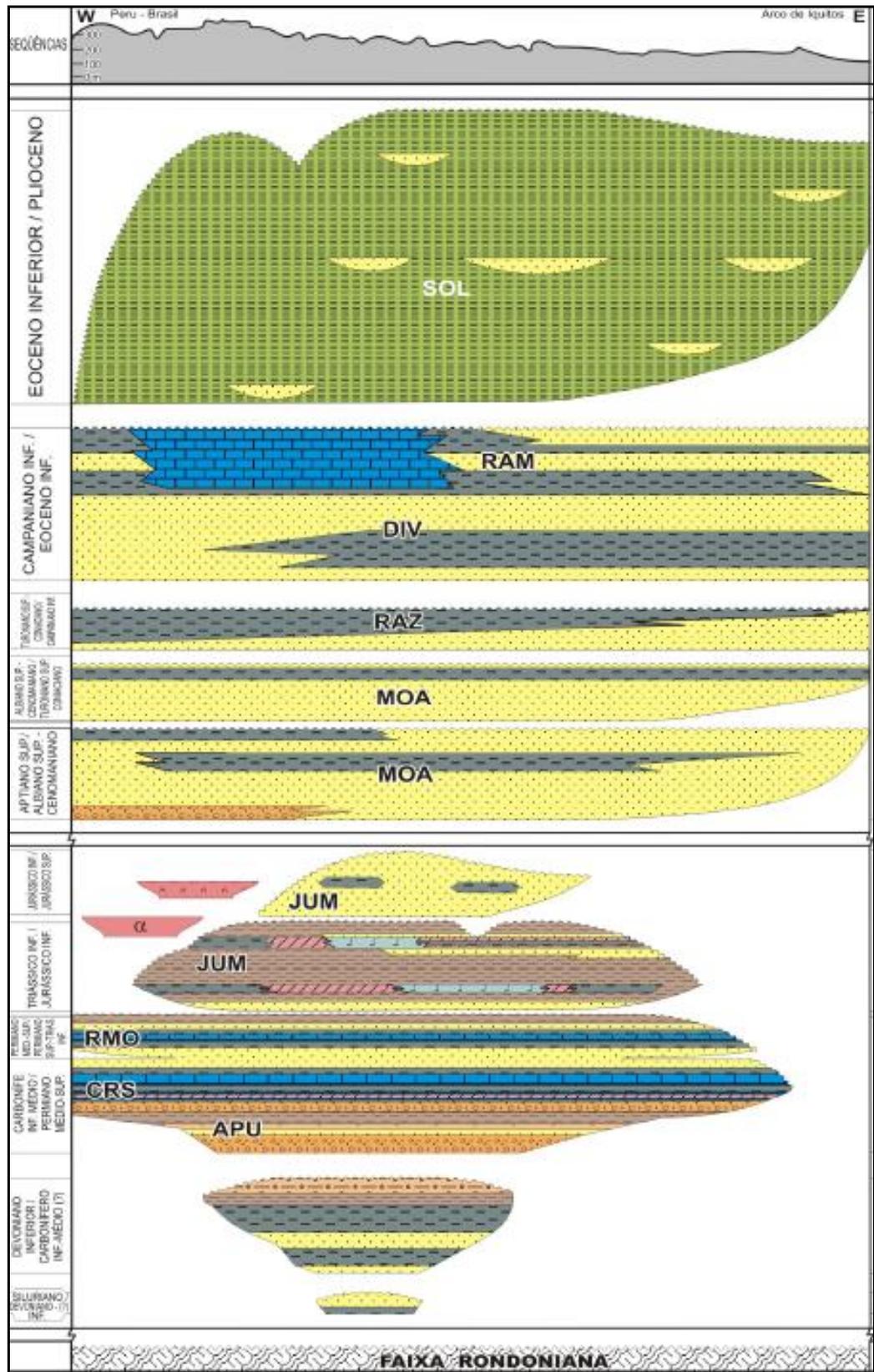


Figura 25: Coluna estratigráfica da Bacia do Acre (CUNHA, 2007).

A Fm. Juruá-Mirim é composta por arenitos, siltitos, folhelhos vermelhos, anidritas e halitas. Com o rebaixamento do nível do mar e os esforços distensivos permitiu-se a sedimentação continental margeada por sabkas, gradando para um sistema fluvial meandrante, aliado a derrames de basaltos (SILVA 1989, in OLIVEIRA 1994). A Fm. Juruá Mirim, é marcada por uma discordância erosiva que abrange toda a bacia, e localiza-se no topo desta Formação. Nessa sequência, ocorre também a intrusão de rochas ígneas, que são identificadas em trabalhos de campo e também em linhas sísmicas.

A sequência do Cretáceo é conhecida desde os primeiros estudos na bacia, devido ao fato de ser o material constituinte da Serra do Divisor, na fronteira com o Peru (OLIVEIRA,1994). É composta pelas formações Moa, Rio Azul, Divisor e Ramon. A formação Moa, basicamente, é composta de clastos grosseiros continentais, arenitos finos e pequenas espessuras de folhelhos. A Fm. Rio Azul possui uma intercalação de folhelhos e arenitos. A implantação da fase Peruana(Santoniano 80 Ma) da orogenia Andina implicou na deposição de material continental na bacia, representado pela Fm. Divisor.

Passada a orogenia Peruana, iniciou-se a deposição no Paleógeno de uma sequência transgressiva, a Fm. Ramon, composta por argilitos, siltitos e, secundariamente, folhelhos e arenito. A última sequência presente na bacia do Acre é a Fm. Solimões. É resultado da continentalização da bacia, sendo atingida pelas últimas fases da orogenia Andina (Quechua, até os dias atuais). É composta de argilitos vermelhos e siltitos, passando a arenitos oxidados no topo.

A bacia sedimentar do Acre é composta por uma seção estratigráfica de até 6.000 metros de espessura, muito semelhante à Bacia Peruana de Ucayali, porém menos completa. Na Bacia do Acre, são desconhecidas as formações do Ordoviciano ao Devoniano, porém os dados sísmicos indicam sua possível existência, em depocentros mais profundos (CAPUTO, 2014).

2.2. Evolução Tectono-Sedimentar

A Bacia do Acre é considerada uma bacia sub-andina, sendo a mais oriental deste conjunto de bacias sedimentares, que tiveram uma evolução tectono-sedimentar similar, uma vez que sofreram esforços semelhantes durante sua implantação. A história evolutiva da bacia do Acre inicia-se com a deposição de sedimentos de idade pré permo-carbonífero, provavelmente em *rifts* intracontinentais, sobre o embasamento cristalino, pertencente ao cráton amazônico. Segundo Oliveira (1994), dois meio-grábens foram formados, sendo denominados Rio Azul e Rio Curuça, com sedimentação marinha e flúvio-lacustre, respectivamente.

Neste período, ocorreu a Orogenia Herciniana, um evento compressivo que soergueu grande parte da região, deformando esta primeira sequência deposicional e causando uma superfície de discordância no topo desta. Falhas reversas são identificadas como reflexo destes esforços compressivos. Neste momento, houve um soerguimento do nível do mar que propiciou um ambiente ideal para a implantação de uma plataforma carbonática, depositando a Formação Cruzeiro do Sul. Um ciclo regressivo é implantado, ao final desta sequência, e registrado pela Formação Rio do Moura. É entendido que esta formação tenha se depositado no ambiente marinho raso (CUNHA, 2007). Esta seção é uma das menos conhecidas na bacia devido ao fato de não ser aflorante e sendo somente investigada pelos poços que atingiram tal profundidade. Ao final da orogenia citada, houve uma erosão nos sedimentos e deposição da sequência Juro-triássica.

O topo da Formação Juruá Mirim, foi afetado fortemente pela Orogenia Juruá, de natureza compressiva e que inverteu os grábens preenchidos de material continental, soerguendo toda a bacia do Acre, causando assim uma discordância angular de caráter regional. As deformações causadas pela Orogenia Juruá (falhas reversas, dobramentos e migração de sal para o núcleo de anticlinais) constituem os mais belos e amplos exemplos, em solo brasileiro, de estruturas compressivas fanerozóicas de natureza tectônica (ZALAN, 2004).

Segundo Oliveira (1994), este evento foi responsável pela primeira inversão da Bacia do Acre. Ao final desta fase, foi caracterizado um período de erosão e/ou não

deposição de sedimentos. No período entre o Neojurássico e Eocretáceo, foi dado o início da subducção da placa de Nazca em direção à placa Sul-Americana, causando o soerguimento de toda a região, não somente na bacia do Acre, mas assim como em todas as bacias sub-andinas. O resultado disto foi a erosão de centenas de metros de rochas e sedimentos, formando uma expressiva superfície de discordância erosiva, chamada de Discordância Pré-cretácea, que pode ser observada claramente em linhas sísmicas (Figura 26).

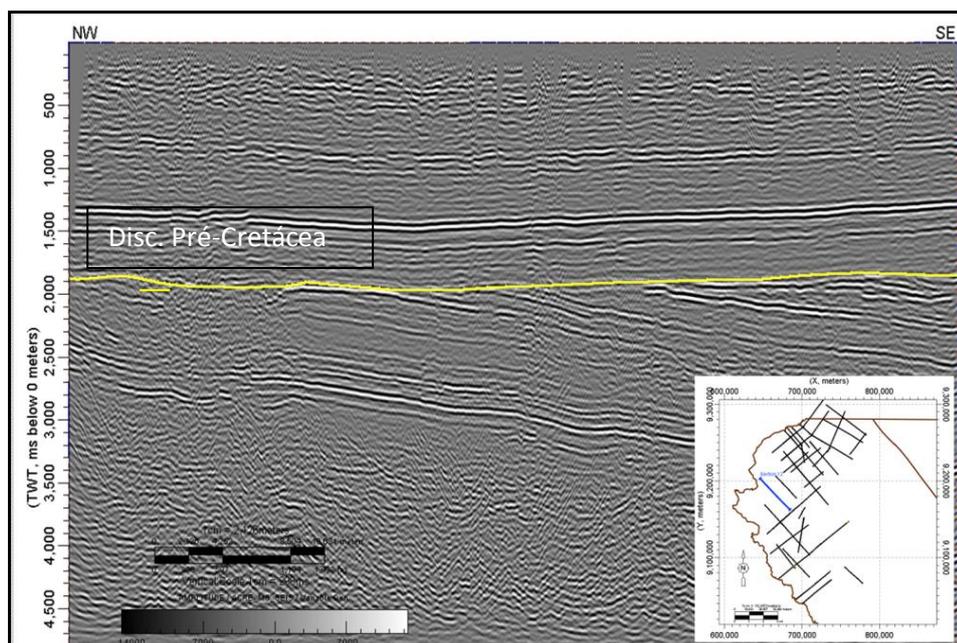


Figura 26: Discordância Pré- Cretácea (linha amarela). Linha 0040-0047.

Zalán (2004) criou um cenário geotectônico para o Neo-Jurássico da placa Sul-Americana, sendo, nesta época, a abertura do Atlântico Central, a qual implicou na ruptura entre a Laurásia e a parte meridional do Gondwana (África e América do Sul). Tal rompimento provavelmente segmentou o Escudo das Guianas em dois mega-blocos, ao longo das suturas, que originaram os riftes do Tacutu e Cassiporé/Marajó (Figura 27, áreas amarelas). A direção destes riftes sugere esforços causados por rotações anti-horárias destes dois blocos, cujas fricções com o Escudo do Brasil Central, por baixo das bacias paleozóicas (Figura 27, áreas verdes), teriam causado transpressão dextral dentro das Bacias do Acre e Solimões (intensa) e do Amazonas (fraca).

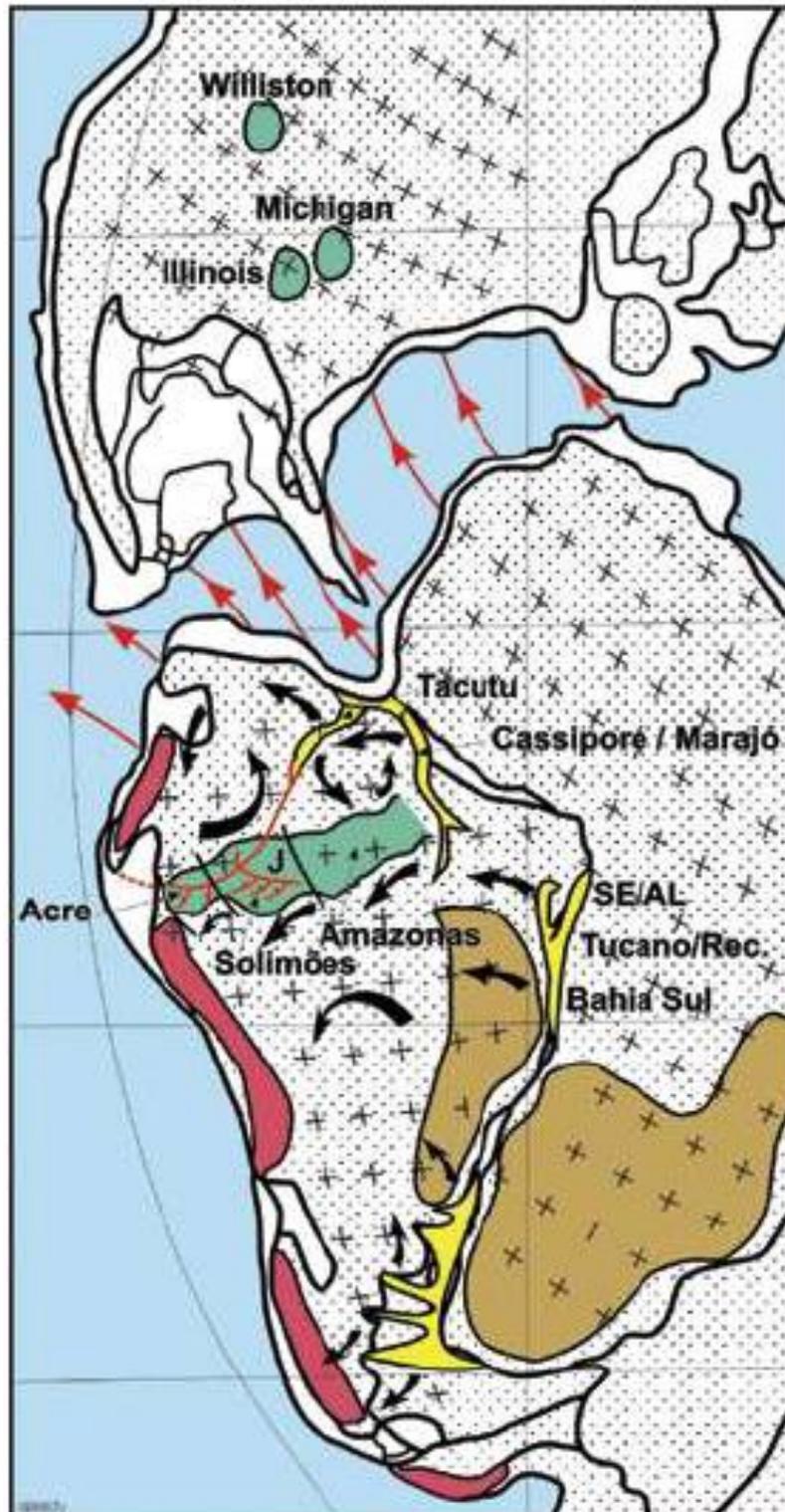


Figura 27: Cenário geotectônico sugerido para o Neo-Jurássico (cerca 140Ma) (ZALAN, 2004).

O Cretáceo na Bacia do Acre foi preenchido em regime de bacia de ante-país por sedimentos continentais e marinhos rasos. Estes sedimentos eram oriundos de soerguimentos causados pela orogenia Andina. Uma das fases desta orogenia,

chamada de Quechua, é especialmente importante, na Bacia do Acre, pois nesta fase foram geradas grandes dobras e falhas reversas com rejeito de centenas de metros, como, por exemplo, as expressivas falhas de Batã e Oeste Batã. Até os dias atuais, a contínua compressão sofrida na placa Sul-Americana causa o soerguimento da região no qual a bacia do Acre está localizada, sendo uma região tectonicamente ativa.

Zalán (2004) disserta sobre a evolução tectônica das bacias fanerozóicas brasileiras, na qual a Bacia do Acre se inclui (Figura 28). Focando nos eventos compressivos ocorridos, é dado destaque ao cinturão de dobramentos e cavalgamentos sub-andinos, que se estende da Argentina até a Venezuela. Este evento teve o seu desenvolvimento tectônico máximo nestes últimos 11 Ma, com reflexos na Bacia do Acre. Na Figura 26, observa-se a discordância pré-cretácea, originada pela Orogenia Juruá bem como falhamentos desde o embasamento até praticamente a superfície, associados aos vários eventos tectônicos e culminando com a Falha de Batã. Camadas de evaporitos, deslocadas para os anticlinais são previstas e poderiam ser entendidas como possíveis selos. Sotopostos à sequência Juro-triássica, verifica-se o a sequência deposicional permocarbonífera, possivelmente uma sequência devoniana e o embasamento, marcados por discordâncias e falhamento gerados pelas orogenias Eo-Herciniana, Neo-Herciniana

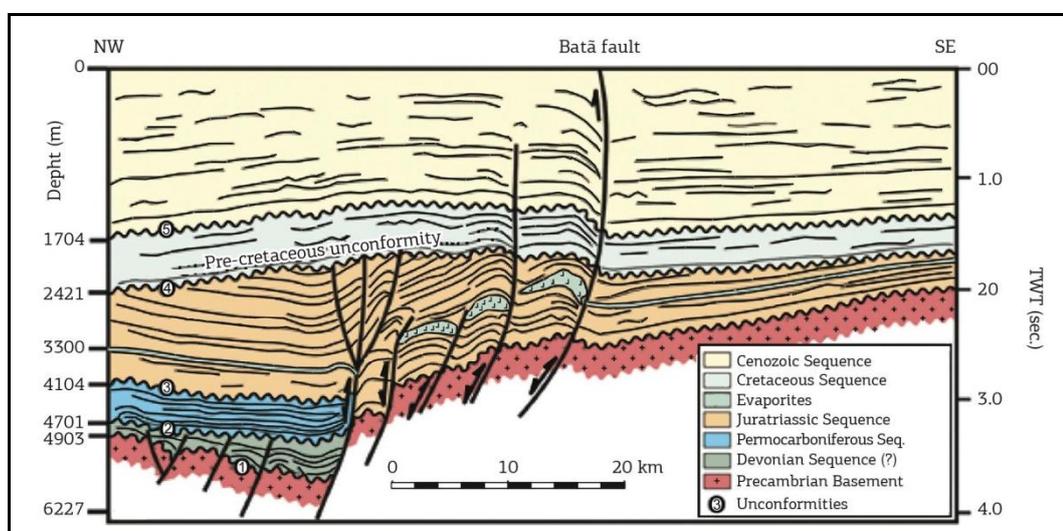


Figura 28: Desenho esquemático de seção geológica na bacia do Acre, ZALAN (2004)

3. Resultados

3.1. Interpretação Estrutural e Estratigráfica

Após a etapa de carregamento dos dados sísmicos e poços, seguido do controle de qualidade, a interpretação sismo-estratigráfica e estrutural no dado sísmico foi realizada. Assim, buscou-se analisar as principais terminações dos refletores e o rastreamento dos horizontes e falhas mais amplamente distribuídos na Bacia do Acre. Os mapas e seções sísmicas serão expostos a seguir.

No que se refere a interpretação sismo-estratigráfica o objetivo é identificar as principais feições, como: *onlaps*, discordâncias erosivas, entre outros. Já a interpretação estrutural visa compreender os estilos e geometrias presentes na bacia evidenciados nas principais camadas.

3.2. Estratigrafia

Como visto no item 2.1.2, a Bacia do Acre apresenta evolução estratigráfica complexa. Foi afetada por diferentes **ciclos** de tectonismo ao longo da sua evolução, o que resulta em terminações de diferentes naturezas nos refletores sísmicos. A aplicação das técnicas de interpretação sismo-estratigráfica à análise de bacias sedimentares resultou numa nova maneira de subdividir, correlacionar e mapear rochas sedimentares (DELLA FAVERA, 2001). A sismoestratigrafia é um método estratigráfico de interpretação de dados sísmicos, o qual permite uma melhor compreensão da evolução tectonosedimentar de uma bacia (RIBEIRO, 2001). **Foram** utilizados princípios da estratigrafia de sequências na interpretação das linhas sísmicas, que segundo o mesmo autor citado acima, permitem agrupar refletores sísmicos em pacotes que correspondem a intervalos geneticamente interligados.

3.2.1. Interpretação Estratigráfica

Nas seções sísmicas disponibilizadas para a Bacia do Acre, é possível identificar terminações/trucamentos de refletores, especialmente a grande discordância erosiva presente praticamente em todas as linhas sísmicas. Na sismoestratigrafia existem terminações clássicas de refletores (Figura 29) e nas seções sísmicas foram identificados algumas destas, principalmente: *onlaps*, *pinch outs* e superfícies de discordância (truncamentos) (Figura 26). Em relação as superfícies de discordâncias, em geral, são observadas fortes reflexões sísmicas, já que separam diferentes tipos de rochas com propriedades físicas e litológicas diferentes, causando diferença de impedância acústica.

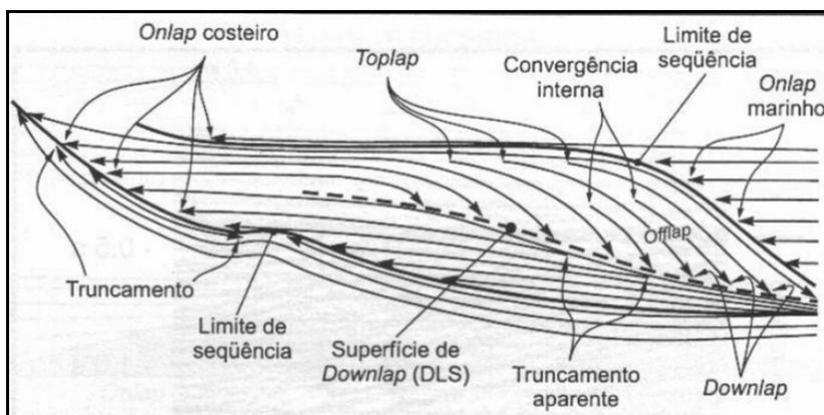


Figura 29: Ilustração exibindo terminações sismo-estratigráficas (RIBEIRO,2001)

A interpretação do conjunto de dados (linhas sísmicas 2D) permitiu identificar as principais unidades e estruturas que serão utilizadas neste trabalho. Na Figura 30 é exibida uma seção sísmica com as principais unidades e estruturas presentes na Bacia do Acre. A análise sismoestratigráfica iniciou-se com a identificação do embasamento da Bacia do Acre. O refletor sísmico do embasamento possui qualidade variável nas linhas sísmicas, em algumas é difícil determinar sua localização precisa, principalmente próximo às falhas de Oeste Batã e Batã. Sobre este refletor ocorrem *pinch-outs* e *onlaps* da unidade sobrejacente (Figura 29). Além disso, ocorrem falhamentos normais e mudanças no mergulho. As primeiras formações depositadas na Bacia do Acre encontram-se com **terminação em onlap contra o embasamento**, principalmente nas áreas em que o mesmo se encontra soerguido. Nas demais regiões são encontrados refletores plano-paralelos nas primeiras sequencias da bacia.

