

4 RESULTADOS

Com base nas discordâncias identificadas e considerando a escala de trabalho, a sucessão sedimentar da Bacia de Santos foi subdividida em 9 sismossequências (Tabela 6), que se mostraram reconhecíveis, e rastreáveis em seções sísmicas. Devido à falta de dados litológicos e bioestratigráficos, para a interpretação sismoestratigráfica utilizaram-se as informações das bibliografias consultadas (Contreras, 2010) e as interpretações próprias para a determinação e análise das sequências deposicionais desde a primeira à última sismossequência.

Através da análise dos dados sísmicos e dos perfis geofísicos de poço, observou-se uma superposição de eventos de variação relativa do nível do mar, aparentemente com magnitudes diferenciadas em nove sismossequências de terceira ordem e três de quarta ordem. (Tabela 7).

As superfícies-chave reconhecidas nas seções sísmicas constituem discordâncias importantes no registro estratigráfico, embora algumas gradem para conformidades nas porções distais da bacia (talude e bacia profunda). Tais superfícies aparecem nas seções sísmicas como refletores bem marcados e com boa continuidade lateral, aos quais se associam terminações estratigráficas importantes, como *downlap* e *onlap*.

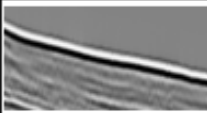
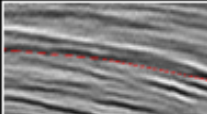
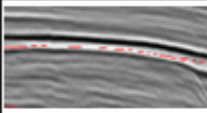
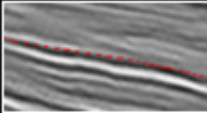
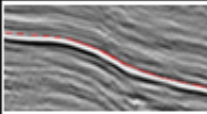
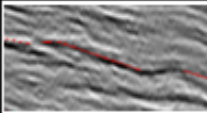
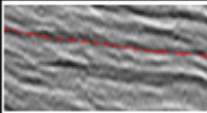
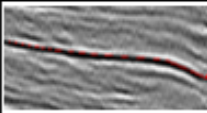
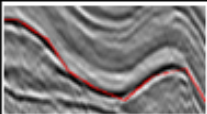
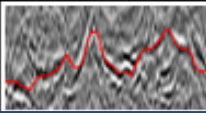
4.1 Interpretação sismoestratigráfica e sismoestrutural

A área de estudo ao sul da Bacia de Santos apresenta um arcabouço estratigráfico complexo, resultado da superimposição de diversos eventos geológicos. Tais eventos encontram-se impressos no arcabouço estratigráfico da bacia, mas sua expressão é desigual, tanto em termos de magnitude quanto de representatividade, nos diferentes compartimentos estruturais da bacia. As sequências consideradas neste trabalho apresentam arquitetura estratigráfica e padrões de preenchimento distintos.

Com base na continuidade, polaridade, amplitude e padrão de terminação dos refletores, foram mapeados 10 horizontes e interpretadas 9 sismossequências para toda a área de estudo. Cinco sismossequências pertencem ao intervalo Cretáceo da bacia. As cinco

sismossequências restantes correspondem ao registro Terciário da bacia. Com base nas sismossequências foram denominadas, do topo para a base as Sismofácies SA, SB, SC, SD, SE, SF, SG, SH e SI. (Figura 24). Os limites definidos para cada sismossequência não correspondem a limites de sequência no sentido clássico, porque nem todos os limites são descontinuidades.