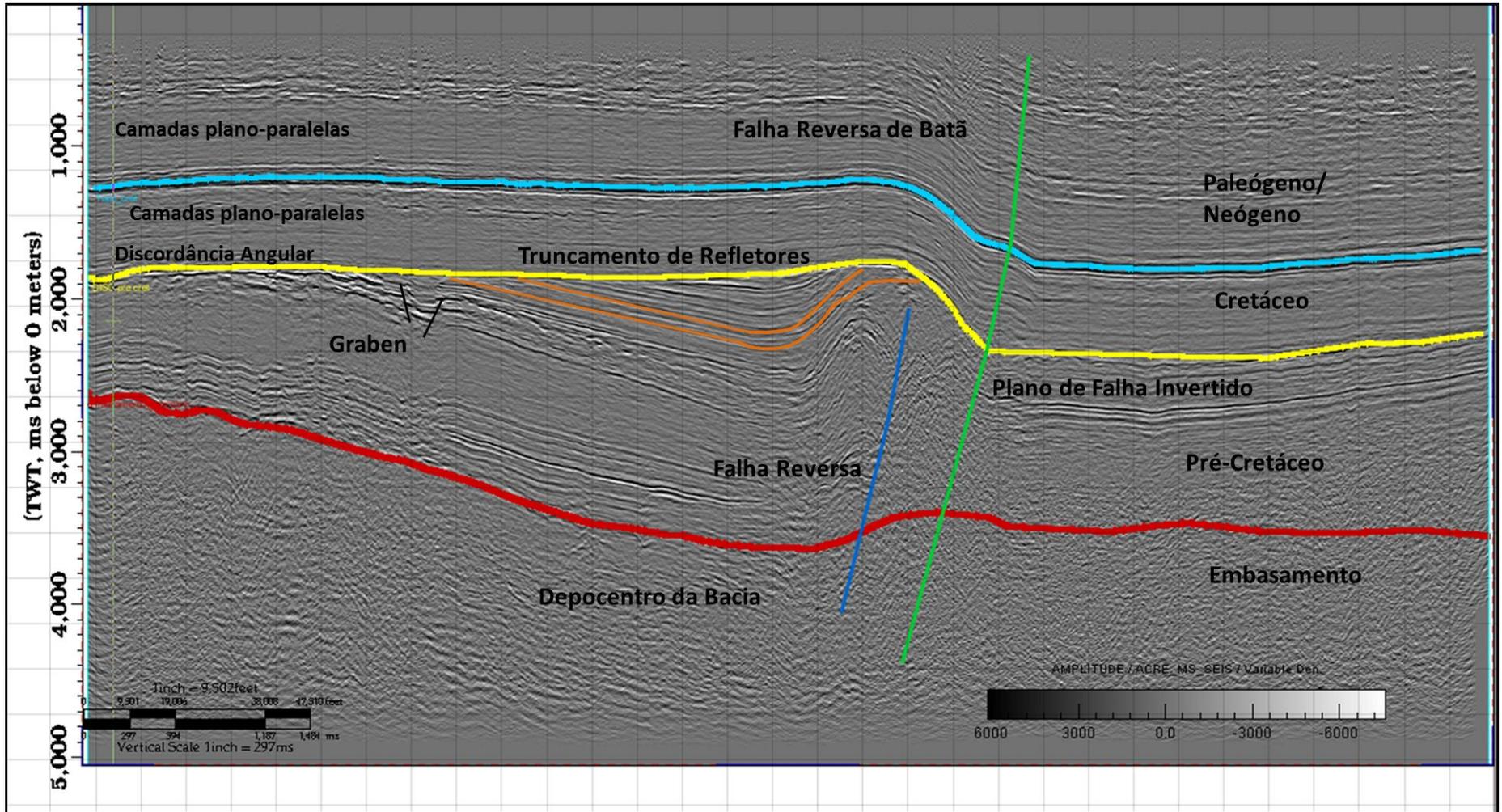


Figura 30: Seção sísmica interpretada mostrando as principais unidades e estruturas.

Na sequência Juro-Triássica ocorre um nível de evaporitos (Halita e Anidrita) que devido ao forte contraste de impedância, causa uma reflexão sísmica de fácil rastreamento (Figura 41). Principalmente na região da Falha de Batã ocorrem onlaps dessas camadas de sal sobre as rochas inferiores.

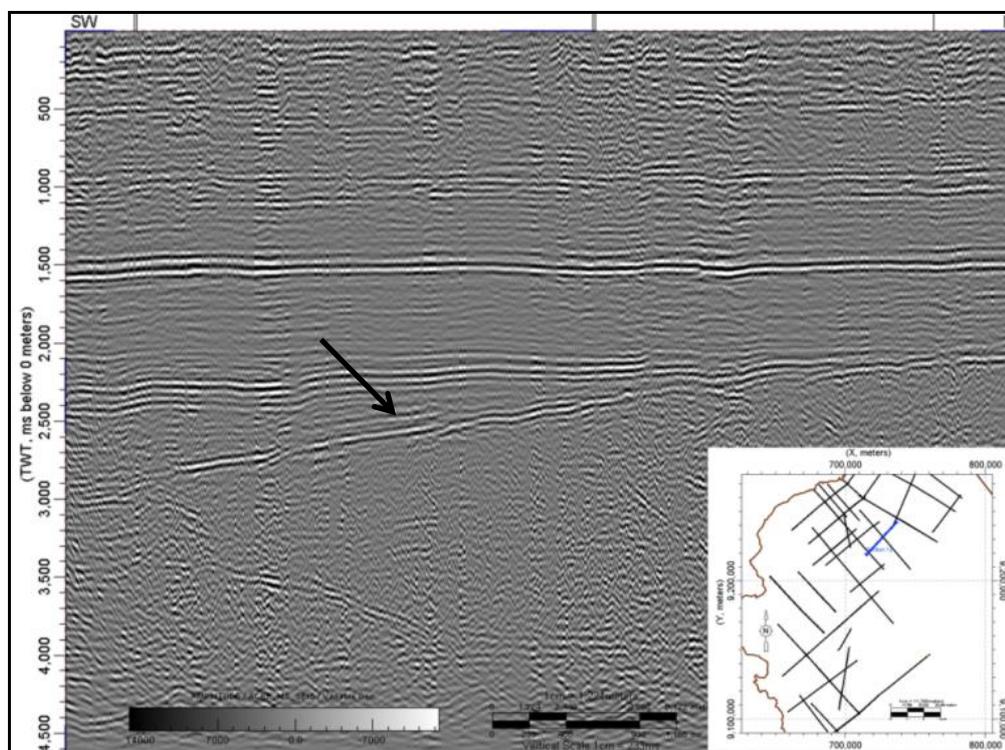


Figura 31: Unidade sobreposta ao embasamento sofrendo *pinch-out* . Linha 0054-038. A seta indica o embasamento.

Uma das feições mais importantes e claras na Bacia do Acre é a superfície de discordância angular Pré-Cretácea (Figura 32). Devido a sua reflexão sísmica forte seu rastreamento não é complicado de realizar. Os refletores cretáceos apresentam característica plano-paralelos com pouco contraste sísmico, provável pela homogeneidade litológica que basicamente consiste em clásticos (Figura 33). Possuem assinatura sísmica diferente dos truncados por essa superfície discordante. Devido ao pouco contraste e as reflexões plano-paralelas o reconhecimento de feições sismo-estratigráficas é dificultada. Segundo Oliveira (1994) esta discordância possui um caráter regional, afetando as bacias fanerozóicas desde o oriente peruano até a Bacia do Amazonas.

As camadas depositadas sobre o Cretáceo (Neógeno e Paleógeno) na Bacia do Acre possuem assinatura plano-paralela e com pouco constraste de impedância. Também é uma sequência regional, sendo encontradas na região Amazônica e em bacias Peruanas. Toda sequência foi afetada pela última fase da orogenia Andina (Quechua - Plioceno).

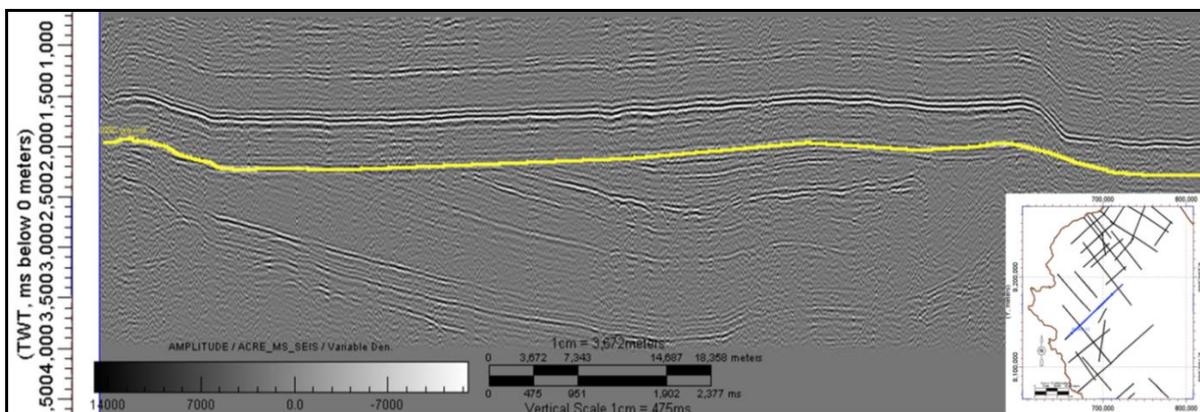


Figura 32: Superfície de Discordância Pré-Cretáceo (horizonte amarelo). Linha 0031-178.

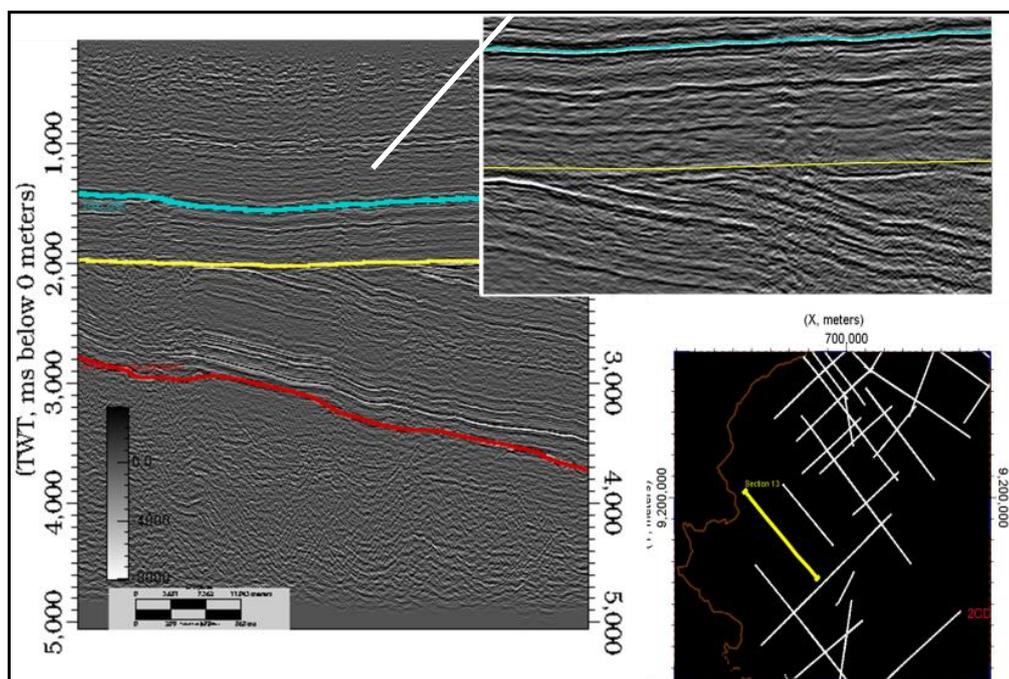


Figura 33: Destaque para refletores Cretáceos plano-paralelos e refletores basculados das formações sotopostas sendo truncados pela discordância angular.

3.3. Interpretação Estrutural

Com base nos dados sísmicos (seções 2D) foram realizadas as interpretações estruturais dos principais eventos observados na Bacia do Acre. Foram interpretados três horizontes regionais (Embasamento, Discordância Pré-Cretácea e Topo do Cretáceo) e as principais falhas presentes no dado sísmico, além de estruturas menores como os evaporitos e as intrusões de rochas ígneas (Figura 34).

Na análise de bacias sedimentares o estudo do comportamento do embasamento é de suma importância para entender o padrão de deposição e a evolução tectônica da bacia. Assim, o embasamento da Bacia do Acre, interpretado inicialmente em trabalhos de campo na região da Serra do Divisor (PAMPLONA, 1971) foi também investigado nos poços perfurados na busca por petróleo.

A interpretação do embasamento é dificultada pela baixa qualidade do sinal sísmico em algumas áreas da Bacia do Acre, muitas vezes com pouca continuidade e presença de ruído, principalmente próximo às falhas de Batã e Oeste Batã, além das regiões com intrusões ígneas. Para isso, foram aplicados filtros com objetivo de mitigar, ou pelo menos diminuir o efeito do ruído no dado (Figura 8). Foi aplicado também um atributo sísmico estrutural de descontinuidade (Figura 35) para guiar na interpretação do embasamento, juntamente com os poços que alcançaram tal profundidade. Como o intra-embasamento não possui continuidade nos refletores, essa região se comporta com total “descontinuidade” no atributo citado. Com isso, o primeiro refletor com continuidade nesse atributo auxiliou na interpretação do topo do embasamento. Como dito acima, o embasamento foi descrito em trabalhos de campo na região da Serra do Divisor. Nas linhas sísmicas, complementando esta informação, observa-se que o embasamento se encontra soerguido (Figura 31), sendo esta, a área em que o mesmo se localiza mais raso na bacia, chegando a aflorar em certas regiões, provavelmente pela maior incidência da erosão Pré-Cretácea que erodiu centenas de metros de sedimentos e rochas.

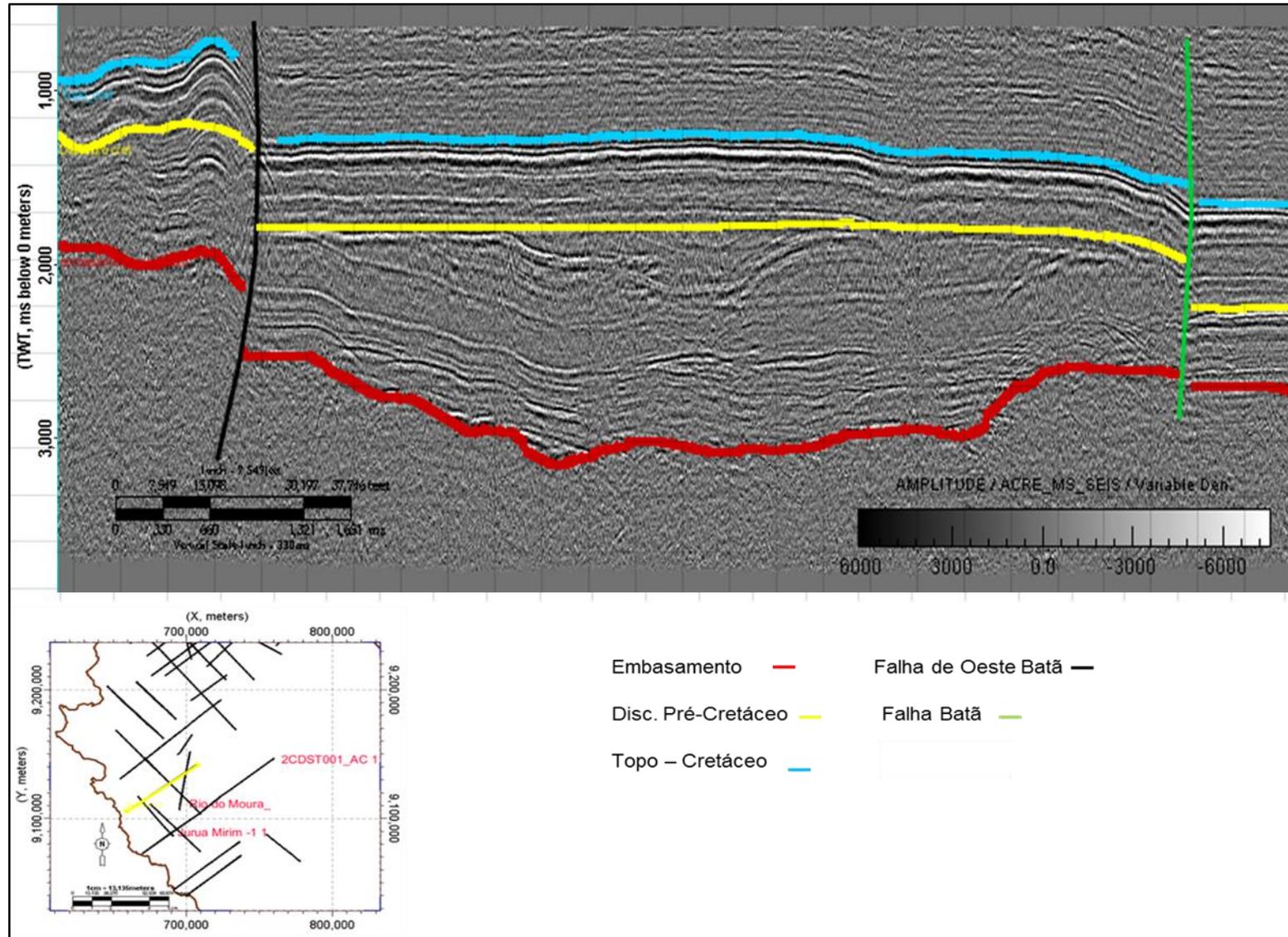


Figura 34: Falhas e Horizontes interpretados.

O horizonte do embasamento interpretado (Figura 34 e Figura 35) foi interpolado e com isso foi gerado o seu mapa (Figura 37). Para isso, foi preciso aplicar um *grid* para interpolar os dados. Devido ao grande espaçamento entre as linhas sísmicas, as informações entre as mesmas são menos confiáveis do que nas linhas interpretadas em si, porém ajudam na interpretação em planta e em 3D, sendo assim, válidas para melhorar o entendimento da deposição dos sedimentos na bacia, além da identificação de estruturas. Para transformar o dado originalmente interpretado em *TWT* (cap.1.5) foi utilizado o modelo de velocidade para transformar o dado original para *TVD* (*True Vertical Depth*), o mesmo procedimento foi feito para todos os horizontes e falhas interpretados.

As principais estruturas observadas no embasamento são um conjunto de falhas normais de direção NNE, praticamente verticais, pequeno rejeito e mergulho para oeste. O embasamento se comporta de maneira diferente a oeste (área 1) e leste (área 2) da falha de Batã. O bloco oeste (área 1) é altamente estruturado, possui um baixo estrutural com até 8 mil metros de profundidade e é bordejado pelas falhas reversas de Oeste Batã (Serra do Divisor) e Batã. Essa região é provavelmente a mais profunda da bacia do Acre, podendo ser considerada o seu depocentro. Este baixo estrutural pode ser interpretado como um meio-gráben alongado de dimensões regionais, 50 km x 150 km, de direção NE-SW. Na região leste (área 2) o embasamento apresenta menor estruturação e com mergulho suave para oeste.

O sistema de falhas que compreende a Falha Oeste de Batã, no oeste da bacia do Acre, de direção aproximada SE-NW, é constituída por dobramentos associados a falhamentos reversos de grande rejeito. Estes falhamentos causaram soerguimento em todo pacote sedimentar e embasamento, deixando este horizonte em cotas entre 300 e 400 metros, sendo a região mais rasa que o embasamento foi interpretado nas linhas sísmicas.

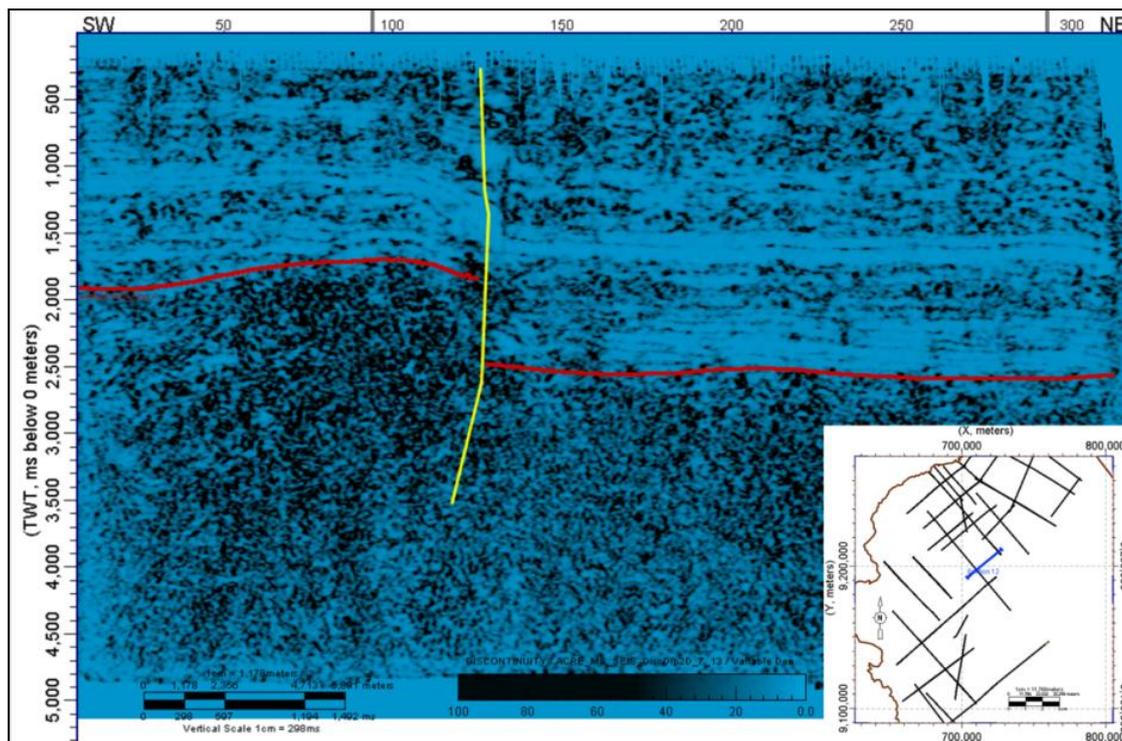


Figura 35: Atributo de Descontinuidade Estrutural aplicado no dado sísmico da Bacia do Acre. Linha 0040-046. As áreas pretas indicam maior descontinuidade. Em amarelo destaca-se a falha de Batã.

Outro horizonte importante a ser destacado é a discordância Pré–Cretácea que, além de abranger praticamente todas as linhas sísmicas presentes neste trabalho, é de fácil identificação nas seções. É uma discordância angular expressiva, propiciando exemplos muito claros, em seções sísmicas, correspondendo ao início da deposição dos sedimentos cretáceos na Bacia do Acre, que foram depositados discordantemente em relação aos anteriores, que se apresentam basculados (ver Figura 32, Figura 33 e Figura 34). Segundo Oliveira (1994), a discordância Pré–Cretácea foi um evento regional que se estendeu desde as bacias Fanerozóicas Peruanas até a Bacia do Amazonas.

Para gerar o mapa estrutural desta superfície (Figura 38), foram aplicados os mesmos procedimentos utilizados no horizonte do embasamento. Observam-se dois blocos separados pela Falha de Batã. São identificados rejeitos de centenas de metros associados com estes falhamentos reversos de alto ângulo. Nesta superfície observa-se o bloco baixo da Falha de Batã, localizado a leste da falha. A oeste observa-se o bloco alto da falha de Batã. A seção cretácea na Bacia do Acre possui pouca variação de espessura em sua extensão, tendo média de 645 metros (Figura

39). As principais feições mapeáveis no nível deste horizonte, são relacionadas aos rejeitos criados pelas falhas de Batã e Oeste Batã.

Como as linhas sísmicas apresentam distâncias na ordem de quilômetros umas das outras, chegando a 30 km, para gerar o mapa interpolado, é preciso gerar um grid de menor detalhe, com isso, é utilizado um tamanho de célula maior para adequar ao espaçamento das linhas. Por esse motivo, a região não englobada pelo dado sísmico pode sofrer algum tipo de alteração estrutural, porém é válido construir estes mapas para obter uma visão regional das superfícies mapeadas. Na Figura 36 é exibida a localização das linhas que serviram como base para a geração dos mapas que serão mostrados a seguir.

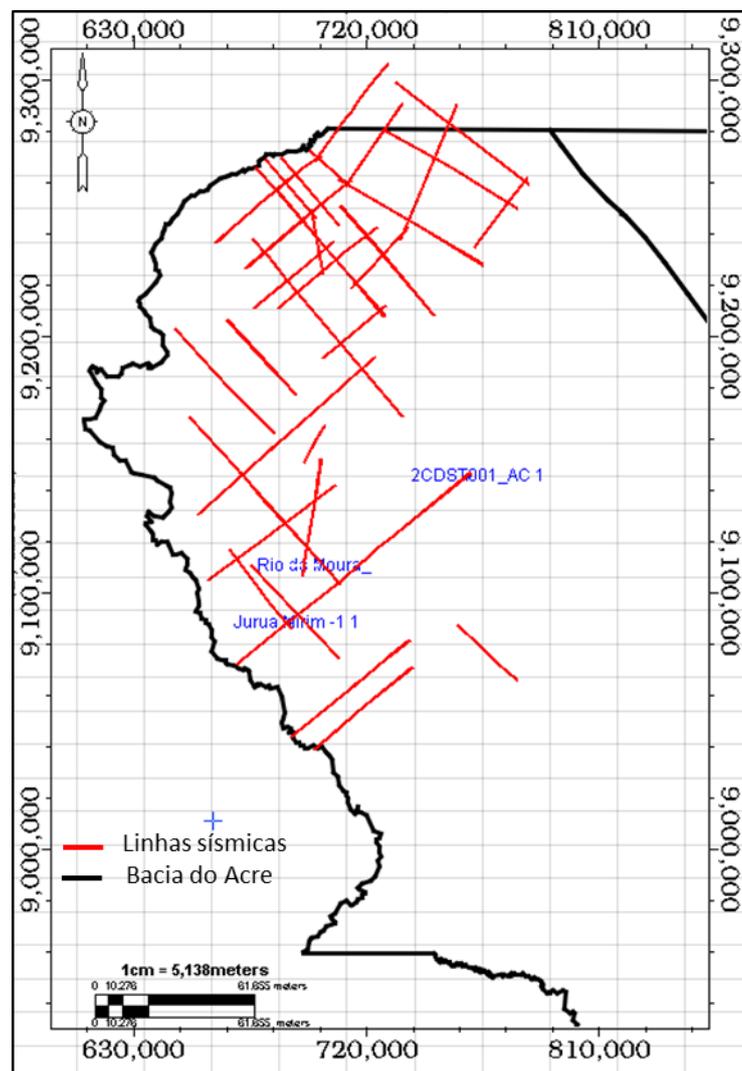


Figura 36: Espaçamento entre as linhas sísmicas - impacto no grid.

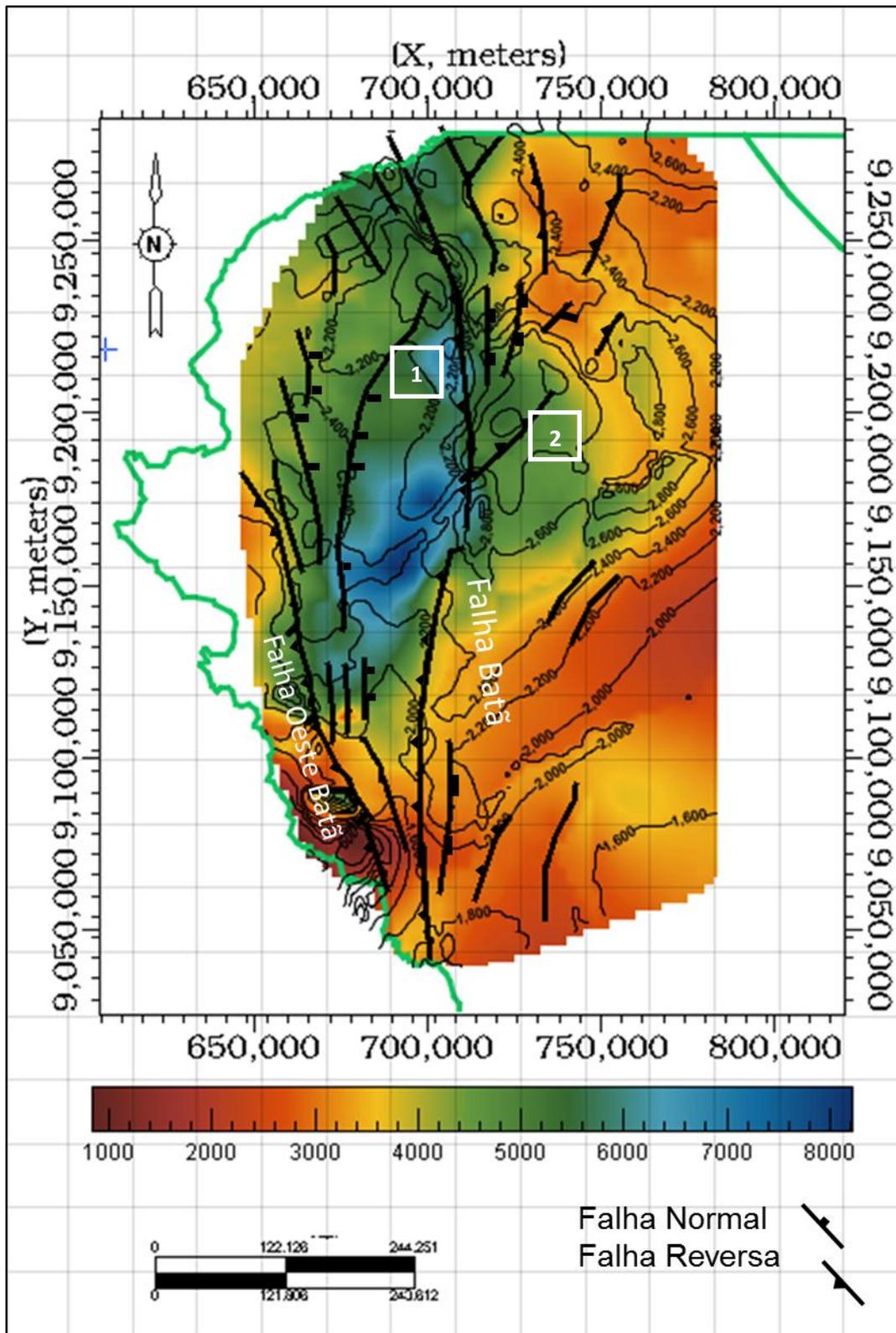


Figura 37: Mapa estrutural em profundidade (metros) do embasamento da Bacia do Acre. As áreas 1 e 2 são discutidas no texto.

Esta discordância se formou entre o Neojurássico e o Eocretáceo, período no qual ocorreu um significativo soerguimento na região das bacias sub-andinas, além das bacias do Solimões e Amazonas, devido ao início da subducção da Placa de Nazca sob a Plataforma Sul-Americana, momento em que a Bacia do Acre transformou-se em bacia de ante-país (OLIVEIRA, 1994). Como resultado deste soerguimento, deu-se a erosão de centenas de metros de sedimentos, o que gerou uma expressiva discordância angular, muito marcante nas seções sísmicas. O próximo ciclo de deposição, Cretáceo-Paleógeno, caracteriza-se por sedimentos continentais, oriundos das zonas altas geradas pela orogenia Andina.

A seção Cretácea-Paleógena na Bacia do Acre (ver Figura 34) é menos estruturada do que as sequências anteriores. São identificadas as duas grandes falhas, Oeste Batã e Batã, porém outros falhamentos são menos comuns. O horizonte interpretado refere-se ao topo do Cretáceo (Figura 34). No mapa pode-se observar que as falhas reversas afetam fortemente esta sequência gerando rejeitos de centenas de metros (Figura 40).

Com os horizontes acima citados mapeados, iniciou-se a interpretação das falhas. A sísmica de reflexão permitiu interpretar falhas em subsuperfície, o que corroborou com os estudos de campo realizados no início do século XX. As principais falhas identificadas no dado são as falhas de Batã e Oeste Batã (Figura 34). Antes de comentar sobre estas importantes falhas, serão abordados outros grupos de falhas identificadas. Utilizou-se o atributo sísmico de descontinuidade estrutural para auxiliar na interpretação das falhas (Figura 9 e Figura 35).

Foram identificadas falhas normais de alto ângulo (Figura 34) que afetaram o embasamento e a seção Pré-cretácea. A principal observação é que com isso, foram criados baixos estruturais que geraram espaço para a deposição das primeiras camadas de sedimentos. Estas falhas são correlacionáveis com dois eventos distensionais sofridos na Bacia do Acre e discutidos por Oliveira (1994). Relacionados aos eventos compressionais que afetaram a Bacia do Acre, também se encontram estruturas como falhas reversas e dobras que atingem desde o embasamento ao topo desta seção e são truncados pela discordância Pré-Cretácea. Assim como as falhas normais, as reversas também são de alto ângulo e estão localizadas principalmente na região das falhas de Oeste Batã e Batã.

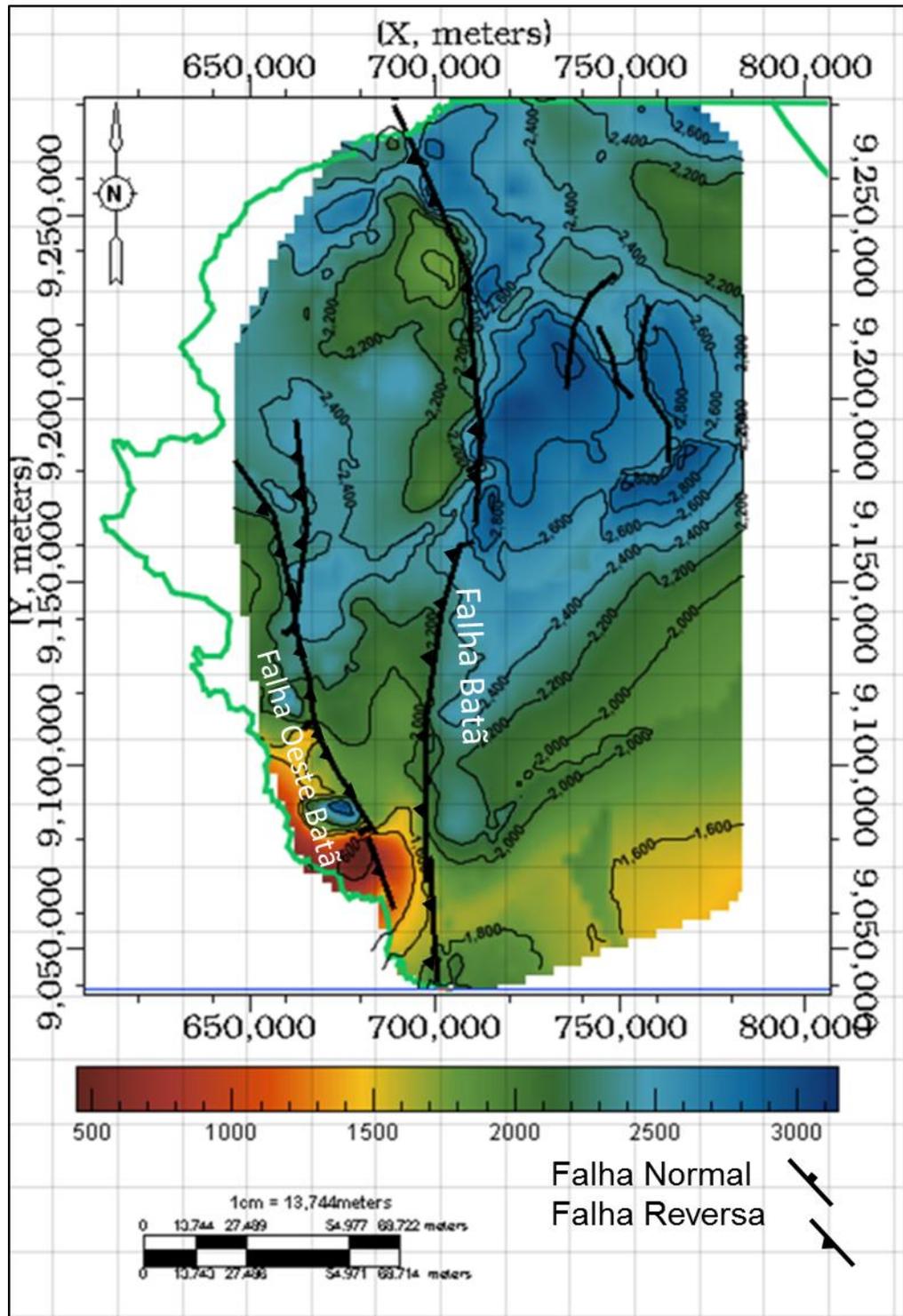


Figura 38: Mapa da Superfície Discordância Pré-Cretácea em profundidade. As linhas preta e amarela referem-se em planta às falhas Oeste Batã e Batã.

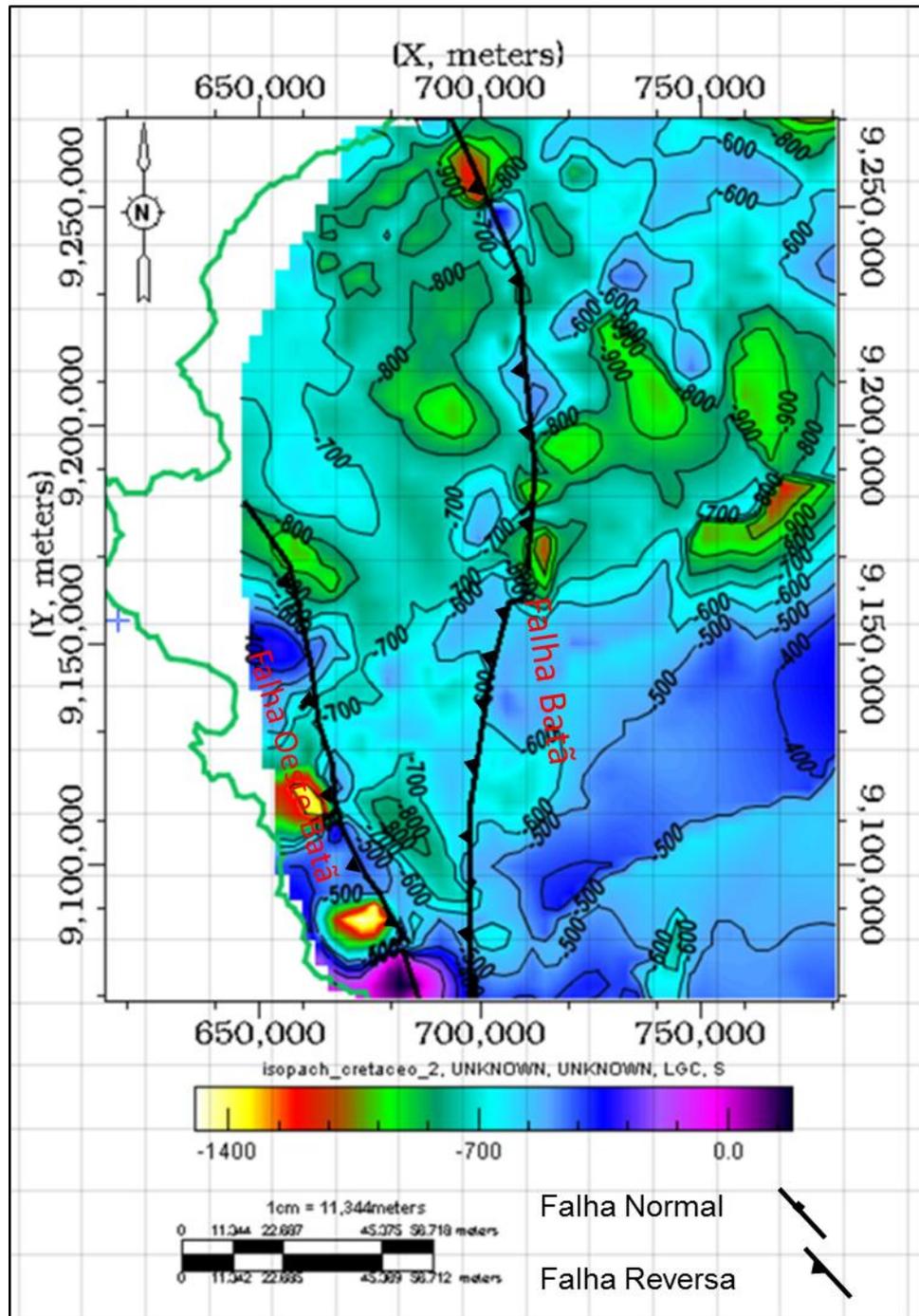


Figura 39: Mapa de isópacos do Cretáceo na Bacia do Acre. Média de espessura de 645 metros.

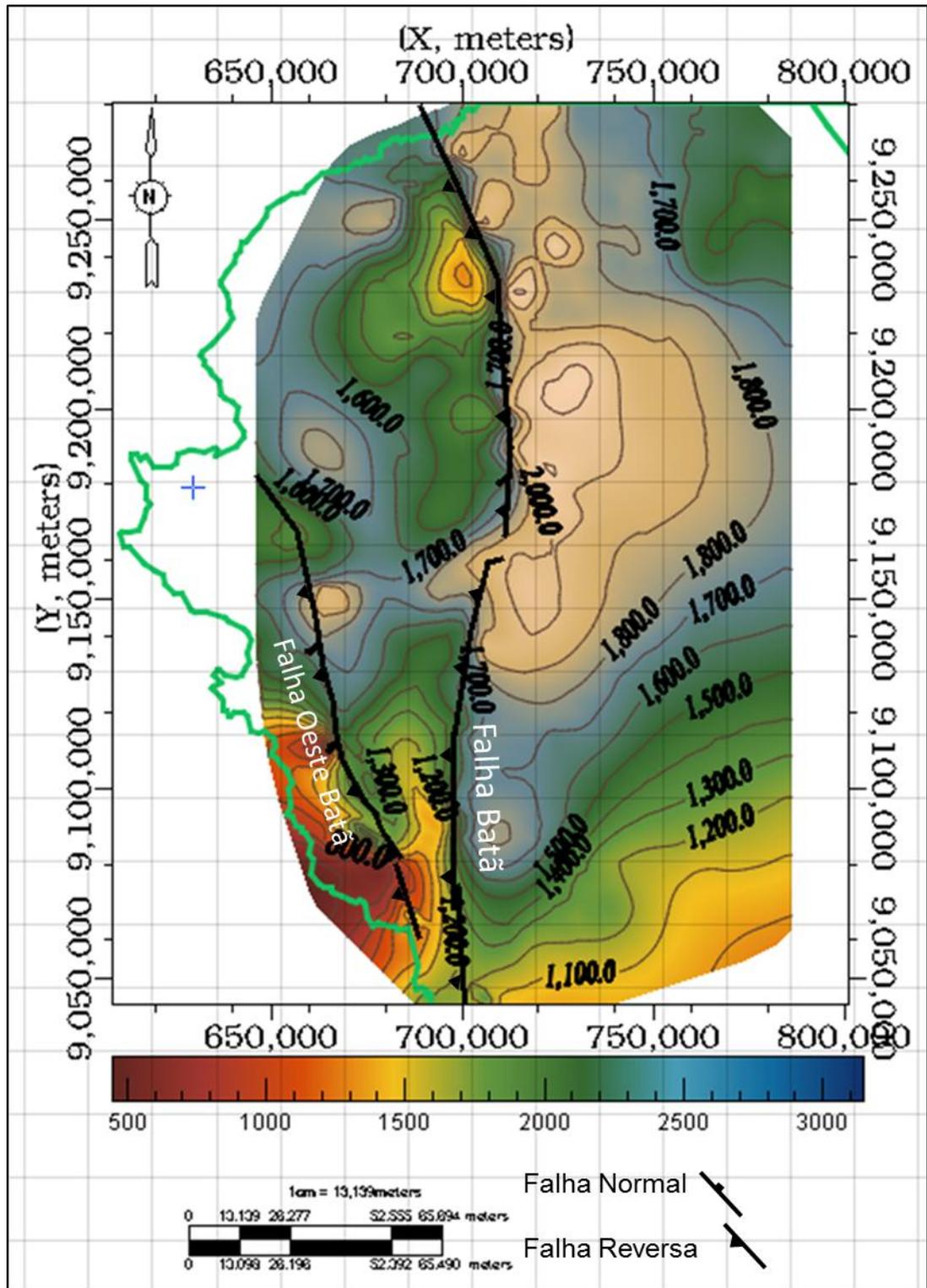


Figura 40: Topo do Cretáceo em profundidade na Bacia do Acre. As linhas preta e vermelha referem-se em planta às falhas Oeste Batã e Batã.

O evento compressional gerador da Serra do Divisor e as maiores e mais importantes falhas da Bacia do Acre, Batã e Oeste Batã, atua desde o embasamento até a seção Cretácea (OLIVEIRA, 1994). Estas duas falhas apresentam alto ângulo, direção N-S, cerca de 250 quilômetros de extensão e rejeito de centenas de metros, em algumas linhas chegando a 1.000 metros (Figura 34). A falha Oeste de Batã especificamente, acompanha os anticlinais pertencentes à Serra do Divisor. Esta relação será melhor entendida com as imagens de elevação digital de terreno que serão exibidas no capítulo 4. Também são descritas falhas e fraturas com direção aproximada NNE-SSW com rejeitos normais ou direcionais, predominantemente dextrais (BARROS *et al.*, 1977 in OLIVEIRA, 1994). As falhas de rejeito direcional são descritas como interrompendo as falhas reversas principais e influenciando na direção dos cursos dos rios (CUNHA, 1973; BARROS *et al.*, 1977 in OLIVEIRA, 1994).