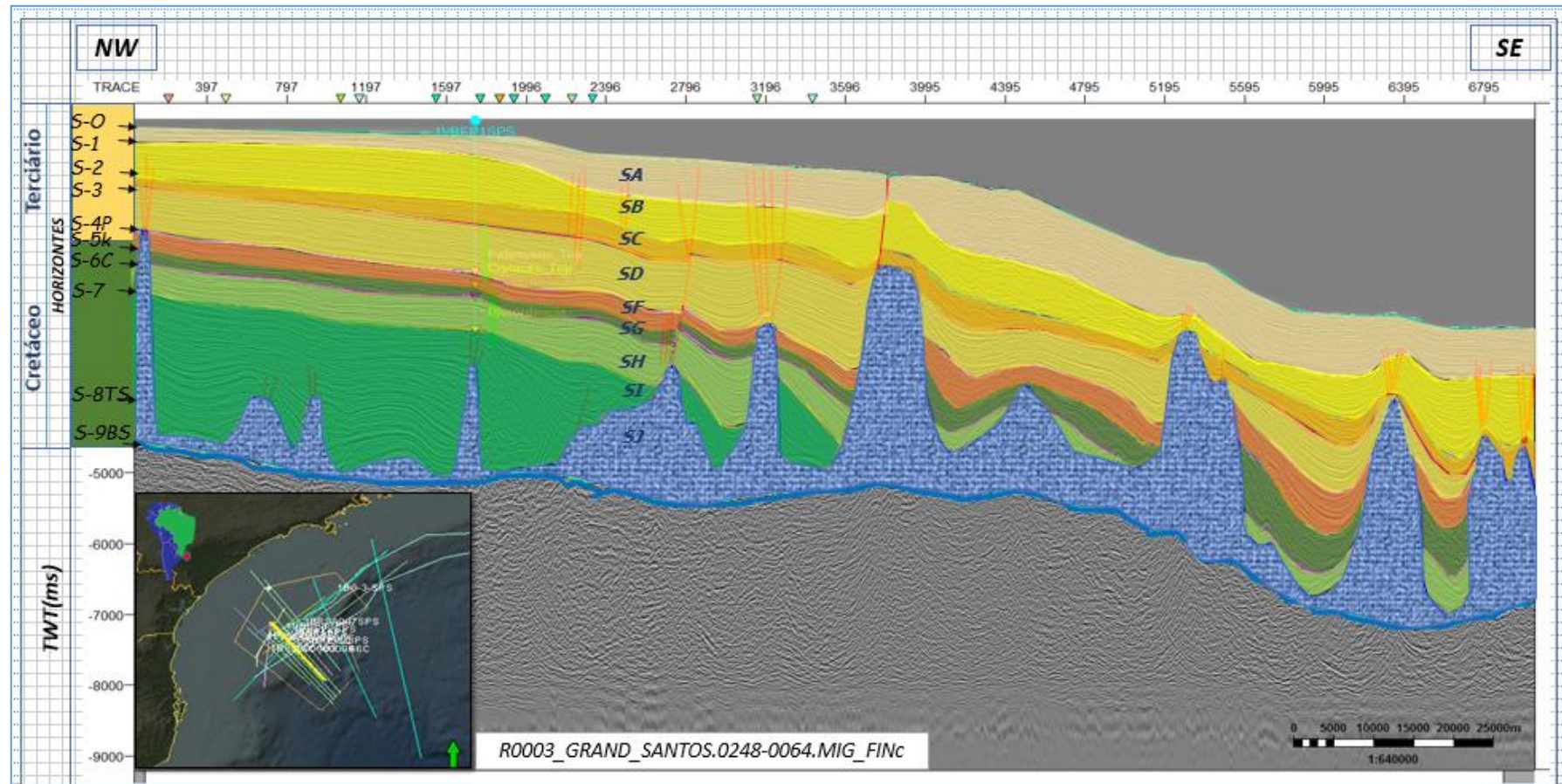
Tabela 6 - Sequências deposicionais

<i>Refletor</i>	<i>Expressão sísmica</i>	<i>Observações</i>
S-0FM		Refletor positivo, de refletividade alta e bastante contínuo. Apresenta múltiplas em algumas áreas.
SQ-1		Refletor positivo, de refletividade média a alta, semi contínuo. Pouco deformado pela tectônica salífera.
SQ-2		Refletor negativo, de refletividade média a alta, semi contínuo. Pouco deformado pela tectônica salífera. Esta sequência divide um padrão ruidoso na porção de
SQ-3		Refletor positivo, de refletividade baixa a média, semi contínuo. Deformado pela tectônica salífera.
SQ-4P		Refletor negativo, de refletividade média a alta, semi contínuo. Deformado pela tectônica salífera
SQ-5K		Refletor positivo, de refletividade baixa a média, semi contínuo. Muito deformado pela tectônica salífera.
SQ-6C		Refletor positivo, de refletividade média a alta, semi contínuo. Muito deformado pela tectônica salífera.
SQ-7		Refletor positivo a negativo de refletividade média a baixa semi contínuo. Muito deformado pela tectônica salífera.
SQ-8TS		Refletor positivo, de refletividade alta. Esta sequência afeta tectonicamente a deformação das sequências superiores. Refletor contínuo
SQ-9BS		Refletor positivo, de média a alta refletividade. Na base de grandes diápiros, perde resolução e apresenta um pull-up.

Fonte: A autora, 2016.

As principais características de reflexão sísmica das sequências mapeadas e a sua devida interpretação realizaram-se com base em dados de poços, biestratigráficos e da literatura.

Figura 24 - Linha sísmica R0003_GRAND_SANTOS.0248-0064.MIG_FIN



Nota: Detalhe dos horizontes sísmicos mapeados e as Sismossequência entre as seqüências identificadas.

Fonte: A autora, 2016.

4.2 Sismossequências

O mapeamento de cada uma das Sismossequências foi feito para as 23 linhas da área de estudo, porém se apresentam os resultados da interpretação e os atributos para 05 linhas principais (Figuras 25 a 36), quatro linhas *dip* e uma *strike*.

A arquitetura das Sismossequências do Cretáceo e do Terciário revelou-se bem mais complexa. A evolução no Cretáceo é marcada por maior aporte sedimentar progradacional e processos tectônicos como o primeiro levantamento da Serra do Mar, principalmente. O Terciário também foi marcado por grandes cunhas clásticas (clinoformas) progradacionais, grandes oscilações do nível do mar, desenvolvimento de carbonatos de borda de plataforma e o abatimento da Serra do Mar durante 56 milhões de anos aproximadamente.

A subdivisão do registro Cretáceo e Terciário em nove sismossequências deposicionais atendeu plenamente ao objetivo de caracterizar a geologia do Cretáceo superior e Terciário da bacia. Estas sequências apresentam características muito distintas, o que permitiu estabelecer, em linhas gerais, a sucessão de eventos. As características das sismossequências deposicionais da bacia, do Cretáceo superior ao Recente, são sumarizadas a seguir, buscando-se fornecer informações que permitam compreender sua arquitetura estratigráfica e distribuição ao longo da bacia. (Tabela 7).

4.2.1 Sismossequência SJ

Foi mapeado o horizonte S-9BS, considerado como limite inferior e S-8TS como limite superior da sismossequência SJ. O ambiente transicional foi marcado por espesso pacote evaporítico, composto essencialmente por anidrita e halita, depositados em ambiente lagunar. Tectonicamente esta sismossequência desenvolve estruturas em *roll-over*, devido ao arrasto junto à superfície das falhas lítricas formadas pela tectônica salífera e separa dois domínios tectônicos distintos; um domínio inferior, pela tectônica salífera própria da fase *rifte* e um domínio superior caracterizado pela tectônica de sal característica da fase *drift*. A idade desta sequência vai do Aptiano Superior ao Albiano Inferior. Em sequências progradantes, caracterizada por sismofácies progradacionais caóticas em alguns casos transparentes, correspondendo à sequência evaporítica da Formação Ariri. Esse padrão de reflexão pode ser

devido à presença de halita, que, segundo Gamboa *et al.* (2008), tende a sofrer deformação plástica durante a movimentação do sal, modificando a estratificação original. A geometria da Sismossequência é caracterizada pela presença de almofadas, domos e diápiros que são mais notáveis na plataforma externa da área de estudo (Figura 25-36) (Tabela 7).