A Falha de Batã corresponde a uma megaestrutura, reativada compressivamente ou distensivamente em diferentes pulsos tectônicos, sendo o último, a fase Quechua da Orogenia Andina, com reflexos em superfície, como será visto mais à frente. Estas estruturas N-S teriam estado ativas desde, pelo menos, o Eo-Mesozóico, ora como deformadoras, ora como controladoras da deposição do pacote sedimentar (OLIVEIRA, 1994). Um fator comum destas falhas, é que ambas aproveitaram zonas de fraqueza criadas por falhamentos normais ou reversos anteriores para instalação dos esforços compressionais. Com isso, ao longo de um mesmo plano de falha observam-se rejeitos normais e reversos, fator comum em bacias multicíclicas. O rejeito destas falhas não é constante ao longo de sua extensão na Bacia do Acre. Algumas linhas apresentam uma quebra abrupta com centenas de metros de rejeito, já em outras essas transições são mais suaves, associados a sobras assimétricas (Figura 32).

Outros tipos de estruturas são mapeáveis na Bacia do Acre. Como exemplo, estruturas referentes à movimentação de camadas de evaporitos e a intrusão de rochas ígneas. Nos poços Rio-do-Moura e Juruá Mirim (ver Figura 4) foram encontradas camadas de evaporitos (Halita e Anidrita) intercalados com clásticos, principalmente arenitos e siltitos.

No poço Rio do Moura, a espessura da camada de evaporitos foi 240 metros, sendo halita a rocha predominante. Este intervalo localiza-se no pacote sedimentar pré-cretáceo, que sofreu sucessivas deformações compressivas e distensionais. É esperado que o sal por suas características litológicas (plasticidade) sofra deformações, como por exemplo, migração para o topo de anticlinais. Para identificar estas camadas mais precisamente no dado sísmico, foi plotado em seção o poço com a litologia correspondente (Figura 41 e Figura 42) e realizado a interpretação desta camada.

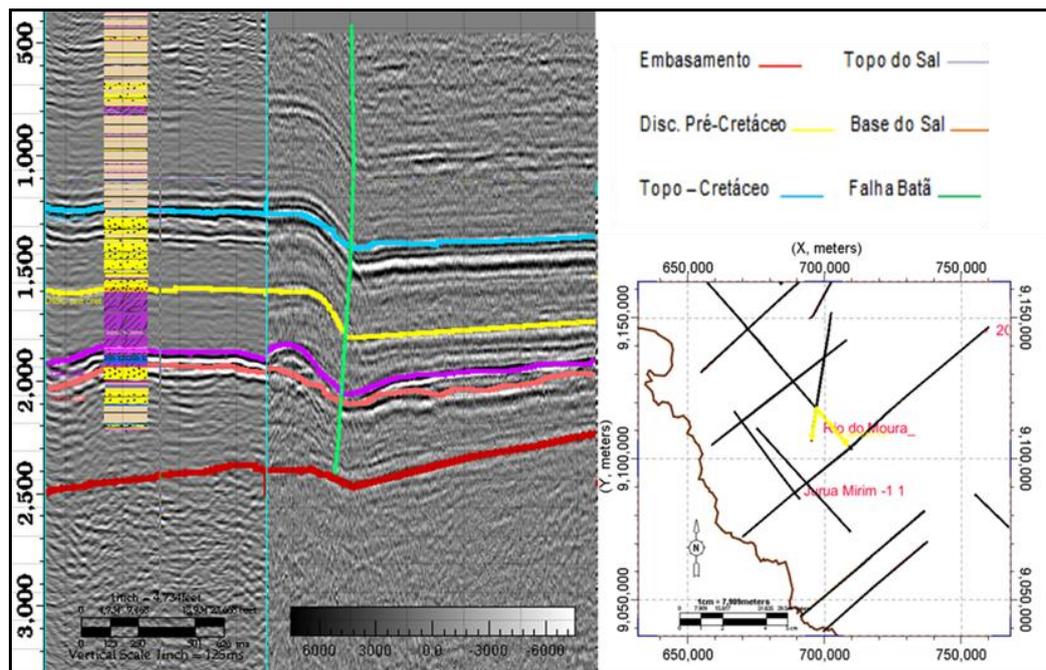


Figura 41: Rastreamento da camada de sal. Linhas 0040-051 e 0031-183.

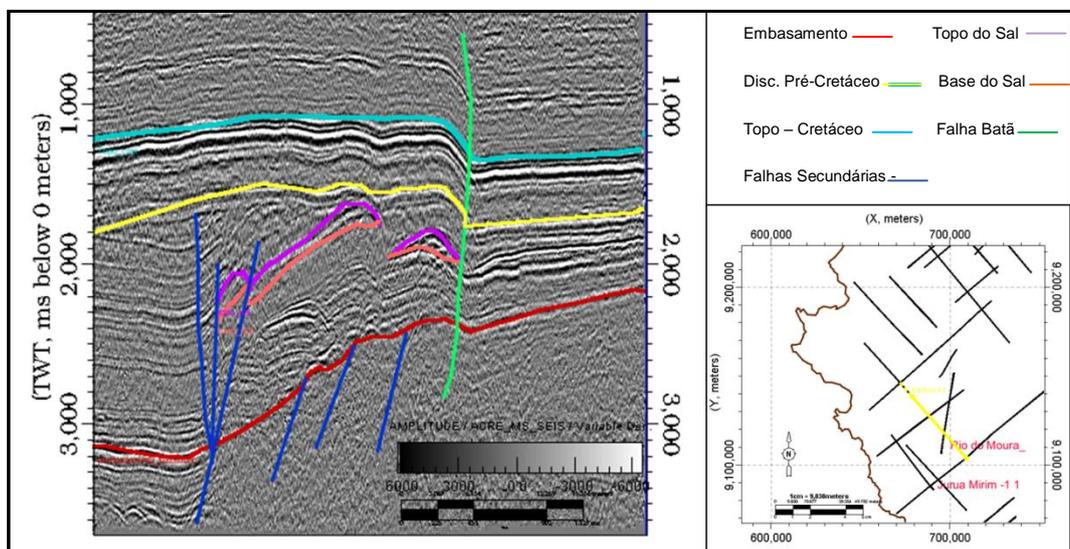


Figura 42: Movimentação do sal. Linha e 0031-183.

As intrusões ígneas ocorrem na seção Pré-Cretácea, em forma de *stocks* e são truncadas pela discordância no topo dessa sequência. Na Figura 43 é visto uma linha sísmica com a interpretação da intrusão e na outra sem interpretação, assim podendo observar seu impacto nos refletores. O evento intrusivo é representado por uma rocha alcalina, de idade K/Ar de 194 ± 12 Ma (MIZUSAKI e SARA CCHINI, 1981 in OLIVEIRA, 1994). O sinal sísmico próximo a intrusão é prejudicado, devido a diferença de velocidade, e os refletores perdem continuidade sendo interrompidos de maneira abrupta.

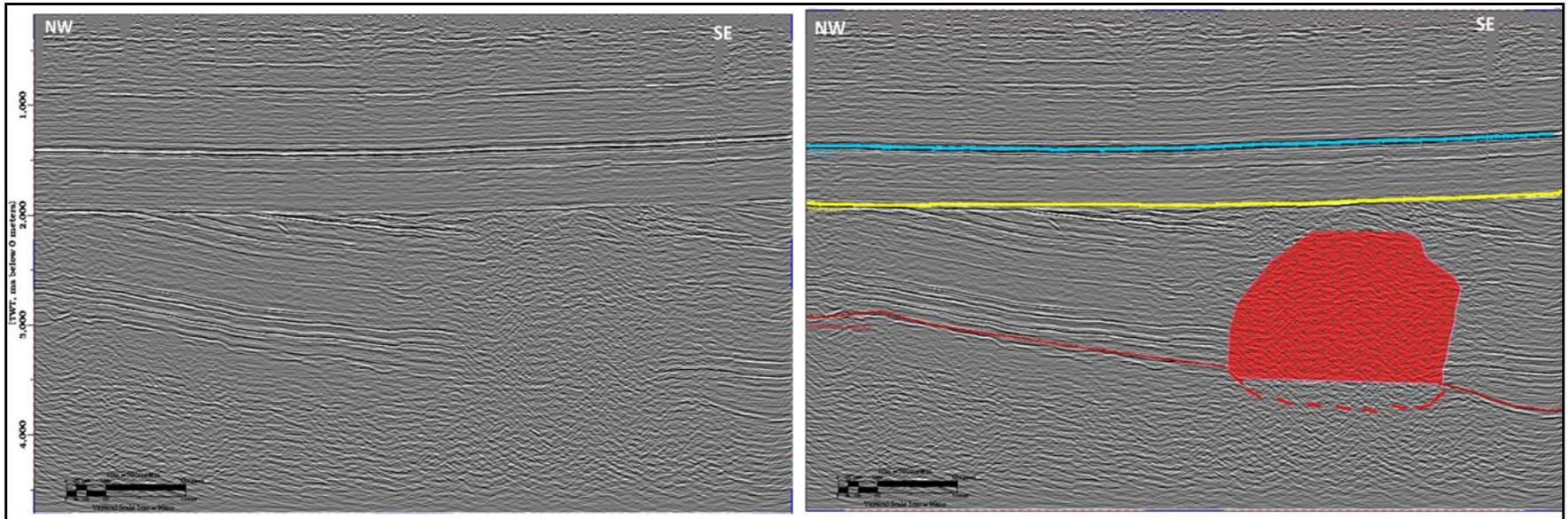


Figura 43: Linha Sísmica mostrando intrusão ígnea. A esquerda linha não interpretada e a direita com a intrusão e principais horizontes interpretados. Figura 44: Mapa de Localização da linha da Figura 40.

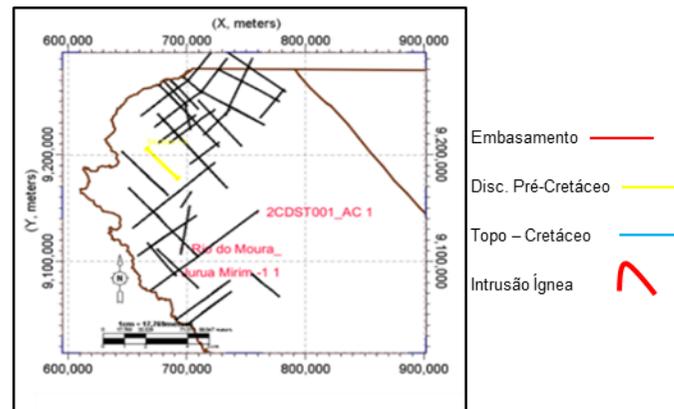


Figura 45: Mapa de Localização da linha sísmica 0040-49

4. Análise Estrutural por Sensoriamento Remoto

O presente trabalho busca encontrar correlações e identificar estruturas, tanto na superfície quanto em subsuperfície na Bacia do Acre. Para isso, devido à pequena quantidade de dados disponíveis para tal área, foi entendido que é necessário utilizar outras fontes que possam contribuir no conhecimento regional, não se limitando às linhas sísmicas (2D), que acabam sendo muito locais comparadas ao tamanho da bacia. A possibilidade de identificar estruturas de grande expressão é um recurso rápido e barato na avaliação das bacias sedimentares quando se utilizam as técnicas do sensoriamento remoto.

Nesse contexto, torna-se importante o estudo da neotectônica, ao definir movimentos da crosta, com influência na formação da topografia contemporânea. Segundo Gomes Neto (2007), é um campo de conhecimento interdisciplinar, dentro da Geologia, englobando dados e métodos da Geologia Estrutural, Geotectônica, Geofísica, Geomorfologia, Geotecnia, Geodésia Estratigrafia e Sensoriamento Remoto.

Existem diversos conceitos para neotectônica, porém os mais aderidos foram os que fizeram uma ligação e incorporaram os conceitos da teoria de Tectônica de Placas. Isso possibilita realizar uma comparação de estruturas profundas com as alterações no relevo atual, principalmente no que tange à reativação. A associação Internacional de Estudos do Quaternário (*International Union for Quaternary Research - INQUA*) em 1978, com objetivo de unificar o conceito de neotectônica, a definiu como:

"Quaisquer movimentos ou deformações da crosta ao nível geodésico de referência, sua caracterização por meio de seus mecanismos, sua origem geológica, suas implicações para vários propósitos práticos e geológica, suas implicações para vários propósitos práticos e suas extrapolações futuras. Os movimentos neotectônicos englobam o acervo de deformações rúptil ou dúctil de um período Neotectônico".

Segundo Berger (1994) os principais métodos empregados no estudo neotectônico são citados a seguir:

- a) estudo dos sismos atuais: permite a determinação das tensões aplicadas que estão atuando nas áreas sismogênicas;
- b) sensoriamento remoto: delimitação de alinhamentos de relevo, traçado da rede de drenagem, mapeamento de aluviões falhados, mapeamento de falhas;
- c) mapeamento morfotectônico: a morfotectônica estuda processos tectônicos que causam influência na paisagem.

Em relação à sismicidade, é comprovado que, devido à sua localização, a Bacia do Acre sofre impactos da contínua compressão sofrida pela placa Sul-Americana. Uma prova disto são os recentes sismos, localizados na região, principalmente na fronteira com o Peru. A região da Bacia do Acre é uma das que concentra os sismos ocorridos no Brasil (Figura 46). Observa-se o alinhamento de sismos profundos e de maior magnitude orientados na direção N-S, paralelo ao traçado da Falha de Batã (cf. Figura 14).

Essa zona sismogênica coincide com a faixa da sutura complexa do Acre/Serra do Divisor, que demarca a borda sudoeste do Bloco Juruá e movimentações tectônicas do Paleozóico, Mesozóico e Cenozóico (COSTA *et al.*, 1996). Estes sismos representam alívios de tensão, ao longo de descontinuidades pré-existent, reativadas ou formadas recentemente. Estes esforços recentes também ajudam a moldar a paisagem atual, podendo assim influenciar a trajetória dos rios e mudar estilos de canais. Segundo Rossetti e Mantelli (2009), a análise de propriedades da drenagem constitui um elemento de grande significado em estudos geológicos, podendo revelar importantes informações relativas ao contexto tectônico.

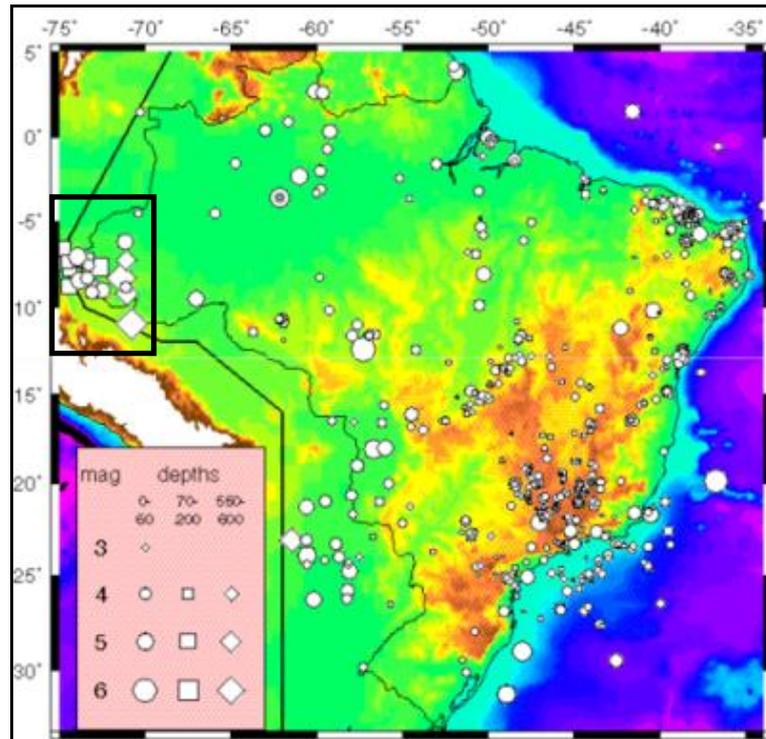


Figura 46: Catálogos de terremotos: IAG-USP (entre 1724 a 1995, magnitudes > 2.5). Destaque para a região do Acre (Centro de Sismologia da USP, 2017).

Segundo Berger (1994), as imagens adquiridas por sensoriamento remoto são uma excelente ferramenta de detecção para análises de estruturas geológicas, expostas ou não. Inicialmente, estas interpretações eram realizadas manualmente em fotografias aéreas, principalmente na busca por estruturas que poderiam indicar a presença de óleo e gás em bacias *onshore*, como também em estudos ambientais, urbanos, controles socioeconômicos etc.

Quando estruturas estão recobertas por vegetação, sedimentos ou rochas mais recentes, ainda assim, é possível reconhecê-las por sua influência, em alguns casos muito sutilmente, na topografia regional, drenagens, vegetação e solo. As falhas, em especial, produzem uma forte expressão linear na topografia, que, em geral, são reconhecidas nas imagens de satélite.

Em relação ao auxílio à pesquisa petrolífera, Berger (1994) discorre que a utilização do sensoriamento remoto se baseia em duas frentes. A primeira visa à detecção espectral de minerais oriundos de alterações diagenéticas decorrentes de processos de microexsudação de hidrocarbonetos. A utilização desta técnica requer que os sistemas sensores coletem informações da associação rocha/solo/vegetação, condição favorável em regiões com vegetação muito densa, como no caso da região

Amazônica. Já a segunda linha utiliza imagens de sensoriamento remoto com o objetivo de mapear feições estruturais como falhas, fraturas e dobras no pacote sedimentar.

Existem vários tipos de imagens de satélite, dentre elas os dados de elevação digital de terreno. Neste trabalho foram selecionadas imagens registradas pelo *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Esse grupo de imagens foi registrado a bordo do ônibus espacial Endeavour entre 11 e 22 fevereiro de 2000. Segundo Almeida Filho *et al.*, (2010), estas imagens consistiram na aquisição de dados de radar interferométrico (InSAR), através da utilização de um sistema com duas antenas, separadas por distância conhecida. Conhecendo-se as diferenças nos tempos de chegada do sinal proveniente de uma mesma área em cada antena, é possível obter um acurado modelo digital de elevação do terreno.

O objetivo da missão SRTM foi adquirir dados de altimetria de todo o globo terrestre, apesar de ainda existirem áreas não cobertas. Este tipo de sensor capta aspectos sutis da morfologia do terreno e da rede de drenagem, o que se torna muito interessante em regiões com pouca diferença de altitude que podem passar despercebidas em imagens convencionais. No SRTM *1Arc-Second*, os dados de elevação oferecem cobertura mundial com uma resolução de 1 segundo de arco (30 metros). **No presente trabalho**, o objetivo com estes modelos de elevação digital de terreno é interpretar os altos estruturais, falhas e a rede de drenagem. Segundo Gomes Neto (2007), a drenagem é uma das feições geomorfológicas mais sensíveis à movimentação tectônica. Com isso, os sistemas fluviais trazem muitas informações relevantes sobre o meio físico, uma vez que geralmente estão encaixadas em estruturas geradas por esforços de maior magnitude.

A análise da rede de drenagem, parte da premissa de que a paisagem atual reflete feições topográficas mais antigas. As feições estruturais identificadas a partir desses arranjos de drenagem consistem em identificar falhas indicadas por lineamentos de drenagem e estruturas cônicas, indicadas por padrões anelares ou radiais. Um exemplo ocorreu, segundo Almeida Filho *et al.*, (2010), no campo de Azulão na Bacia do Amazonas (Figura 47). Este campo localiza-se numa região na qual existe uma anomalia de drenagem cujo poço descobridor localiza-se no centro desta anomalia.

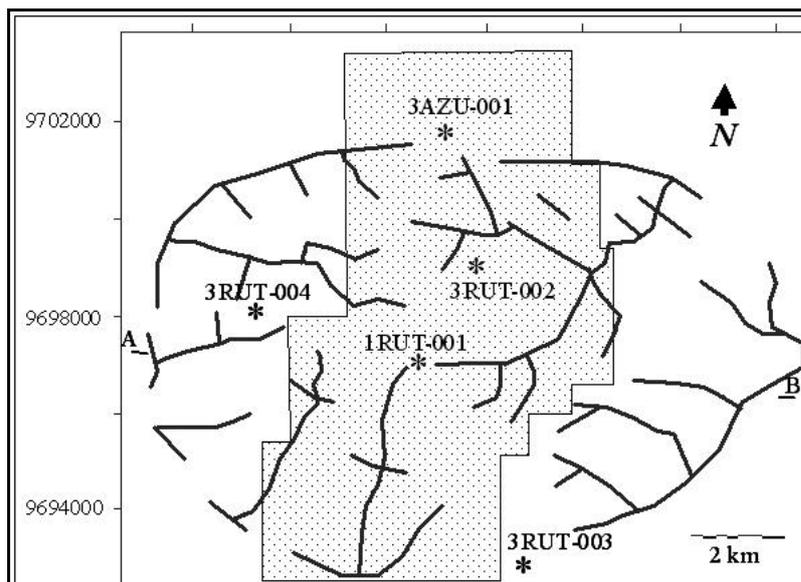


Figura 47: Poços do campo de Azulão sobrepostos na anomalia de drenagem (ALMEIDA FILHO et al., 2010).

Herwitz (1981) realizou estudos na Península de Osa, Costa Rica, na qual verificou que o padrão de drenagem das regiões tropicais, com profundo manto de intemperismo, não está relacionado com mudanças climáticas ou de vegetação, mas sim com a estruturação do embasamento geológico (falhas e fraturas). Nessa linha, a análise de rede de drenagem, não somente o estilo dos canais, como também a própria localização das mesmas, são informações importantes para o contexto estrutural da região na qual a Bacia do Acre se localiza.

O uso do sensoriamento remoto fornece um ajuda significativa em áreas com fisiografia complexa de difícil acesso, como é o caso da região Amazônica. Como é sabido, em imagens convencionais daquela região, a densa cobertura vegetal mascara feições sutis do relevo, limitando a interpretação. Existem diversos trabalhos que utilizaram técnicas de sensoriamento remoto nas Bacias do Solimões e Amazonas (ALMEIDA FILHO *et al.*, (2010), RIBEIRO *et al.*, (2009)) porém para a Bacia do Acre ainda foram poucos trabalhos publicados nessa linha.

4.1. Metodologia no uso das imagens SRTM

Para iniciar o fluxo de trabalho com as imagens SRTM, inicialmente é preciso montar o mosaico (Figura 48) das imagens e, em seguida, aplicar o mesmo sistema cartográfico para obter uniformidade (SIRGAS 2000 – UTM Zona 18-S). Nesta etapa foi utilizado o software QGIS 2.18.9. Um passo importante é verificar se há algum

segmento com valores fora do padrão, ou até mesmo sem valor algum. Os erros advindos dos dados do SRTM são denominados de “*sinks*” que, conforme Mendes e Cirilo (2001), caracterizam-se por áreas rodeadas por elevações com valores de cotas muito diferentes do padrão da região. O preenchimento dessas regiões é o primeiro tratamento realizado no dado (Figura). Foram escolhidas imagens que abrangem toda Bacia do Acre, parte da Bacia Solimões e da região de fronteira com o Peru para ter uma noção regional do comportamento das estruturas presentes

O algoritmo (*fill sinks* – QGIS 2.18.9) é aplicado no dado para evitar possíveis erros devido a quebras errôneas de relevo. Nesses casos, é feita uma interpolação para corrigir tais regiões. O algoritmo utiliza os valores de altitude dos *pixels* adjacentes para preencher estes “buracos”, gerando mapas mais consistentes. O histograma do dado (Figura 50) revela a distribuição dos valores, sendo o máximo 710 metros, média de 232 metros e mínimo de 110 metros de altitude. Percebe-se uma grande variação, já que engloba áreas planas em conjunto com Serras (Serra do Divisor). Na Figura 51 foi extraído um perfil de elevação do terreno (linha vermelha) que se estende desde terras Peruanas até a Bacia do Acre, passando pela Serra do Divisor e os blocos alto e baixo da falha de Batã. Neste perfil W-E observa-se elevações no território Peruano (1), chegando a 500 metros de altitude, estas Serras seriam semelhantes a Serra do Divisor. Adentrando na Bacia do Acre encontra-se a Serra do Divisor (2) com 677 metros de altitude, sendo maior elevação neste perfil e controlada pela falha Oeste de Batã. O perfil passa pelos blocos alto e baixo da falha de Batã (3), sendo 252 metros o ponto de maior elevação desta área.