4.2.2 Sismossequência SI

Foi mapeado o horizonte S-8TS, considerado como limite inferior e S-7 limite superior da sismossequência SI, em ambiente nerítico a abissal. A idade desta sequência é albiana inferior. Para o topo da sismossequência não se tem dados biostratigráficos, porém o topo foi marcado pela mudança na sismofácies. Engloba um trato de sistema de mar alto com sequências retrogradacionais, agradacionais e para o topo da sismossequência, sequências progradacionais caracterizadas por sismofácies regulares a subparalelas passando a sismofácies progradantes com padrões de configuração sigmoidal. A deformação associada à tectônica do sal gerou dobras de pequena amplitude e ondulações nos refletores correspondendo à sequência carbonática da Formação Guarujá caracterizada por calcirruditos e calcarenitos na borda da plataforma, calcilutos e margas na plataforma externa, gradando ou interdigitando-se a folhelhos escuros nas porções mais distais (Moreira *et al.*, 2007). A sismossequência SI apresenta um preenchimento das mini-bacias criada pela movimentação do sal. (Figura 25-36) (Tabela 7).

4.2.3 Sismossequência SH

Foi mapeado o horizonte S7, considerado como limite inferior e S-6C (Campaniano) limite superior da sismossequência SH, depositada em ambiente nerítico a abissal. Com base nos dados de bioestratigrafia disponíveis da literatura e daqueles da empresa de petróleo Karoon Energy, nos poços 1VBEP-1-SPS, 1VBEP-2-SPS, 1VBEP-3-SPS, sugere-se que o topo da sismossequência SI, seja de idade Campaniana. Caracterizada por uma série de eventos transgressivos que ocorreram do Albiano ao Turoniano, e eventos transgressivos-regressivos que aparentemente tomaram lugar no Senoniano. Caracterizada por

sismofácies regulares a subparalelas passando a sismofácies progradantes com padrões de configuração sigmoidal até a plataforma externa da área de estudo. Caracteriza-se pela progradação de sistemas costeiros com nível relativo do mar subindo (*Onlap*) (Figuras 25-36) (Tabela 7).

4.2.4 Sismossequência SG (Maastrichtiano)

Foi mapeado o horizonte S-6C, considerado como limite inferior e S-5K limite superior da sismossequência SG, depositada em ambiente abissal a batial. Com base nos dados de bioestratigrafia disponíveis da literatura e os informados pela empresa de petróleo Karoon Energy, nos poços 1VBEP-1-SPS, 1VBEP-2-SPS, 1VBEP-3-SPS, sugere-se que a base da sismossequência SG, seja de idade Campaniana e o topo Cretáceo. A sismossequência é caracterizada por refletores paralelos, dobrados pela tectônica salífera. Apresenta a mesma tendência de preenchimento do Campaniano, marcada pela progradação de sistemas costeiros com nível relativo do mar subindo (Figuras 25-36) (Tabela 7).

Os depósitos de sistemas aluviais e costeiros, que constituem as formações Santos e Juréia, interdigitam-se, no sentido do mergulho deposicional, à seção pelítica marinha da Formação Itajaí-Açu, que forma a parte distal das cunhas clásticas. A rápida progradação de sistemas siliciclásticos aluviais e costeiros registra mudança marcante no padrão de preenchimento sedimentar da área de estudo a partir do topo da sequência SH. Como consequência, sedimentos terrígenos grossos avançaram bacia adentro, vindo a constituir os arenitos e conglomerados das formações Santos e Juréia, a primeira mais proximal em relação à segunda. Caracterizada por sismofácies regulares a subparalelas passando a sismofácies progradantes com padrões de configuração sigmoidal.

4.2.5 Sismossequência SF (Paleoceno)

Foi mapeado o horizonte S-5K, considerado como limite inferior e S-4P como limite superior da sismossequência SF, depositada em ambiente abissal a batial. Com base nos dados de bioestratigrafia disponíveis da literatura e aqueles cedidos pela empresa de petróleo

Karoon Energy nos poços 1VBEP-1-SPS, 1VBEP-2-SPS, 1VBEP-3-SPS, sugere-se que a base da sismossequência SF, seja de idade Cretácea e o topo Paleoceno. O limite K/T, Cretáceo(SG)/Terciário(SF) é uma desconformidade importante na Bacia de Santos e coincide com um importante evento de queda global do nível do mar, de forma que este limite de sequência está intimamente associado a flutuação eustática negativa. Como consequência da queda acentuada do nível do mar, houve um evento importante de regressão forçada. Na parte superior da sequência o empilhamento é nitidamente transgressivo, com terminações *onlap*. A sismossequência caracteriza-se por refletores paralelos, levemente dobrados pela tectônica salífera (Figuras 25-36) (Tabela 7).

4.2.6 Sismossequência SD

Foi mapeado o horizonte S-4P, considerado como limite inferior e S-3 limite superior da sismossequência SD, depositada em ambiente batial. Não se tem dados de bioestratigrafia para o topo da Sismossequência, a interpretação do topo da sismossequência foi feita com base a características das sismofácies (Figuras 25-36) (Tabela 7).

A Sismossequência SD é caracterizada por refletores paralelos a subparalelos, levemente dobrados pela tectônica salífera. A sismossequência SD mostra, em geral, um empilhamento com tendência transgressiva, exibindo terminações em *onlap* sobre as sequências sotopostas, ocorrem refletores positivos paralelos de alta amplitude e observam-se clinofomas progradantes na região da plataforma.

Clinofomas deltaicas podem ser observadas em algumas seções sísmicas, principalmente na parte sul da bacia representando sistemas deltaicos. Apesar de pequenos avanços e recuos dos sistemas deltaicos, a linha de costa permaneceu, durante o intervalo de tempo da sequência, aproximadamente na posição da atual quebra da plataforma. A sismossequência SD é caracterizada pelo desenvolvimento de uma drenagem organizada e possante, responsável pela deposição de cunhas sedimentares bem desenvolvidas.

4.2.7 Sismossequência SC

Foi mapeado o horizonte S-3, considerado como limite inferior e S-2 limite superior da sismossequência SC, depositada em ambiente batial. Não se tem dados de bioestratigrafia para o topo da Sismossequência e a interpretação do topo da sismossequência foi feita com base nas características das sismofácies. A sismossequência SC é caracterizada pela presença de refletores oblíquos na plataforma externa, caracterizando clinofomas progradantes, reconhecendo uma queda do nível do mar, marcando o limite de sequência na sismossequência SC. Exibem terminações em downlap no horizonte à base da sismossequência SC e o empilhamento estratigráfico é principalmente agradacional, progradacional (Figuras 25-36) (Tabela 7).

4.2.8 Sismossequência SB

Foi mapeado o horizonte S-2, considerado como limite inferior e S-1 limite superior da sismossequência SB, depositada em ambiente batial a nerítico. Não se tem dados de bioestratigrafia para o topo da Sismossequência e a interpretação do topo da sismossequência foi feita com base nas características das sismofácies (Figuras 25-36) (Tabela 7).

A deposição da sequência SB se dá em, sobre a superfície de inundação máxima que marca o topo da sequência SC e que representa um trato de sistema transgressivo. A sequência SB apresenta um padrão de empilhamento predominantemente agradacional a progradacional. Pequenas variações relativas do nível do mar são observadas internamente à essa sequência, sendo observado um padrão de empilhamento essencialmente progradantes a retrogradacionais com um componente agradacional.