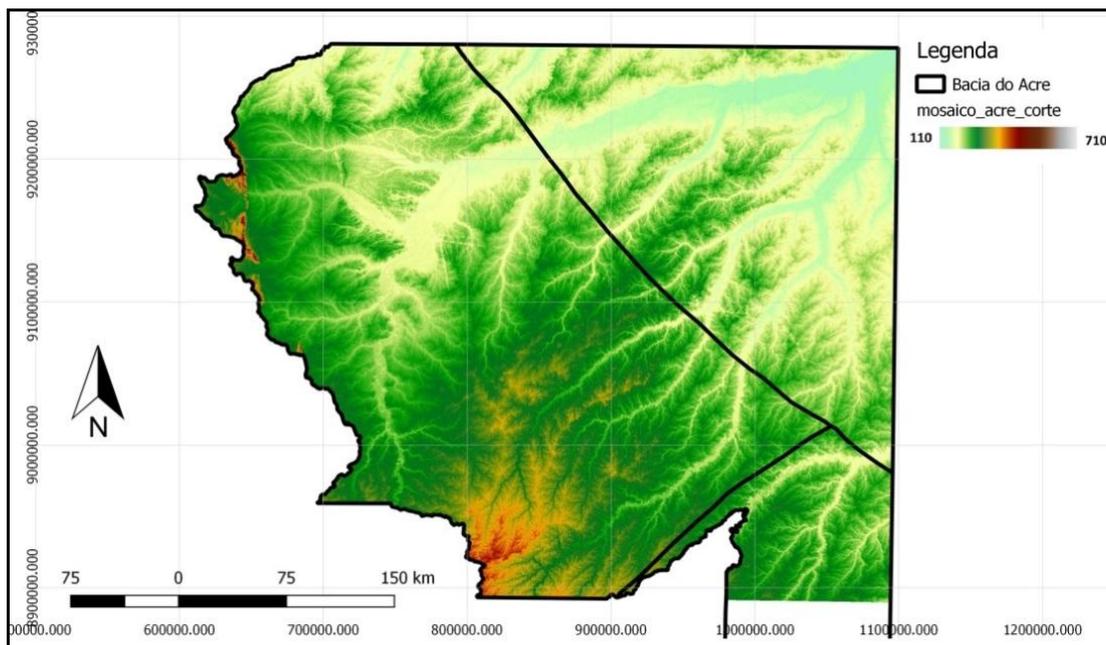


Figura 48: Mosaico das imagens SRTM para a área de Estudo. A linha preta representa o contorno da Bacia do Acre segundo definido pela ANP. A legenda indica a elevação do terreno. Sistema de coordenada UTM_SIRGAS 2000 – Zona 18S.

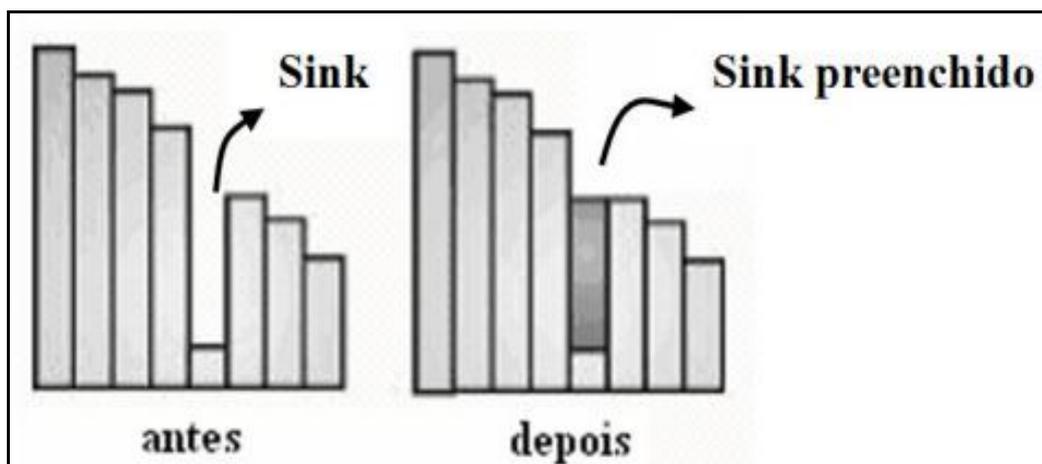


Figura 49: Correção do dado, preenchimento dos "sinks" (SOBRINHO ALVES et al., 2010).

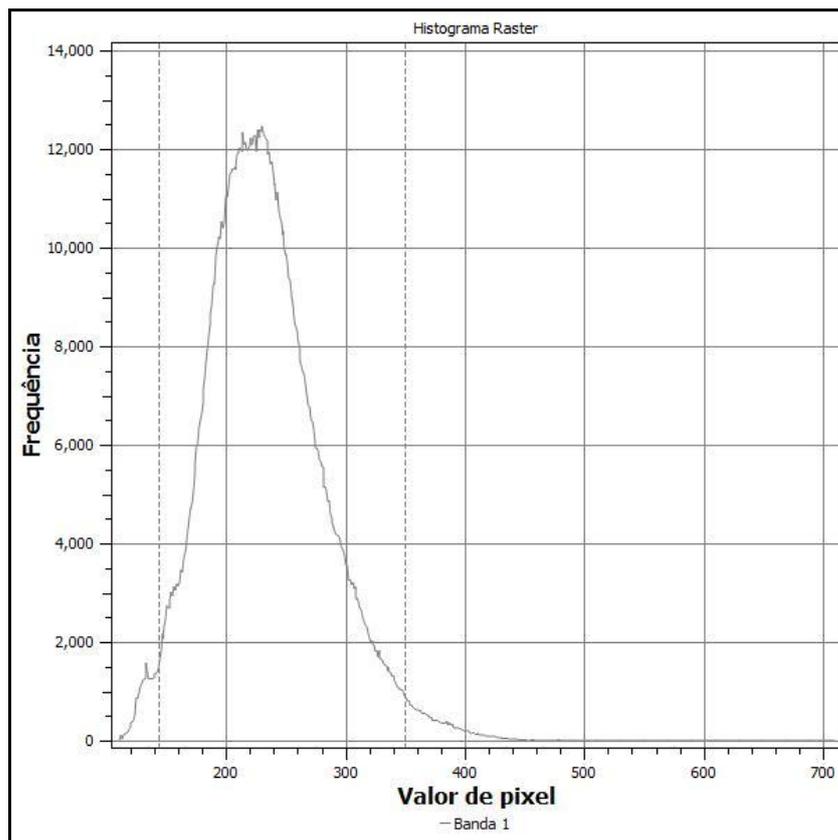


Figura 50: Histograma do mosaico SRTM da área estudada.

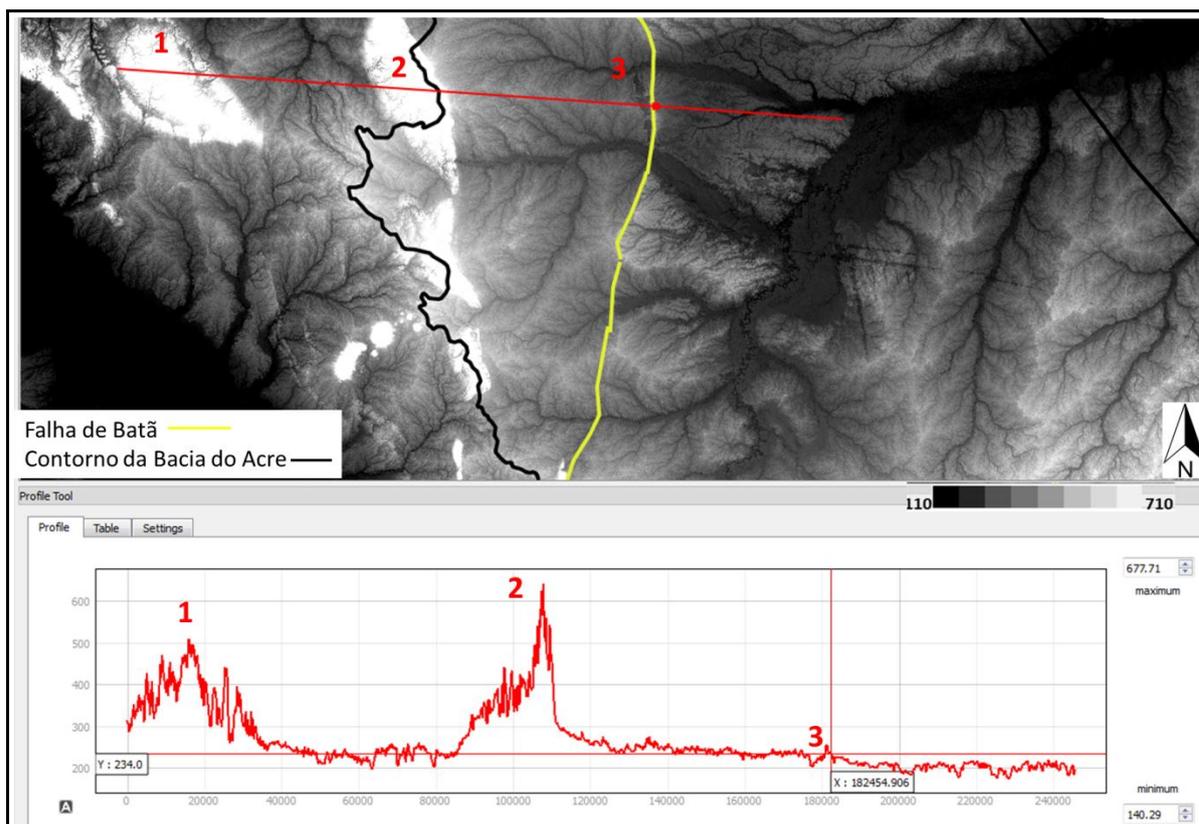


Figura 51: Perfil de Elevação no dado SRTM. A região 1 indica elevações em território Peruano. Em 2 a Serra do Divisor (Bacia do Acre) e em 3 a região da falha de Batã. Sistema de coordenada UTM_SIRGAS 2000 – Zona 18S.

Com base no mosaico citado, será realizada a análise estrutural na Bacia do Acre. Esta consiste na interpretação da rede de drenagem (padrões, estilos e anomalias), lineamentos e análise do relevo. A interpretação de falhas, altos estruturais e lineamentos ajudam no entendimento do comportamento morfotectônico da região.

4.2. Análise morfométrica

Segundo Almeida Filho et al. (2010), a interpretação da rede de drenagem pode fornecer pistas sobre feições estruturais inativas/ativas expostas ou não, em superfície. O aparente controle das anomalias de drenagem pelas grandes estruturas regionais confere a elas um provável significado geológico.

A rede de drenagem é um sistema em constante evolução e seu comportamento está condicionado a fatores tectônicos e climáticos. Na topografia, as drenagens, buscam as direções de maior declividade e zonas de fraqueza para se instalar. Sabe-se que as drenagens se localizam em depressões geradas no relevo, todavia também são um reflexo de esforços tectônicos sofridos da área. A rede de drenagem se adapta aos novos contextos tectônicos pela qual a região é submetida. Conhecendo o padrão da região, é possível identificar as anomalias, que são importantes para o estudo neotectônico. Busca-se entender o padrão da drenagem na região em estudo e assim, identificar as anomalias.

Segundo Howard (1967), anomalia de drenagem constitui um desvio local, da drenagem regional e/ou do padrão de drenagem, tendo por base sua conhecida estrutura regional e/ou topografia. Por sua vez, DeBlieux (1949) considera o padrão de drenagem esperado como normal, e os seus desvios, como anomalias. Sendo assim, uma anomalia de drenagem sugere mudanças na estrutura do terreno, que, na maior parte das vezes, é controlada pela geologia estrutural e tectonismo.

Fatores internos e externos afetam o desenvolvimento das redes de drenagem. Segundo Berger (1994), os fatores internos derivam do comportamento das rochas, controlados pela litologia e estruturas. A litologia tem influência através das propriedades físicas e químicas, enquanto os aspectos estruturais estão ligados aos fatores intrínsecos das camadas (espessura, mergulho, direção, intercalação etc.),

movimentos tectônicos e deformações recentes (neotectônica). Já os fatores externos se referem ao clima, atividade humana, vegetação, entre outros.

Segundo Lima (2006) quase sempre existe uma convivência entre a drenagem e a estrutura geológica, uma vez que aquela implanta-se em zonas de fraqueza, e em sua maioria, é controlada por algum esforço tectônico (estruturas), quais sejam: fraturas, juntas, falhas, discordâncias, eixo e flanco de dobras, interface litológica, acamamento, foliação, lineamentos etc.

O mapa geológico da Bacia do Acre (Figura 52), disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), expõe que na superfície da bacia existe pouca variação no tipo de solo, com cobertura predominante de sedimentos do Mioceno e Pleistoceno. Percebem-se variações na região da Serra do Divisor, na qual, ocorrem expostos sedimentos do Grupo Acre (Cretáceo), evidenciando uma inversão causada provavelmente pelo empurrão Andino, uma vez que são sedimentos mais antigos do que os encontrados no bloco baixo da falha. Em relação a estruturas, são exibidas falhas reversas referente a Falha de Oeste Batã e Batã. Uma falha transcorrente é identificada próxima a falha de Batã, além disso, ocorrem falhas normais distribuídas na bacia. O mapa exibe a localização do epicentros de sismos que ocorreram na região, assim como na Figura 46, estão alinhados com as falhas reversas de Batã e Oeste Batã.

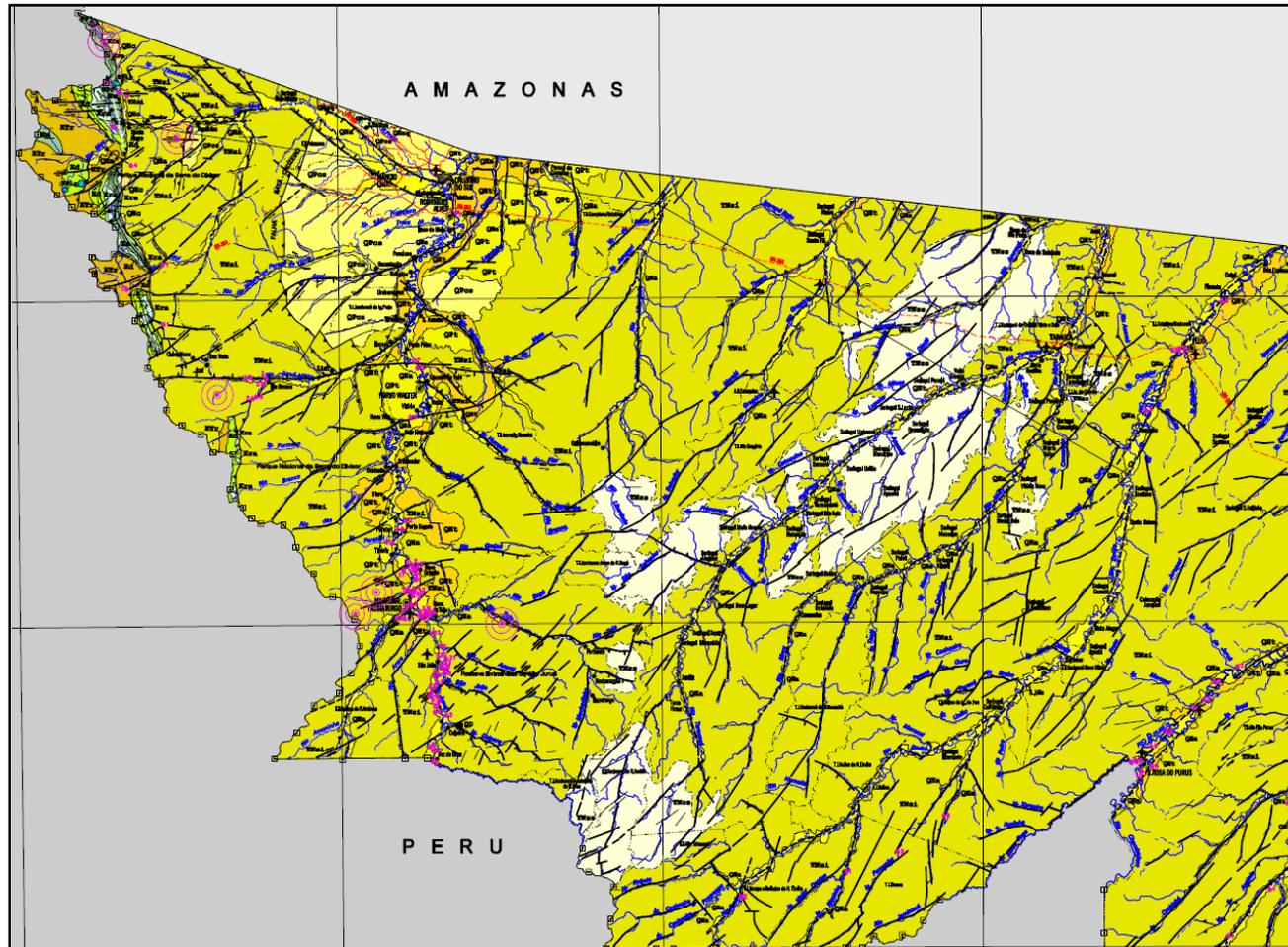


Figura 52: Mapa Geológico para o Estado do Acre. Imagem recortada na região da Bacia do Acre. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2018)

4.3. Análise da rede de drenagem e relevo na Bacia do Acre

A bacia hidrográfica do Acre engloba um conjunto grande de rios e afluentes, dentre os quais os principais são o rio Juruá, Moa, Purus, Tarauacá e Envira -Iquiri (Figura 53). Dentre os rios citados, na região das linhas sísmicas, estão presentes os rios Moa e Juruá. Em função do relevo ser predominantemente plano, os rios são meandrantos, com presença de meandros abandonados, em forma de lagos, que se apresentam desde parciais a totalmente colmatados, típicos de planície, ocorrendo cachoeiras e corredeiras somente na região da Serra do Divisor (Base de dados do ZEE – Acre/SEMA e UCGEO, 2006).

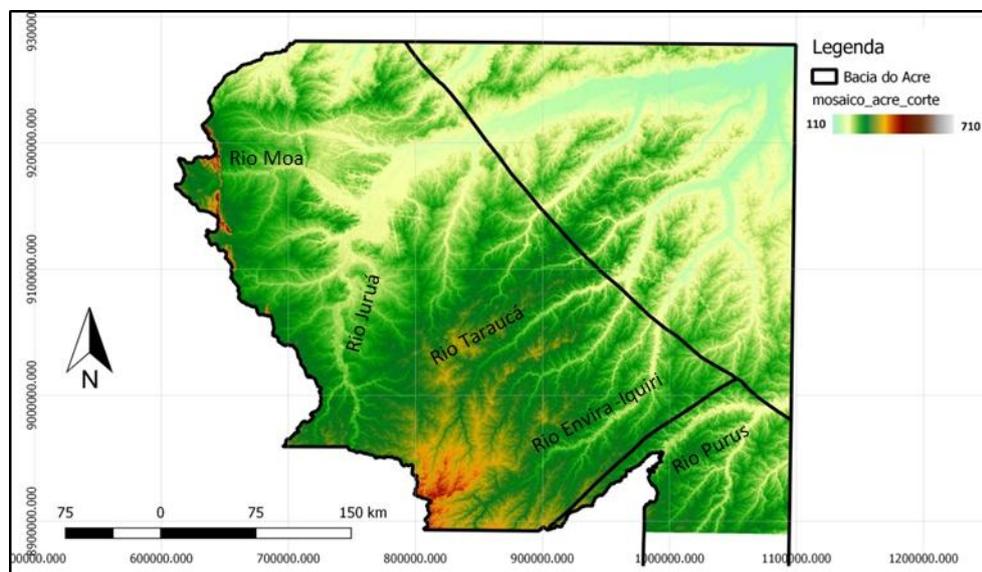


Figura 53: Principais rios da região centro-noroeste do Estado do Acre. Sistema de coordenada UTM_SIRGAS 2000 – Zona 18S.

O dado SRTM permite realizar a interpretação da rede de drenagem de maneira regional e rápida. Muitos trabalhos focam no escoamento dos canais, subdivisão da bacia hidrográfica etc., porém, o objetivo neste trabalho, é identificar o estilo dos canais e anomalias de direção. Para isso, foram extraídos os canais de drenagem para a Bacia do Acre (Figura 54) e também realizadas as análises e interpretações no dado SRTM.

As drenagens interpretadas possuem direção preferencial NE-SW, N-S e W-E. Uma característica importante é a de mudarem seu curso para W-E, criando cotovelos de drenagem de praticamente 90 graus (Figura 55). Nestas regiões ocorrem abruptas inflexões para Leste, adequando-se as direções das drenagens da Bacia do Solimões. Falhamentos transcorrentes, presentes na região podem ser a causa deste tipo de anomalia, corroborando com Caputo (2014), o qual discorre sobre a presença de uma zona de transcorrência (cf Figura 23) na região, juntamente com a Presença da Falha de Batã, muito próxima do local destas inflexões. Os altos estruturais gerados pelos falhamentos reversos citados, podem exercer um controle nas drenagens que cortam estas áreas.

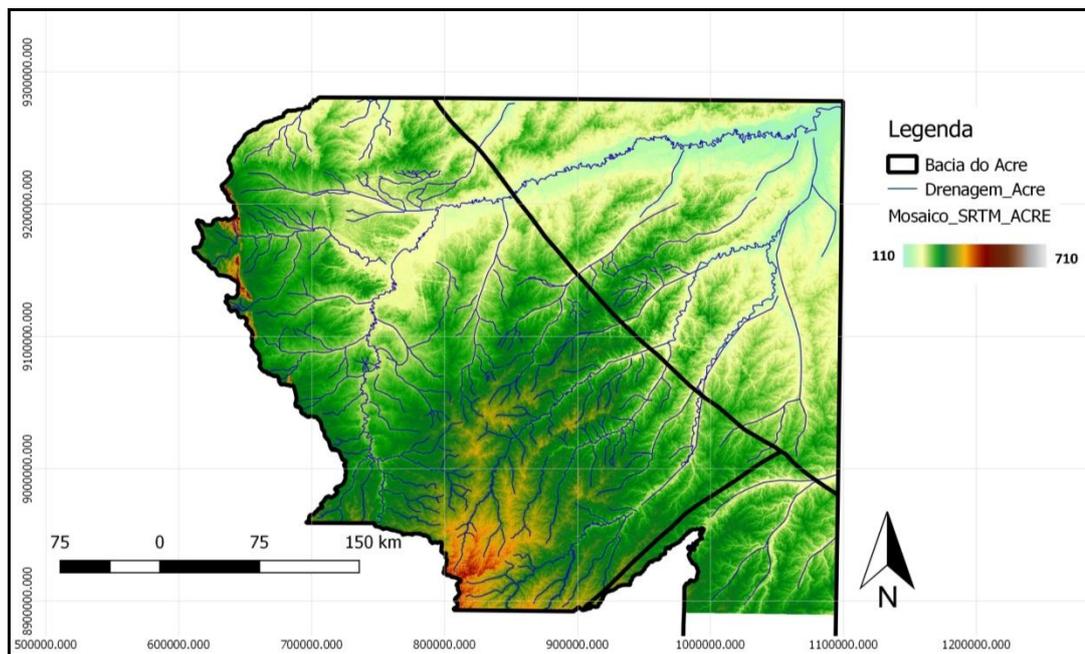


Figura 54: Drenagens Interpretadas no dado SRTM.Sistema de coordenada UTM_SIRGAS 2000 – Zona 18S.