4.2.9 Sismossequência SA

Foi mapeado o horizonte S-1, considerado como limite inferior e S-0FM (Fundo Marinho) limite superior da sismossequência SA, depositada em ambiente nerítico. Não se tem dados de bioestratigrafia para o topo da sismossequência e a interpretação do topo da sismossequência foi feita com base nas características das sismofácies. É limitada no topo pelo refletor do fundo marinho, que se apresenta como um refletor positivo de alta amplitude, o que se deve ao grande contraste de impedância acústica entre a água do mar e os sedimentos depositados no fundo marinho. A deposição da sequência SA se dá sobre a superfície de inundação máxima que foi interpretada na sequência SB e que representa um trato de sistema transgressivo (Figuras 25-36) (Tabela 7).

4.3 **Interpretação sismoestrutural**

A interpretação sismoestrutural foi feita essencialmente na seção drift, identificando-se diferentes tipos de estilos estruturais de acordo com sua gênese e idade (Figuras 25-36).

Interpretaram-se falhas associadas à tectônica salífera. A movimentação do sal, possivelmente causada pela sobrecarga das unidades marinhas pós-sal, imprimiu uma estruturação nas unidades sedimentares sobrepostas. Foram criadas falhas normais nas unidades sedimentares depositadas sobre os diápiros e domos de sal, causadas pelo colapso após o soerguimento do sal; e falhas lítricas de médio a grande porte nas paredes dos diápiros, provocando o arqueamento das unidades sobrepostas, gerando falhas de crescimento das camadas sobrepostas sobre a superfície da falha lítrica. As falhas normais cortam desde a seção Albiana até as unidades mais recentes, mostrando que a movimentação do sal perdura até hoje (Figuras 25-36).

Próximo à linha de charneira, ocorrem falhas de alto ângulo cortando as unidades sedimentares, mas só se identificou claramente na linha sísmica dip R0003_GRAND_SANTOS.0248-0059.MIG_FIN, que não estão associadas à tectônica do sal diretamente. Essas falhas cortam desde a sismossequência SG mas não ultrapassam a sismossequência SA (Figuras 27-28).

Essas falhas sugerem uma reativação tectônica que ocorreu no início do Terciário. Sugere-se que esse falhamento corresponde ao registro do soerguimento da Serra do Mar, que se deu por colapso gravitacional do megaplano Cretáceo que se estendia até a Charneira de Santos, ocasionando o escorregamento de grabens e o soerguimento de ombreiras por rebote elástico (Zalán 2005).

Tabela 7 - Quadro generalizado dos horizontes sísmicos interpretados com a interpretação das sismossequências