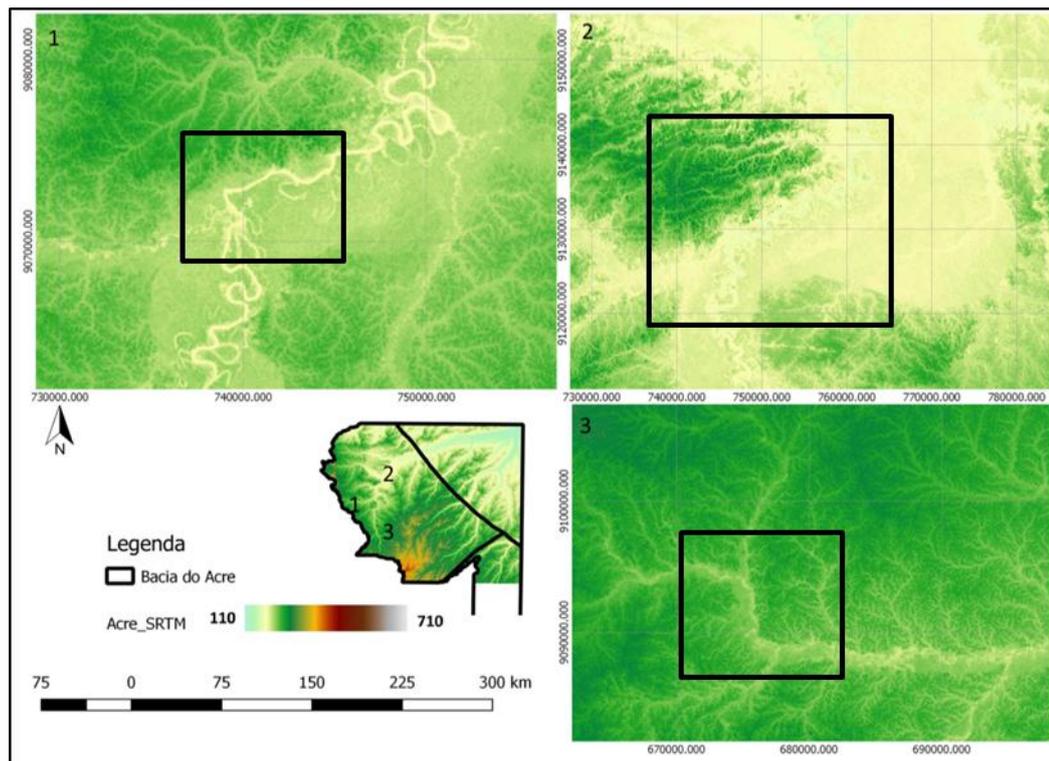


Figura 55: Exemplos de capturas de drenagens com ângulos de aproximadamente 90 graus. Sistema de coordenada UTM_SIRGAS 2000 – Zona 18S.

Um padrão de drenagem é o desenho formado pelo agregado de caminhos de escoamento fluvial numa área, não importando se são ou não ocupados por cursos d'água permanentes (HOWARD, 1967). Os estilos de drenagem são subdivididos em padrões, existindo diferentes tipos (Figura 56) discutidos na literatura. Dentre estes, na Bacia do Acre, foram identificados principalmente o padrão Dentrítico, Treliça e Radial. O padrão em Treliça é caracterizado por drenagens controladas pela estrutura geológica, com um rio principal subsequente, bem marcante e cujos tributários nos lados opostos, com aproximadamente o mesmo tamanho, dispostos em ângulos retos. A presença deste padrão denota forte controle estrutural. O padrão em Treliça é encontrado em estruturas falhadas e nas cristas de anticlinais (SUGUIO et al., 1988). O padrão Radial (Figura 57) é pouco comum na área de estudo, localizado as margens da falha de Batã. O padrão Dentrítico e Treliça (Figura 58) se assemelha a ramos de árvores com um curso fluvial principal (CHRISTOFOLETTI, 1981).

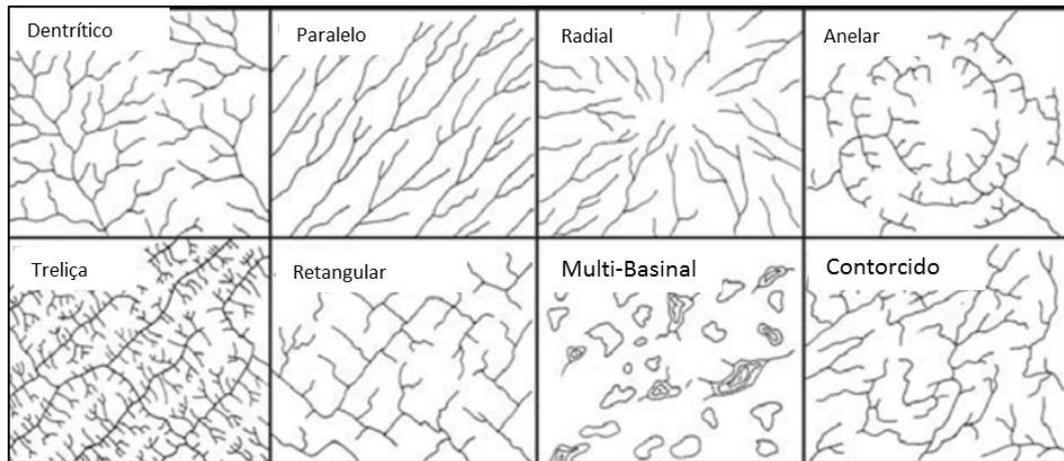


Figura 56: Padrões de Drenagem (ARCANJO,2011)

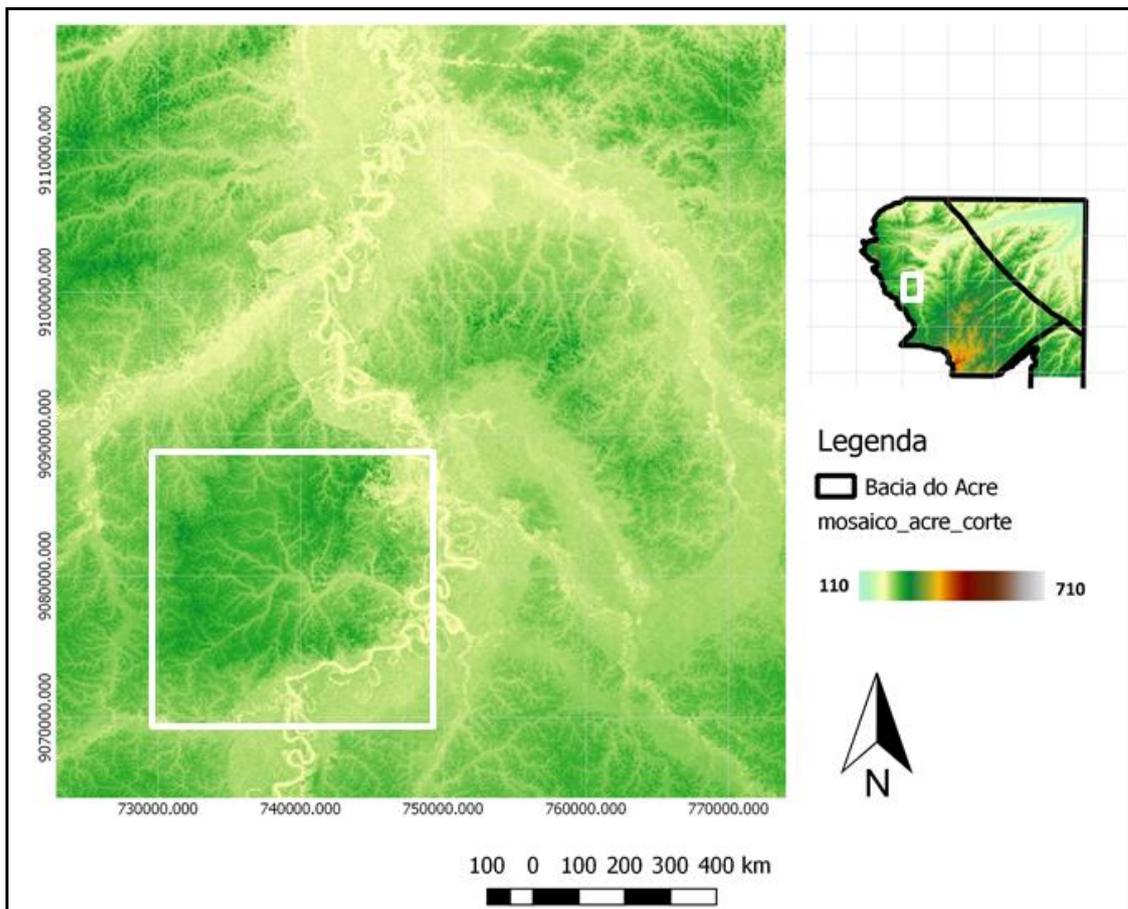


Figura 57: Padrão Radial.Sistema de coordenada UTM_SIRGAS 2000 – Zona 18S.

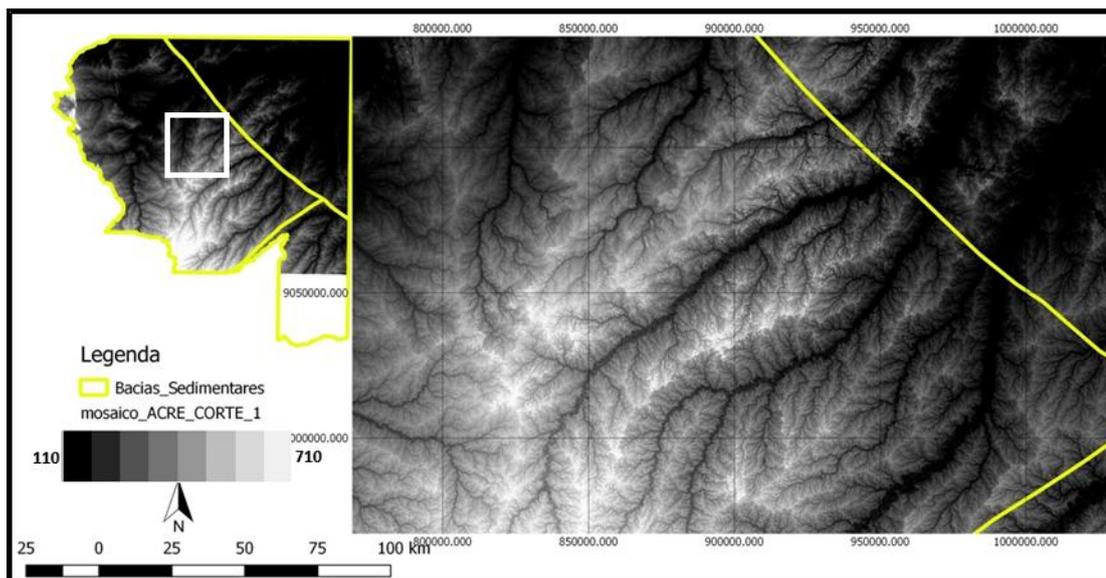


Figura 58: Padrão Dentrítico e Treliça. Sistema de coordenada UTM_SIRGAS 2000 – Zona 18S.

Em bacias sedimentares com litologia homogênea e topografia plana, o padrão de drenagem Meandrante é predominante. Os canais de drenagens possuem alto grau de sinuosidade (Figura 59), sendo os cursos meandrantes irregulares, de alto ângulo e com presença de meandros abandonados.

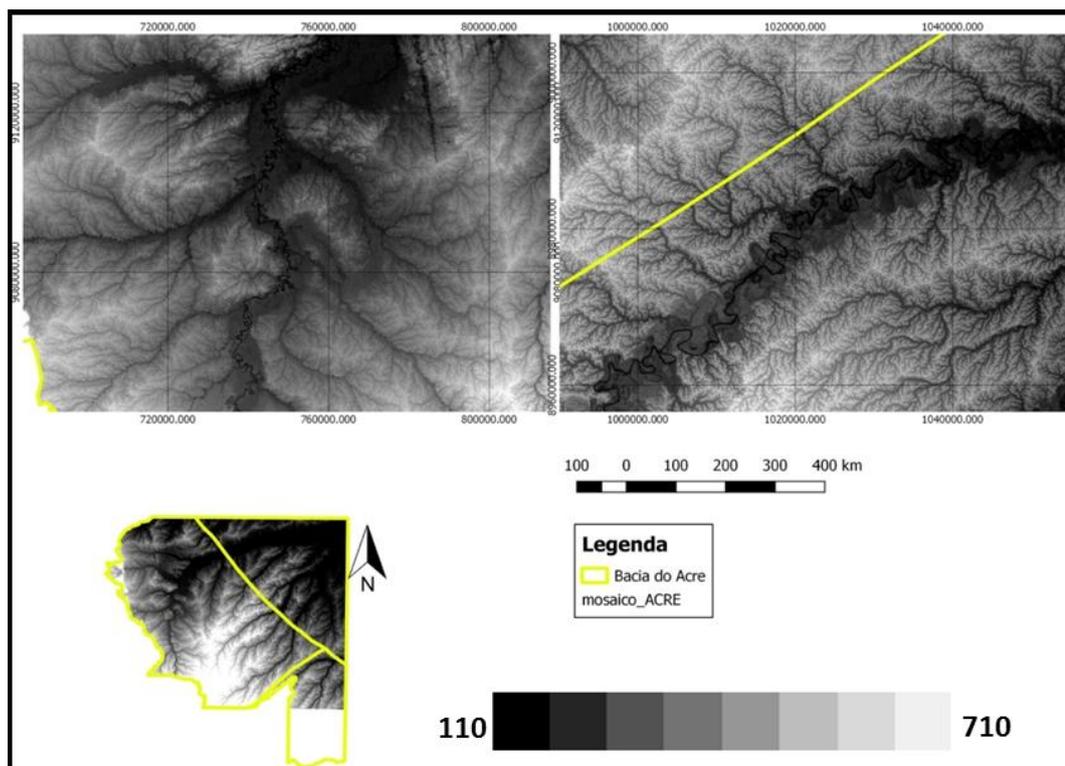


Figura 59: Alto grau de sinuosidade dos canais na Bacia do Acre. Cursos fluviais meandrantes. Sistema de coordenada UTM_SIRGAS 2000 – Zona 18S.

Com objetivo de realizar uma análise do relevo da Bacia do Acre, foram utilizados atributos: Índice de Rugosidade, (Figura 60) e Relevo (Figura 61). O índice de rugosidade consiste na medição quantitativa da heterogeneidade do terreno, pode-se entender como a “energia do relevo”. **É calculado para cada pixel, resumindo a mudança de altitude do dado. É calculado para cada local, resumindo a mudança de altitude dentro da grande de pixels 3x3 (Manual Qgis 2018).** O objetivo é identificar áreas que sofreram maior “perturbação” no relevo. Nas áreas próximas às falhas reversas de Batã e principalmente Oeste Batã, região da Serra do Divisor, existe um alto grau de rugosidade (áreas vermelhas), devido à abrupta quebra de relevo. Outra região em destaque, consiste em alto estrutural, no sudeste da bacia que também possui rugosidade elevada, relacionada também a falhas presentes na área. Percebe-se que a maior parte da bacia é bastante plana (áreas verdes e azuis). Somando este fator ao baixo grau de rugosidade, geram-se rios meandranes e uniformidade na vegetação (Figura 59). A região que mais se destaca em ambos os atributos é a Serra do Divisor, devido a quebra abrupta no relevo.

O atributo de Relevo cria um mapa de relevo sombreado a partir de dados digitais de elevação. Analisando a frequência de distribuição são escolhidas as cores para estas bandas. Neste mapa (Figura 61) são identificadas regiões planas (1) e outras com altos estruturais no relevo, região da Serra do Divisor (2). Estes altos, são relacionados aos blocos altos das falhas reversas identificadas nas linhas sísmicas. Além destas regiões cobertas por sísmica, verifica-se uma região (3), com altos no relevo, cerca de 400 metros de altitude. Como não foi adquirida sísmica nesta área, a confirmação da presença de falhamentos, dobras, etc resumem-se a trabalhos de campo e interpretação indireta por imagens de satélite, porém presume-se que estes altos são causados por movimentação de blocos devido a tectônica compressiva.

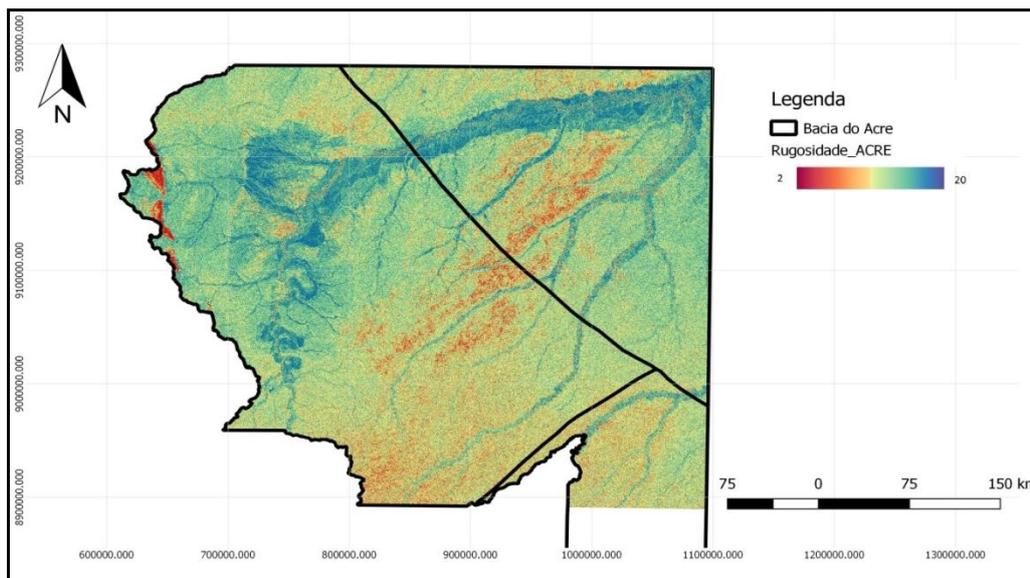


Figura 60: Atributo de Rugosidade para a Bacia do Acre. Sistema de coordenada UTM_SIRGAS 2000 – Zona 18S.

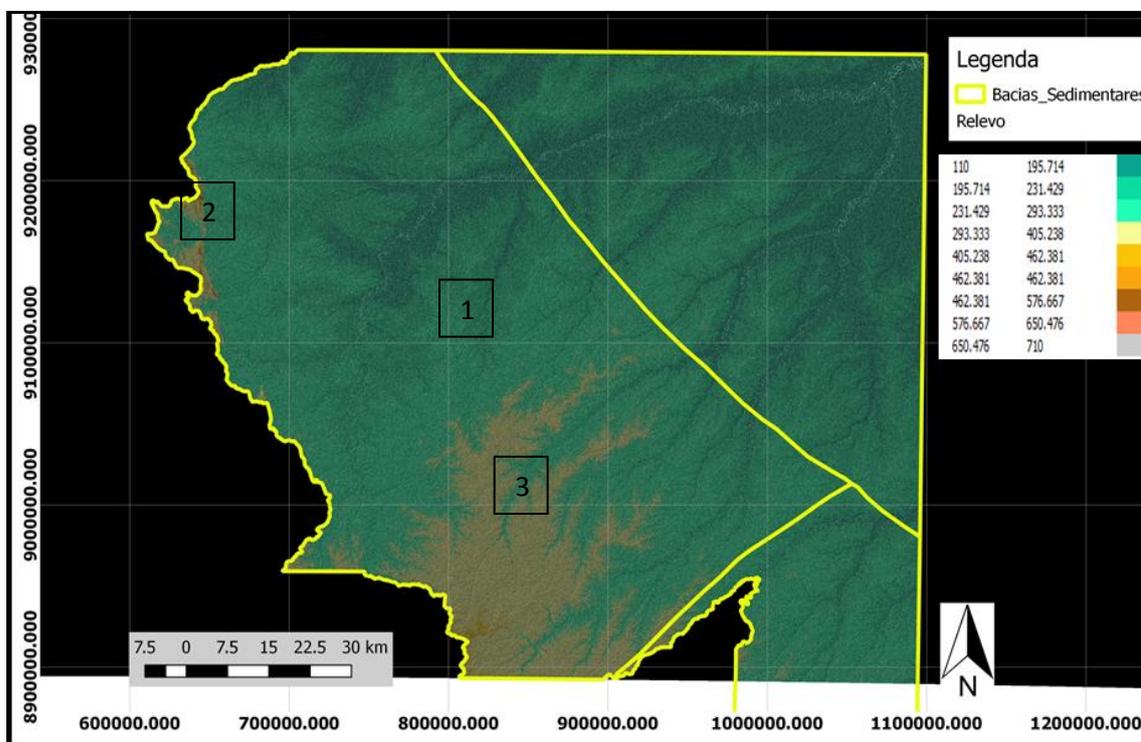


Figura 61: Mapa de relevo da Bacia do Acre. Áreas 1, 2 e 3 indicando diferentes zonas de altitude da bacia. Sistema de coordenada UTM_SIRGAS 2000 – Zona 18S.

4.4. Análise estrutural com base no dado de elevação digital de terreno

A Bacia do Acre como citado ao longo deste trabalho, é impactada pelos esforços gerados pela tectônica andina. Estes movimentos causam marcas no relevo da região. São relatados altos estruturais, lineamentos com base na rede de drenagem e reflexos de falhas em superfície. Observando as direções preferenciais da drenagem na Bacia do Acre, observa-se que estas se comportam como lineamentos (Figura 62), admitindo um controle estrutural nas mesmas.

O mapeamento de lineamentos morfoestruturais pode levar ao reconhecimento de estruturas no terreno, visto que estes representam importantes elementos para interpretar o contexto tectônico de uma determinada área (ANDRADES *et al.*, 2009). Segundo O'Leary *et al.* (1976), lineamento é uma feição mapeável, linear, retilínea ou suavemente encurvada, simples ou composta. A análise de lineamentos, usando dados de sensoriamento remoto, é uma importante abordagem em estudos estruturais e tectônicos das bacias sedimentares na pesquisa e exploração petrolífera (BERGER, 1994)

Nos produtos de sensoriamento remoto, a definição dos lineamentos está relacionada com a disposição contínua e alinhada a drenagem. O controle é geralmente estrutural, visto que fraturas ou zonas de fratura atingem de diferentes formas a topografia, controlando o fluxo de água e a distribuição da vegetação (IBANEZ, 2007). Lineamentos fotogeológicos representam expressões superficiais de falhas e fraturas do embasamento ou do pacote sedimentar. Embora não necessariamente constituam trapas estruturais, tais feições podem exercer um papel importante no desenvolvimento dos sistemas petrolíferos (BERGER, 1994). Os lineamentos interpretados (Figura 62) se estendem por muitos quilômetros e acabam avançando em direção às bacias vizinhas, no caso, a Bacia do Solimões, porém organizam-se em um *trend* regional que atua em toda região Amazônica. Estes lineamentos foram construídos filtrando as drenagens previamente interpretadas. Uma breve análise destes lineamentos é realizada, obtendo os diagramas de roseta (Figura 63), sendo a direção preferencial de SW-NE. Esta análise contribuiu para identificar e confirmar que a maior parte das drenagens da bacia do Acre possuem direção similar a da região Amazônica.

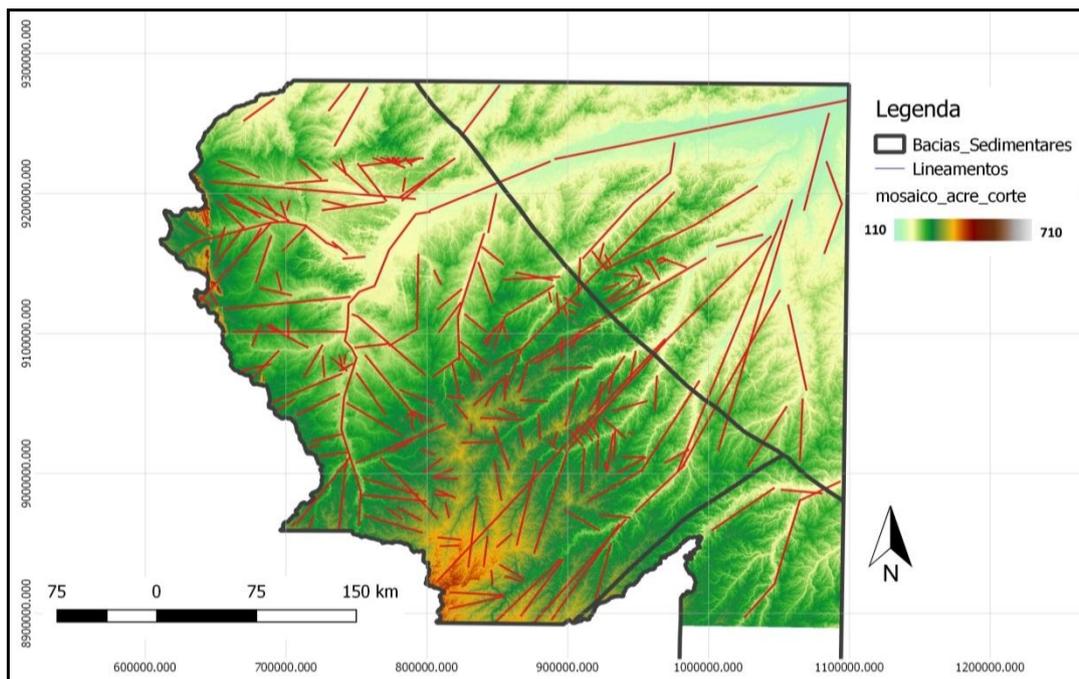


Figura 62: Lineamentos na Bacia do Acre. Sistema de coordenada UTM_SIRGAS 2000 – Zona 18S.

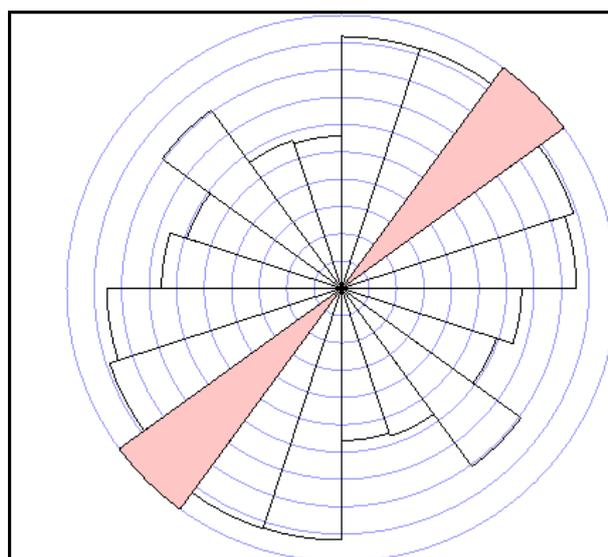


Figura 63: Diagrama de Roseta dos lineamentos da bacia do Acre, Destaque para direção média (rosa) dos lineamentos da região SW-SE.

A interpretação no dado SRTM indicou os seguintes tipos de lineamento:

- Indicação de falhamentos transcorrentes, alinhando as drenagens em *trends* de W-E. Estes lineamentos são identificados principalmente em cotovelos (Figura 64, caixas brancas) de drenagem no qual as desviam para W-E e SW-NE, em ângulos de praticamente 90 graus.

- Lineamentos NW-SE relacionados a Serra do Divisor (Figura 59, caixa laranja)
- Lineamentos N-S referentes às falhas reversas, em que, os mais expressivos, referem-se às Falhas de Oeste Batã e Batã (Figura 66).

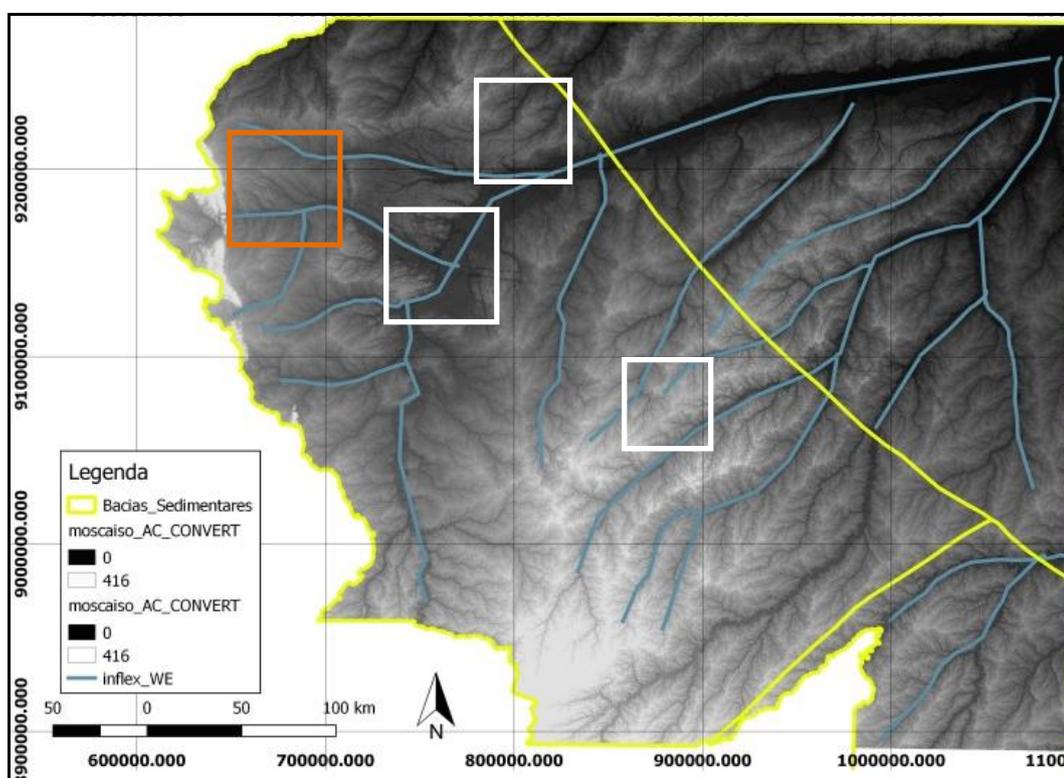


Figura 64: Inflexões de drenagens para Leste. Destaque para cotovelos de drenagem. Sistema de coordenada UTM_SIRGAS 2000 – Zona 18S.

4.5. Comparação Sísmica X Sensoriamento Remoto

A utilização de diferentes fontes de dados é importante em estudos regionais nas bacias sedimentares, principalmente no que tange a evolução e reconhecimento de estruturas. Pode-se citar a utilização de métodos potenciais, sísmica de reflexão, sensoriamento remoto, geoquímica entre outros. Neste trabalho utilizou-se a sísmica 2D (subsuperfície) aliada aos dados de elevação digital de terreno – SRTM (superfície). Apesar de naturezas diferentes, tendem a se complementar.

O cruzamento destes dados permite interpretações mais precisas, porém um ponto importante é entender que a resolução, de cada um é bem diferente. Por isso,

Alvarenga *et al.* (2007), adota a metodologia de interpretar separadamente e depois agrupar para uma interpretação mais abrangente. Este fato deve ser levado em consideração em momentos de comparação entre diferentes métodos.

As feições mais notáveis da Bacia do Acre, são a Serra do Divisor, representada pela Falha Oeste de Batã (fronteira Brasil – Peru) e a Falha de Batã. A Serra do Divisor compreende um conjunto de serras referente aos grandes cavalgamentos presentes na bacia. Segue uma breve descrição: o Anticlinal da Divisor é uma estrutura dobrada de grande amplitude, falhada assimetricamente, com seu eixo apresentando duplo caimento e direção geral N-S e com variações para NNE-NNW, devido a falhamentos transversais (Cruzeiro do Sul. Folha SB.18-Z-D., 1972).

As sobreposições dos mapas estruturais com o dado de elevação digital de terreno obtiveram boa correlação estrutural, principalmente no que tange as falhas. Os lineamentos referentes as falhas, quando comparados em mapa, praticamente se sobrepuseram, provando assim, a continuidade, em superfície, das estruturas mapeadas no dado sísmico. Observa-se a relação de lineamentos N-S no modelo de elevação digital com os principais e maiores falhamentos na Bacia do Acre (Figura 66).

Em relação as drenagens um ponto importante é que a maior parte dos cursos localizados entre estas duas falhas (Oeste Batã e Batã), já estão alinhadas ao *trend* das drenagens da região amazônica W-E (ver Figura 66). Somente uma drenagem principal possui direção N-S, porém logo é capturada e direcionada para Leste. A origem destes cursos fluviais encontra-se em terras Peruanas e chegam ao Brasil a partir da Serra do Divisor. Tomando como base o padrão de falhamentos da Bacia, pode-se interpretar no dado SRTM possíveis falhas, porém em áreas que não foram cobertas por aquisição sísmica (Figura 65). Em planta as falhas possuem comportamento linear e nos mapas gerados com horizontes sísmicos observa-se esta característica (ver Figura 38Figura 40). A interpretação da falha de Batã é semelhante em ambos os dados, já na falha Oeste de Batã, percebe-se um deslocamento quando se compara o traçado feito com base no dado sísmico com o interpretado nas imagens de satélite (Figura 67). **A bacia do Acre foi atingida por pulsos tectônicos distintos, é possível que seja essa a explicação para o**

deslocamento da Falha Oeste Batã interpretada na sísmica em comparação a interpretação no dado SRTM. A sobreposição do mapa do topo Cretáceo no dado de elevação digital de terreno mostra boa correlação dos altos estruturais e falhamentos (Figura 67). Principalmente em relação aos rejeitos das falhas que criam diferenças topográficas.

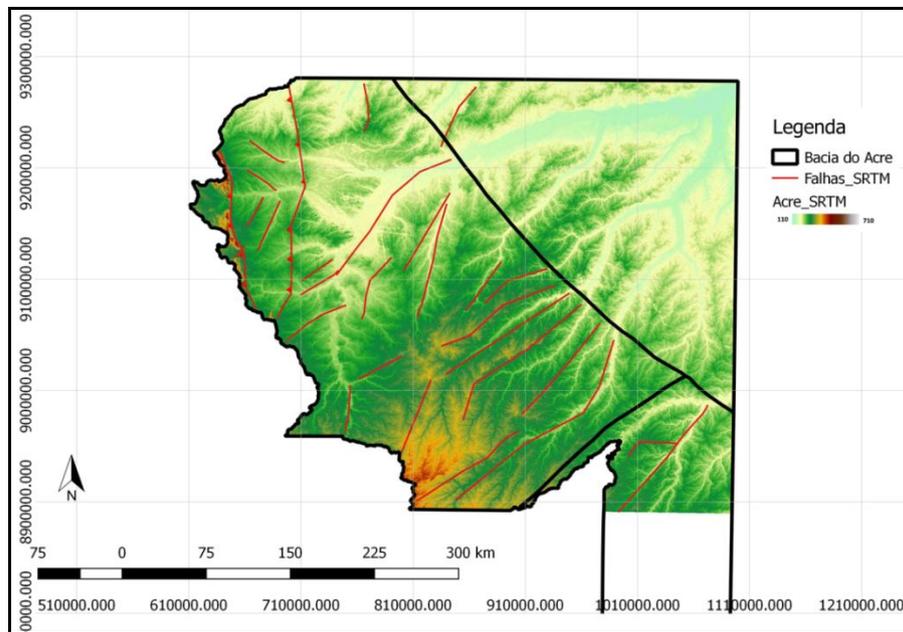


Figura 65: Falhas interpretadas com base no dado SRTM. Sistema de coordenada UTM_SIRGAS 2000 – Zona 18S.

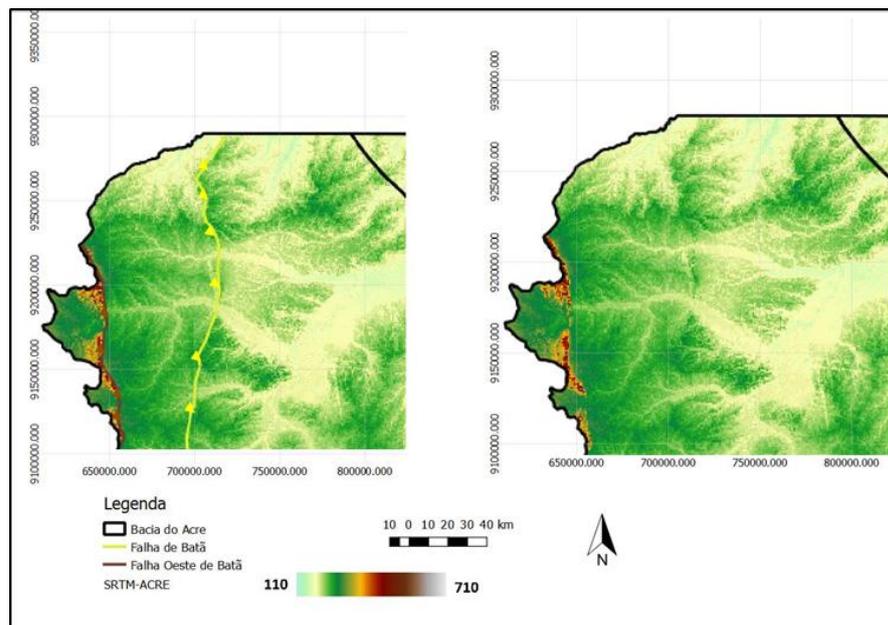


Figura 66: Interpretação de Falhas no SRTM. A esquerda o dado com interpretação e a direita somente o SRTM. Linha marrom indica a Falha Oeste de Batã e a linha amarela a Falha de Batã. Sistema de coordenada UTM_SIRGAS 2000 – Zona 18S.

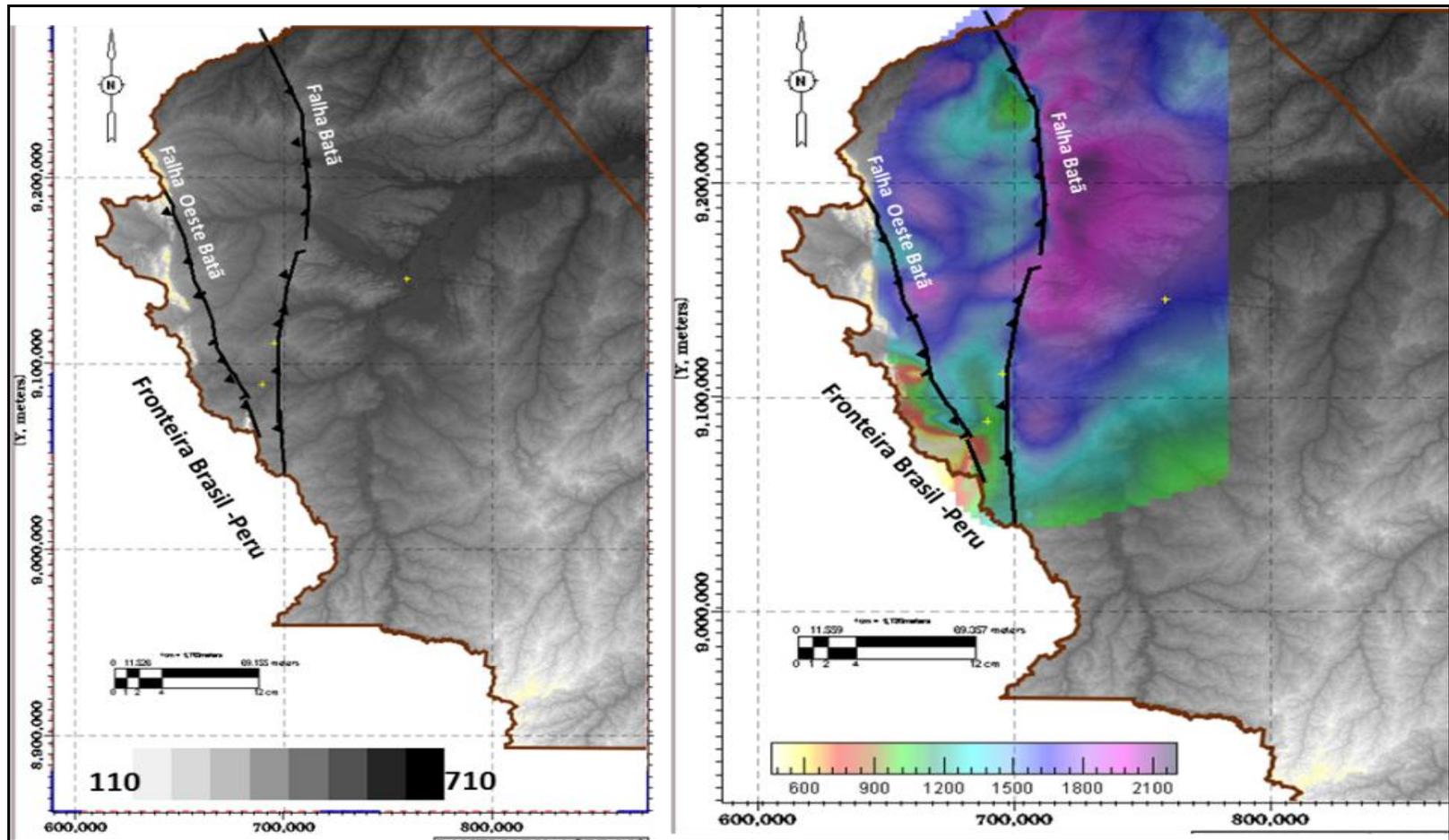


Figura 67: Sobreposição no dado SRTM das falhas Batã, Oeste Batã e do mapa do topo do Cretáceo interpretados no dado sísmico. Sistema de coordenada UTM_SIRGAS 2000 – Zona 18S.

5. Discussão

A Bacia do Acre, como explicitado no decorrer deste trabalho, apresenta evolução tectonosedimentar complexa. Esta complexidade é vista principalmente nos dados sísmicos, já que a erosão atua fortemente em superfície, mascarando ou retirando material.

Como visto, uma das principais falhas da bacia, a falha de Batã, exerceu papel fundamental na tectono-sedimentação na bacia do Acre. A leste desta falha é observado que o embasamento é mais raso, como na seção sísmica observada na Figura 31, pode-se interpretar refletores da formação Cruzeiro do Sul em *pinch-out* contra o embasamento. Observa-se uma diferença no que tange a estruturação da bacia, podendo individualizar duas regiões. A primeira, localizada entre as falhas de Oeste Batã e Batã, mais complexa estruturalmente, além de ser mais profunda. A segunda, a leste da falha de Batã é menos estruturada e com menor espessura sedimentar. Como os principais esforços compressivos tem origem nos Andes, vindos de terras Peruanas, uma possibilidade é que anteparos estruturais dissiparam a energia a partir da falha de Batã, e deixaram, assim, a região à leste da falha menos deformada pelos pulsos tectônicos sofridos pela bacia.

A Bacia do Acre possui evolução multicíclica, assim sendo, os sedimentos e rochas sofreram esforços de diferentes naturezas. Uma das regiões mais afetadas estruturalmente na Bacia do Acre é área englobada entre a Serra do Divisor (falha Oeste Batã) até a Falha de Batã (Figura 34). A presença de falhas normais e reversas com planos de falhas invertidos torna essa área complexa de ser interpretada. É a região de maior espessura sedimentar da Bacia, além de ser a área mais testada pelos poços perfurados, provavelmente pela busca de estruturas que são correlacionáveis na indústria do petróleo por serem trapas de rochas reservatórios, como anticlinais, e a presença de camadas de sal.

As sequências deposicionais contidas do embasamento até a discordância pré-cretácea possuem feições estratigráficas mais fáceis de serem interpretadas em comparação com as do Cretáceo e Neógeno-Paleógeno. Além das falhas já citadas, observam-se a movimentação de camadas de Sal para topo de anticlinais. É um

comportamento esperado, e os pulsos tectônicos ocorridos na seção pré-cretácea podem ter contribuído nesta migração. As intrusões ígneas também ocorrem nesta idade, e cortam todos os refletores até a discordância pré-cretácea, e provavelmente foi erodida por essa superfície erosiva.

Nas sequências do Cretáceo e Neógeno-Paleógeno basicamente observam-se a ação das inversões causadas pelas falhas reversas de Batã e Oeste Batã com refletores plano-paralelos, muitas vezes apresentando baixo contraste de impedância acústica. No mapa de isópacas do Cretáceo, percebe-se pouca variação de espessura e também pouca estruturação. Denotam uma deposição em ambiente tectonicamente estável com deformação dos pacotes sedimentares pelos eventos posteriores.

A Bacia do Acre, sendo a mais distal das bacias sub-andinas, pode ter sofrido com menos intensidade os efeitos dos esforços e estilos deposicionais aplicados para bacias de ante-país. Segundo Oliveira (1994) o alongamento N-S e a curta largura E-W podem contribuir nesse aspecto. O fato do embasamento raso (Figura 23) e o pacote sedimentar pouco espesso à leste da falha de Batã, indica, segundo Oliveira (1994), o controle que o Arco de Iquitos exerceu na deposição sedimentar na Bacia do Acre.

As estruturas presentes no embasamento corroboram que a deposição dos sedimentos ocorreu em um sistema de *rift* intracontinental de direção N-S, no qual, de acordo com as litologias encontradas nos poços, foram depositados sedimentos clásticos que, com a elevação do nível do mar, permitiu que uma plataforma carbonática fosse implantada. Outros conjuntos de falhas normais e reversas atingem toda a seção Pré-Cretácea e estão associadas aos múltiplos eventos compressoriais e distensionais ocorridos neste período.