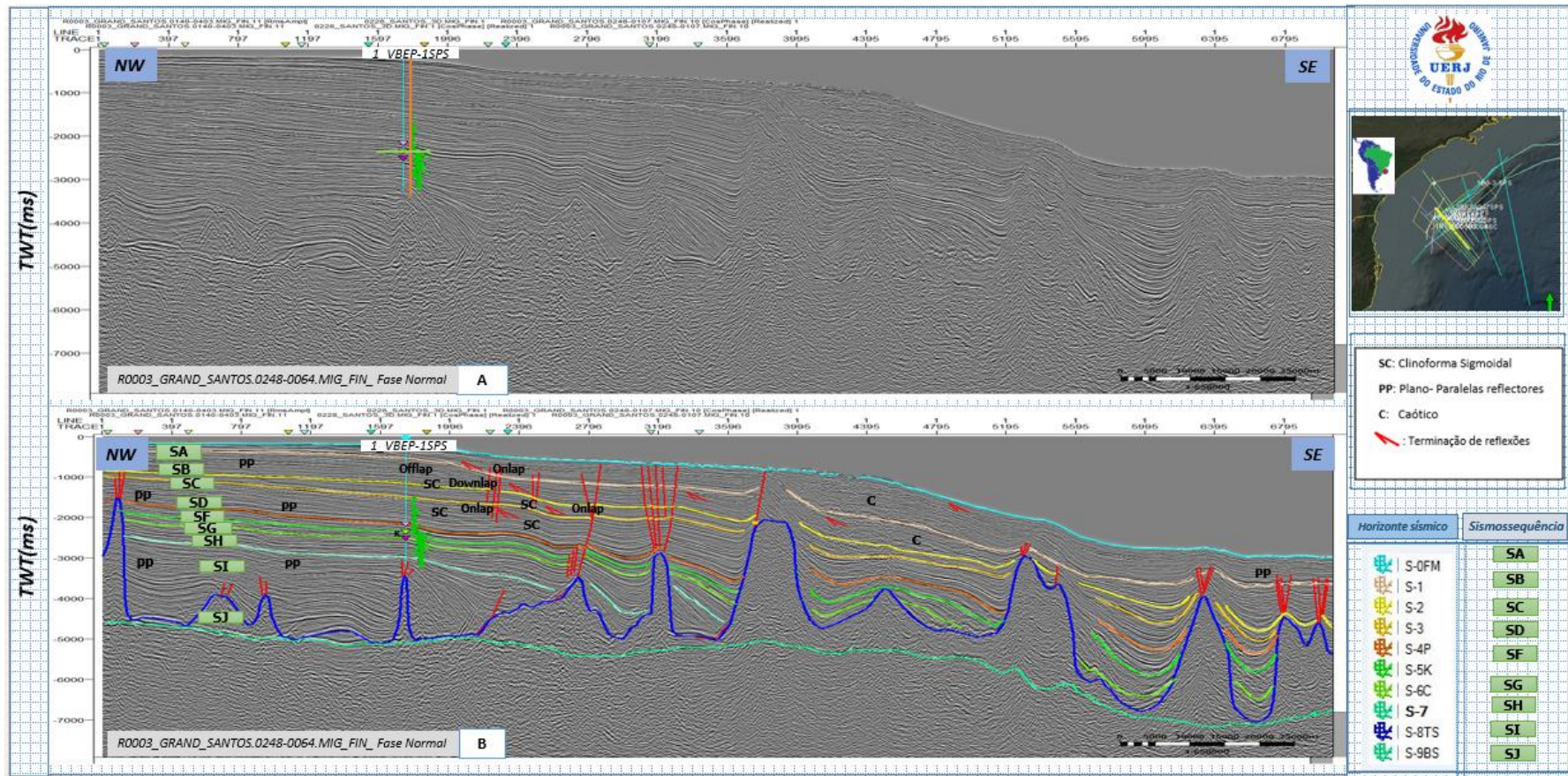
Horizonte sísmico	Sismossequência	Terminações	Padrão de empilhamento	Tratos-Parasequências (Unidades Genéticas IV; Catureanu 2009))		Correlação Sequências (Moreira 2007)		
S-0FM	SA	Toplap Downlaps Onlap	Subparalela-Sigmoidal Retrogradação, Agradação	TST	HST	DRIFT	E20	
S-1								SB
S-2	SC	Onlap, Toplap Downlaps	Subparalela-Sigmoidal Agradação Progradação	LST	LST			
S-3					SD			Truncamentos Toplap, Downlaps, Onlap
S-4P	SF	Toplap Downlaps	Subparalela-Sigmoidal Agradação Progradação	LST				
S-5K					SG			Onlap Downlaps
S-6C	SH	Onlap Downlaps	Paralela a Subparalela Agradação Progradação	TST-HST ?				
S-7					SI			Onlap
S-8TS	SJ	----	----	----				

Nota: Correlação das sequências (Moreira, 2007) com as sequências identificadas da área de estudo.

Sismossequência em termos das terminações estratiais, padrão de empilhamento e tratos do mar e parasequências das Sismofácies, para área de estudo

Fonte: A autora, 2016.