As falhas de maior magnitude da Bacia do Acre, Batã e Oeste Batã, causaram rejeito de centenas de metros ao longo de sua extensão. Estão alinhadas em sentido N-S e paralelas entre si, causando uma região complexa estruturalmente desde o embasamento até rochas mais recentes. No dado sísmico, foi verificada a presença marcante da discordância pré-cretácea presente em todo o dado, e é esperado que tenha uma abrangência em toda a bacia, pois foi oriunda de um evento (orogénia

Juruá) que afetou toda a região. A oeste da falha de Batã, foi verificado que essa discordância apresentou um “poder” maior em erodir as rochas e sedimentos. Causando uma menor espessura sedimentar posterior a ação da erosão.

Já nas imagens adquiridas por satélite (SRTM) o reflexo de uma falha em superfície se dá em forma de lineamentos. Na sísmica de reflexão fica clara a posição das falhas devido ao deslocamento dos refletores, rejeito etc. Nas imagens SRTM nem sempre essa interpretação é tão direta. Por isso a integração de diferentes tipos de dados se torna relevante. Na Bacia do Acre as duas falhas reversas Batã e Oeste Batã apresentem reflexos superficiais fáceis de serem identificados. Como visto no perfil de elevação na Figura 51, a Falha Oeste de Batã possui muito claramente expressão superficial, dada pela Serrado Divisor, com quebras abruptas de relevo e sendo a região mais alta de toda Bacia do Acre. Já a Falha de Batã não mostra uma expressão superficial tão marcante, porém é observado que ela controla o nível de base no relevo da bacia.

Verificou-se que, no modelo de elevação digital de terreno, a bacia, apesar de aparentar ser uma grande planície, possui heterogeneidades no relevo que, aparentemente, a olho nu, passam despercebidas. Além de atributos utilizados para medir variações de altitude, percebeu-se que ocorre alternância de canais meandrantess com retilíneos, indicando que existem áreas mais elevadas e vice-versa. Segundo Costa *et al.* (1996), é postulado que ocorreram esforços transcorrentes na região Amazônica, no qual a bacia do Acre esta inserida. Esses eventos transcorrentes modificaram o curso das drenagens que moldaram a superfície das bacias, como se mostram atualmente. Essa situação ocorre na bacia em estudo, visto as capturas de drenagem que mudam o curso dos rios abruptamente. **Comparando as Figura 67 e Figura 23 pode-se pensar na possibilidade da transcorrência identificada na bacia do Acre esteja associada ao megacisalhamento Solimões.**

Nas bacias sedimentares, as drenagens trazem informações importantes sobre o contexto tectônico. Na Bacia do Acre, podem-se citar os lineamentos de drenagens com a orientação similar das falhas, trechos retilíneos em rios meandrantess, diferentes padrões de drenagem e anomalias com estilo de quebras abruptas na direção do curso fluvial, com ângulos de praticamente 90 graus. Estas

características sugerem um forte controle estrutural na região. Em especial, os deslocamentos da drenagem para a direção W-E que são correlacionados à presença de uma zona de transcorrência próxima a falha de Batã. Nos mapas estruturais e também nas imagens de satélite percebe-se um deslocamento dextral entre os segmentos norte e sul desta Falha, confirmando a tendência de movimento transcorrente, conforme evidenciado na Figura 67. Além do traço das falhas, também são correlacionáveis altos estruturais nos horizontes interpretados com altos no relevo causados pelos cavalgamentos presentes na região. É entendido que a drenagem é um reflexo de estruturas geradas pelos esforços ocorridos na bacia, sendo assim, sua interpretação traz informações valiosas em âmbito regional.

A tectônica compressiva sofrida pela placa Sul-americana controla a rede de drenagem na Bacia do Acre, produzindo lineamentos de direções NE-SW, NW-SE e W-E. É dada mais atenção aos lineamentos de direção W-E, já que são deslocamentos abruptos se condicionando ao *trend* de direção da bacia do Solimões e Amazonas. Eventos tectônicos do Neógeno estão entre os principais fatores que promoveram alterações no relevo e nas redes de drenagem da América do Sul, particularmente na Bacia Amazônica com múltiplos eventos de captura de cabeceiras (Lundberg *et al.*, 1998). Pode-se usar este princípio como analogia para a Bacia do Acre.

A conversão em profundidade do dado sísmico interpretado permitiu a geração do mapa do embasamento da Bacia do Acre. Este horizonte chega em seu depocentro a 8 mil metros de profundidade. Este número é similar com profundidades nas bacias sub-andinas. Nestas bacias em profundidades, como essa, localizam-se importantes sequências de rochas geradoras de hidrocarbonetos. Na bacia do Acre não foram perfurados poços que alcançassem tais profundidades para testar a presença destas possíveis rochas, porém a perspectiva de ocorrência de grandes profundidades corrobora para a existência de um intervalo de rocha geradora, ainda não perfurado, na referida Bacia.

6. Conclusão

Esta dissertação assumiu como objetivo o estudo estrutural da Bacia do Acre, integrando dados sísmicos e de elevação digital de terreno. Para tal, baseou-se na de sísmica de reflexão e nas imagens SRTM.

Em um trabalho exploratório *onshore*, um dos objetivos do geocientista é identificar possíveis estruturas ou reflexos destas em superfície com base nas imagens de satélite e sua correlação com estruturas de subsuperfície, utilizando dados sísmicos. Do ponto de vista acadêmico, é importante desenvolver técnicas e entender a evolução tectônica da bacia, por outro lado, com objetivo comercial, buscam-se estruturas que possam ser possíveis acumulações de hidrocarbonetos ou outros bens minerais. Ambos se complementam, uma vez que, utiliza-se o conhecimento gerado na academia para aplicação de modelos análogos e técnicas na indústria.

A Bacia do Acre apresenta estruturas propícias a acumulação, apesar de ainda não ter sido encontrado reservatórios na região. O uso dos dados de poços foi pequeno nesse estudo devido à falta de disponibilidade dos mesmos, sendo fundamentais, porém, para o estabelecimento de uma estratigrafia básica, sua amarração com a sísmica permitiu a construção do modelo de velocidade, e auxiliou na interpretação de camadas importantes, como os evaporitos. A interpretação sísmica mostrou que a Bacia do Acre é uma região complexa estruturalmente, principalmente na região englobada entre as falhas de Oeste Batã e Batã. Ocorrem intrusões ígneas, movimentação de corpos de sal, falhas normais e reversas. Foi observado nessa região, que um mesmo plano de falha ora se comporta como normal e em outro como reverso, fato explicado pelos diferentes pulsos tectônicos, ora distensivos e compressivos que atingiram a bacia. Dessa forma, percebe-se que estruturas pretéritas foram reativadas, sendo um destes pulsos (Orogenia Juruá), o causador da inversão para uma bacia de antepaís a partir do Cretáceo.

A construção do modelo de velocidade, apesar de simplificado devido a falta dos *inputs* ideais, apontou que a bacia do Acre apresenta profundidades na faixa de

8 mil metros, corroborando a hipótese de que é possível a existência de rochas geradoras muito profundas, e que não foram testadas nas perfurações dos poços ao longo dos anos de exploração da bacia.

Com base na análise das imagens SRTM, foi possível interpretar as drenagens da bacia do Acre, assim como, padrões e anomalias que possam ter um significado estrutural. Com base nas drenagens, foram construídos mapas de lineamentos que permitiram identificar o padrão de direção dos lineamentos na bacia do Acre (Figura 62). Alguns dos principais lineamentos mapeados, foram associados com zonas de falhas mapeadas em subsuperfície (ex. Falhas de Batã e Oeste de Batã), enquanto outros foram caracterizados como expressão de eventos transcorrentes, difíceis de serem interpretados a partir de linhas sísmicas 2D. As direções de drenagem também foram usadas para identificar falhas. Mudanças abruptas nos cursos fluviais de praticamente 90 graus, apresentando direção W-E foram interpretadas como causadas por movimentos transcorrentes.

Foi observado que os esforços compressivos sofridos pela Bacia do Acre se mantiveram ativos até os dias atuais. O atributo de rugosidade, calculado no SRTM, mostra que, apesar da bacia ser plana em sua maior parte, possui perturbações no relevo, provavelmente oriundas dos eventos ocorridos na região Andina. A concentração de sismos na região oeste da bacia, ocorrendo alinhados às falhas de Batã e Oeste de Batã, evidenciam que é uma área tectonicamente ativa.

No caso da bacia do Acre foi visto que as principais estruturas interpretadas na sísmica (falhas reversas Batã e Oeste Batã) apresentam reflexo superficial e também atuam no comportamento da rede de drenagem. Dado o exposto, os resultados obtidos com a integração de dados de naturezas distintas, como o modelo de elevação digital de terreno com a sísmica de reflexão foram positivos. Trouxeram informações de lineamentos, identificação de falhas, dentre as quais transcorrências que não seriam obtidas somente com base nas linhas sísmicas, corroborando a análise tectônica dos eventos mais recentes da bacia.

A bacia do Acre foi afetada por diversos estilos tectônicos no decorrer da sua evolução e preenchimento. A inversão de planos de falhas, indicam a reativação de falhas normais, de direção predominante N-S, gerando falhas reversas,

comprovando assim ser uma bacia multicíclica. Fato observado principalmente na região englobada entre as falhas Oeste Batã e Batã.

Do Neógeno até os dias atuais verifica-se uma resposta nas estruturas superficiais da tectônica atuante na região, tanto no relevo, quanto na rede de drenagem. Os altos estruturais do relevo podem ser relacionados à movimentação das camadas em subsuperfície, como visto na sobreposição do mapa estrutural do topo do Cretáceo no modelo digital de elevação de terreno (Figura 67). Esta sobreposição, permitiu verificar que ambos os dados apresentam a mesma tendência de elevação, respeitando os blocos altos e baixos das principais falhas interpretadas no dado sísmico. O principal apoio fornecido pelo uso das imagens SRTM, foi na identificação de uma zona de transcorrência de direção SW-NE atuante na região da falha de Batã. Esta zona foi interpretada com base no deslocamento abrupto da rede de drenagem para W-E, criando os chamados “cotovelos” de drenagem, com ângulos de aproximadamente 90 graus.

O resultado obtido indica que é possível aplicar esta metodologia em outras bacias de nova fronteira, que geralmente possuem poucos dados sísmicos e de poços. Assim sendo, é viável utilizar os dados de elevação digital de terreno como apoio nos estudos e tomadas de decisão.

Pode-se deixar como sugestão, para um futuro trabalho, aprofundar-se no detalhamento das anomalias de drenagem. Como em bacias vizinhas, áreas produtivas estão associadas a certos tipos de anomalias de drenagem. A combinação destas anomalias com aquisição de linhas sísmicas pode contribuir para as empresas e os órgãos públicos interessados em explorar economicamente a Bacia do Acre.

7. Referências Bibliográficas

ACRE. Governo do Estado do Acre. Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE): Fase II. Escala 1:250.000. Rio Branco: Secretaria de Estado de Meio Ambiente (SEMA), 2006.

ALMEIDA FILHO, Raimundo; IBANEZ, Delano M.; DE MIRANDA, Fernando P. Interpretação morfoestrutural com dados SRTM no auxílio à exploração petrolífera: um exemplo na bacia sedimentar do Amazonas. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 28, n. 1, p. 89-98, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-261X2010000100007&script=sci_arttext>. Acesso em: 5 nov. 2017.

ALVARENGA, Renata dos Santos; CASTILLO LÓPEZ, Luis Antonio. Integração de dados sísmicos 2D e de sensoriamento remoto para o reconhecimento estrutural. *Salão de Iniciação Científica* (18.: 2006: Porto Alegre). Disponível em: <http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/4/resumos/4PDPETRO_1_1_0173-1.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2017.

ALVES SOBRINHO, Teodorico et al. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. *Eng. Agríc.*, Jaboticabal, v.30, n.1, p.46-57, jan./fev. 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v30n1/a05v30n1>>. Acesso em: 17 jul. 2017.

ALVES SOBRINHO, Teodorico et al. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v30n1/a05v30n1>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

ARCANJO, João Batista Alves. Fotogeologia: conceitos, métodos e aplicações. 2011.

BARATA, C. B.; CAPUTO, Mário Vicente. Geologia do petróleo da bacia do Solimões. O “Estado da arte”. Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás. PDPETRO. 2007. Disponível em: <http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/4/resumos/4PDPETRO_1_1_0147-1.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2017.

BARROS, A. M.; ALVES, E. D. O.; ARAUJO, J. F. V.; LIMA, M. I. C.; FERNANDES, C. A. C. - 1977 - Folhas SB/SC. 18 Javarilcontarnana I- Geologia. In: PROJETO RADAMBRASIL, Levantamento dos recursos naturais. Folhas SB, SC. 18 Javari,, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, MME-DNPM. v. 13, p. 19 - 103.8.

BERGER, Z.; EXPLORATION, Satellite Hydrocarbon. Interpretation and Integration Techniques. 1994.

CAPUTO, M.V. & SILVA, O.A. da 1990. Sedimentação e tectônica da Bacia do Solimões. In: Raja Gabaglia, G.P. & Milani, E.J. (Eds.) Origem e Evolução das Bacias Sedimentares. Rio de Janeiro. Petrobras. P. 169-193.

CAPUTO, Mário V. Juruá orogeny: Brazil and Andean countries. Brazilian Journal of Geology, v. 44, n. 2, p. 181-190, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S2317-48892014000100181&script=sci_arttext>. Acesso em: 14 jan. 2017.

CAPUTO, Mário V. Solimões megashear: intraplate tectonics in northwestern Brazil. *Geology*, v. 19, n. 3, p. 246-249, 1991. Disponível em: <<https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/geology/articleabstract/19/3/246/189357/solimo-es-megashear-intraplate-tectonics-in?redirectedFrom=fulltext>>. Acesso em: 10 jan. 2017.

CARDOSO DE LIMA, Mário Ivan - ANÁLISE DE DRENAGEM E SEU SIGNIFICADO GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICO (3a Edição) 2006. Disponível em: <<http://www.neotectonica.ufpr.br/geomorfologia/1.pdf>>. Acesso em: 22 out 2017.

Centro de Sismologia da USP, 2017. Disponível em: <<http://moho.iag.usp.br>>. Acesso em: 11 ago. 2017.

COSTA, João Batista Sena et al. Neotectônica da região amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. *Revista Geonomos*, v. 4, n. 2, 1996. Disponível em: <www.igc.ufmg.br/portaldeperiodicos/index.php/geonomos/article/view/199/178>. Acesso em: 10 jul. 2017.

CUNHA, F.B. da. Aspectos geomorfológicos da bacia do medio Amazonas obtidos com imagens de radar. Belém: PETROBRÁS-RENOR, 1973.

CUNHA, PR da C. Bacia do Acre. *Boletim de Geociências da PETROBRAS*, v. 15, n. 2, p. 207-215, 2007.

DE BARROS, Mozart Cavalcante; DE PAULA CARNEIRO, Enio. The Triassic Juruá Orogeny and the Tectono-Sedimentary Evolution of Peruvian Oriente Basin. Exploratory Implications. *Simpósio Bolivariano: Exploración Petrolera en las*

Cuencas Subandinas, Memórias, Bogotá, ACGGP, trabalho 6, 44 p. 4.1991.
Disponível

em:<http://archives.datapages.com/data/colombia_acggp/simp4/tomo1/007.htm>.

Acesso em: 10 jan. 2017.

DE BLIEUX, C. W. Photogeology in Gulf Coast exploration. Bull. Am. Assoc. Petroleum. Geol. n.33, p. 1251-1259.1949. Disponível em:
<<https://pubs.geoscienceworld.org/aapgbull/article-abstract/33/7/1251/33514>>.

Acesso em: 2 ago. 2017.

DE OLIVEIRA ANDRADES FILHO, Clódis; FONSECA, Leila Maria Garcia. Lineamentos estruturais a partir de imagem Landsat TM e dados SRTM. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, Abril 2009, INPE. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/profile/Clodis_Andrades_Filho/publication/237234249_Lineamentos_estruturais_a_partir_de_imagem_Landsat_TM_e_dados_SRTM/links/00b7d526c1b13c4ce6000000/Lineamentos-estruturais-a-partir-de-imagem-Landsat-TM-e-dados-SRTM.pdf>. Acesso em 10 ago. 2017.

DE OLIVEIRA ANDRADES FILHO, Clódis; FONSECA, Leila Maria Garcia. Lineamentos estruturais a partir de imagem Landsat TM e dados SRTM. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 3151-3158 Disponível

em:<https://www.researchgate.net/publication/237234249_Lineamentos_estruturais_a_partir_de_imagem_Landsat_TM_e_dados_SRTM>. Acesso em: 17 jul. 2017.

DELLA FÁVERA, J. C. 2001. Fundamentos de Estratigrafia Moderna. Rio de Janeiro, Editora da UERJ, 263p.

DUARTE, K. S. Levantamentos exploratórios da ANP na Bacia do Acre. Revista Técnico-Científica da ANP, v. 1, p. 4-33, 2011.

FEIJÓ, F. J.; SOUZA, R. G. Bacia do acre. Boletim de Geociências da PETROBRAS, v. 8, n. 1, p. 9-16, 1994.

GOMES NETO, A. O. Neotectônica no Baixo Vale do Rio Jaguaribe. 2007. Tese de Doutorado. Tese de doutorado, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Brasil. Acesso em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/103049/gomesneto_ao_dr_rcla.pdf?sequence=1>. Acesso em: 10 out. 2017.

HERWITZ, S. R. Landforms under a tropical wet forest cover on the Osa Peninsula, Costa Rica. Z. Geomorph. EN, v. 25, n. 3, p. 259-270, 1981. Disponível em:<<http://library.wur.nl/WebQuery/titel/620196>>. Acesso em: 11 ago. 2017.

HOWARD, Arthur David. Drainage analysis in geologic interpretation: a summation. AAPG bulletin, v. 51, n. 11, p. 2246-2259, 1967. Disponível em:<<http://archives.datapages.com/data/bulletns/196567/data/pg/0051/0011/2200/2246.htm?doi=10.1306%2F5D25C26D-16C1-11D7-8645000102C1865D>>. Acesso em: 10 set. 2017.

IBANEZ, Delano Menecucci. Integração de dados de sensoriamento remoto (SRTM e RADARSAT-1), geologia, gravimetria e magnetometria para estudo morfoestrutural da área do Rio Uatumã, Bacia do Amazonas. São José dos Campos: INPE, 2007. 160 p. Dissertação (Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto)- INPE, São José dos Campos. Disponível em:< <http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2006/12.05.16.44/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 11 ago. 2017.

LEITE, D. C. -1958 - Detailed geologic investigations of Northwestern Territorio do Acre (Serra do Moa, Jaquirana, headwaters of Rio Javari). Belem, PETROBRAS RENOR. 58p. Relatório Interno.

LIMA, F. M. (2004) - Análises Estratigráficas dos Reservatórios Turbidíticos do Campo de Namorado. Dissertação de Mestrado. UNESP. 64p.

MANTELLI, Luiz Rogério et al. Applying SRTM digital elevation model to unravel Quaternary drainage in forested areas of Northeastern Amazonia. Computers & Geosciences, v. 35, n. 12, p. 2331-2337, 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098300409002209>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

MANTELLI, Luiz Rogério; DE FÁTIMA ROSSETTI, Dilce. Significado tectônico de lineamentos de drenagem no sudoeste da ilha do Marajó. Revista Brasileira de Geociências, v. 39, n. 1, p. 42-54, 2009. Disponível em:><http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/7628>>. Acesso em: 20 set. 2017.

MENDES, Carlos André Bulhões; CIRILO, José Almir. Geoprocessamento em Recursos Hídricos: Princípios. Integração e Aplicação. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001.

MIURA, Kazumi. Possibilidades petrolíferas da Bacia do Acre. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia. 1972. p. 15-20.

MIZUSAKI, A. M. P. & SARACCHINI, F. E. - 1991 – Catálogo geral de dados geocronológicos da Petrobras. Riode Janeiro, PETROBRAS/CENPES/DIVEX/

NETO, Gomes; DE OLIVEIRA, Antonio. Neotectônica do baixo vale do rio Jaguaribe-Ceará. 2007. 194 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/103049>>. Acesso em: 20 jun, 2017.

O'LEARY, D. W.; Friedman, J. D.; Pohn, H. A. Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. GSA Bulletin, v. 87, p. 1463-1469, 1976.

OLIVEIRA C.M.M. Estilos estruturais e evolução tectônica da Bacia do Acre. 1994. 224 fl. Dissertação. Escola de Minas, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto.

PAMPLONA, H. R. P. Bacia do Acre e a extendo andina, possibilidades de RADAMBRASIL, Levantamento dos recursos naturais. Folhas SB,SC. 18. 1971.

RIBEIRO, Olivia Leonardi et al. Controle tectônico na planície do Rio Solimões, região de Coari (AM), a partir de análise em imagens ópticas e dados SRTM. In: Proceedings of the 14th Brazilian Workshop of Remote Sensing. 2009. p. 3301-3308. Disponível em: <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/43091995/placas_tectonicas.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1516152703&Signature=UW8cBi0QIHn%2FR4x6MYXr0S1%2BUrM%3D&responsecontentdisposition=inlin%3B%20filename%3DControle_tectonico_na_planicie_do_Rio_So.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2017.

ROSA, André L. Romanelli. Análise do sinal sísmico. SBGf, Rio de Janeiro, 2010.

SEVERIANO, Ribeiro; JORGE, Helio. Estratigrafia de seqüências: fundamentos e aplicacoes. 2001.

SILVA, O. B. - 1989 - Sismoestratigrafia da Bacia do Acre. Manaus, PETROBRAS SETEC. 33p. Relatório Interno.

SUGUÍO, Kenitiro; MARTIN, Louis; FLEXOR, Jean-Marie. Quaternary sea levels of the Brazilian coast: recent progress. 1988. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Jean_Flexor/publication/32982568_Quaternary_sea_levels_of_the_Brazilian_coast_recent_progress/links/58359a0d08ae138f1c1165f9/Quaternary-sea-levels-of-the-Brazilian-coast-recent-progress.pdf terra. Rio de Janeiro, MME-DNPM. v. 13, p. 19 – 103

VASCONCELOS, Raphael Victor Aleixo e COUTINHO, Cintia Itokazu. 2013. Brasil 12 rodada – Licitações de Petróleo e Gas. Bacia do Acre. Disponível em: < http://www.brasilrounds.gov.br/arquivos/Seminarios_R12/apresentacao/r12_03_acre.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2017.

ZALÁN, Pedro Victor. Evolução fanerozóica das bacias sedimentares brasileiras. Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo, Beca, p. 595-613, 2004. Disponível em:< https://www.researchgate.net/profile/Pedro_Zalan/publication/283464325_Evolucao_fanerozoica_das_bacias_sedimentares_brasileiras/links/5654629f08aeafc2aabbc864.pdf>. Acesso em: 5 out. 2017.

ZELASCO, Luis D. Navarro. Tectonic Evolution of the Contaya Arch Ucyali Basin, Peru. 2010. 57 f. Tese de Doutorado. Texas A & M University. Disponível em: <<https://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/ETD-TAMU-2010-05-7691/NAVARRO-ZELASCO-THESIS.pdf?sequence=3>>. Acesso em: 1 out. 2017.