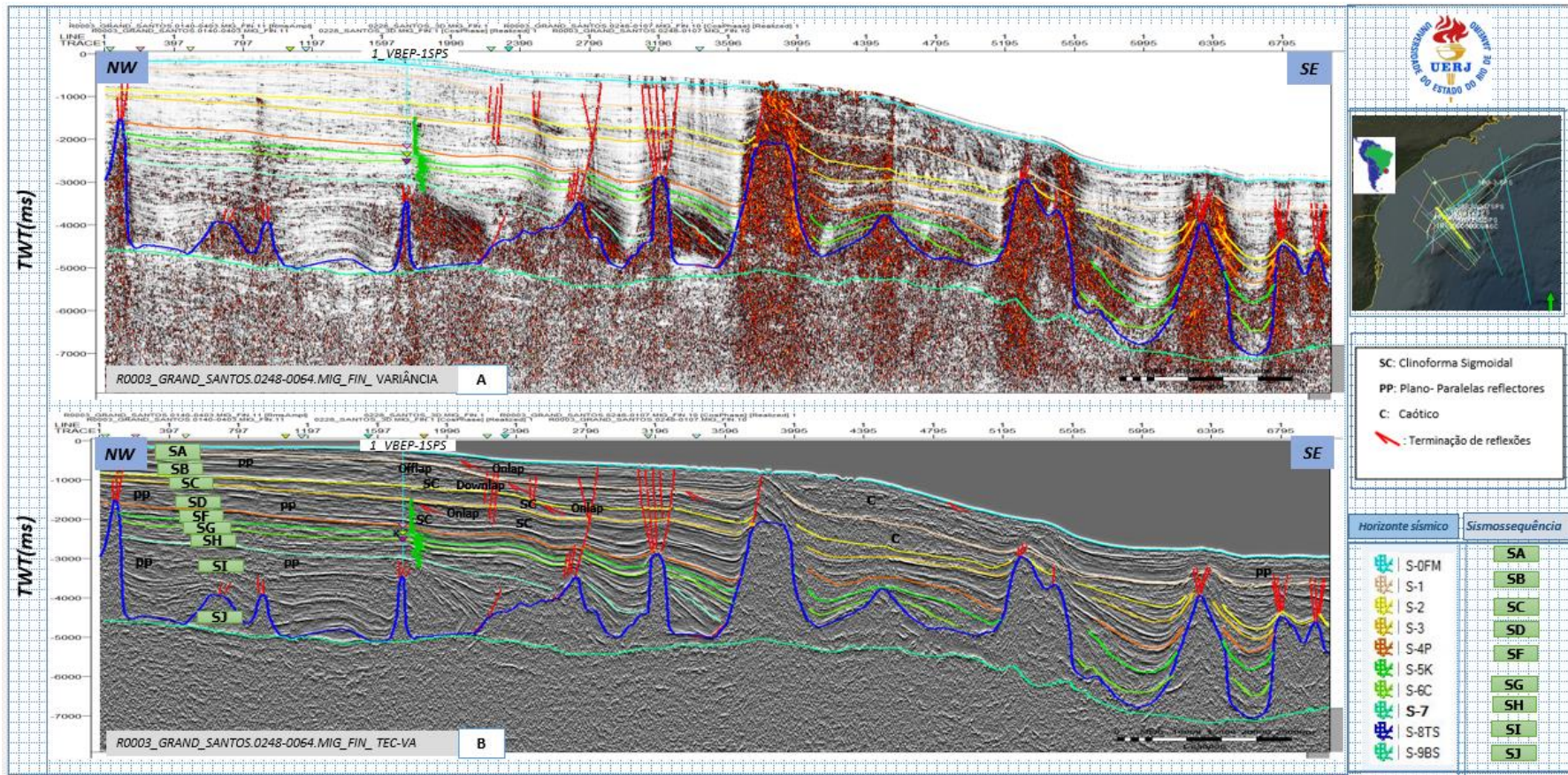
Figura 25 - Linha sísmica dip R0003_GRAND_SANTOS.0248-0064.MIG_FIN



Nota: Detalhe dos horizontes sísmicos mapeados e as Sismofácies identificadas e padrões de terminação. A: FASE NORMAL, B: FASE NORMAL

Fonte: A autora, 2016.

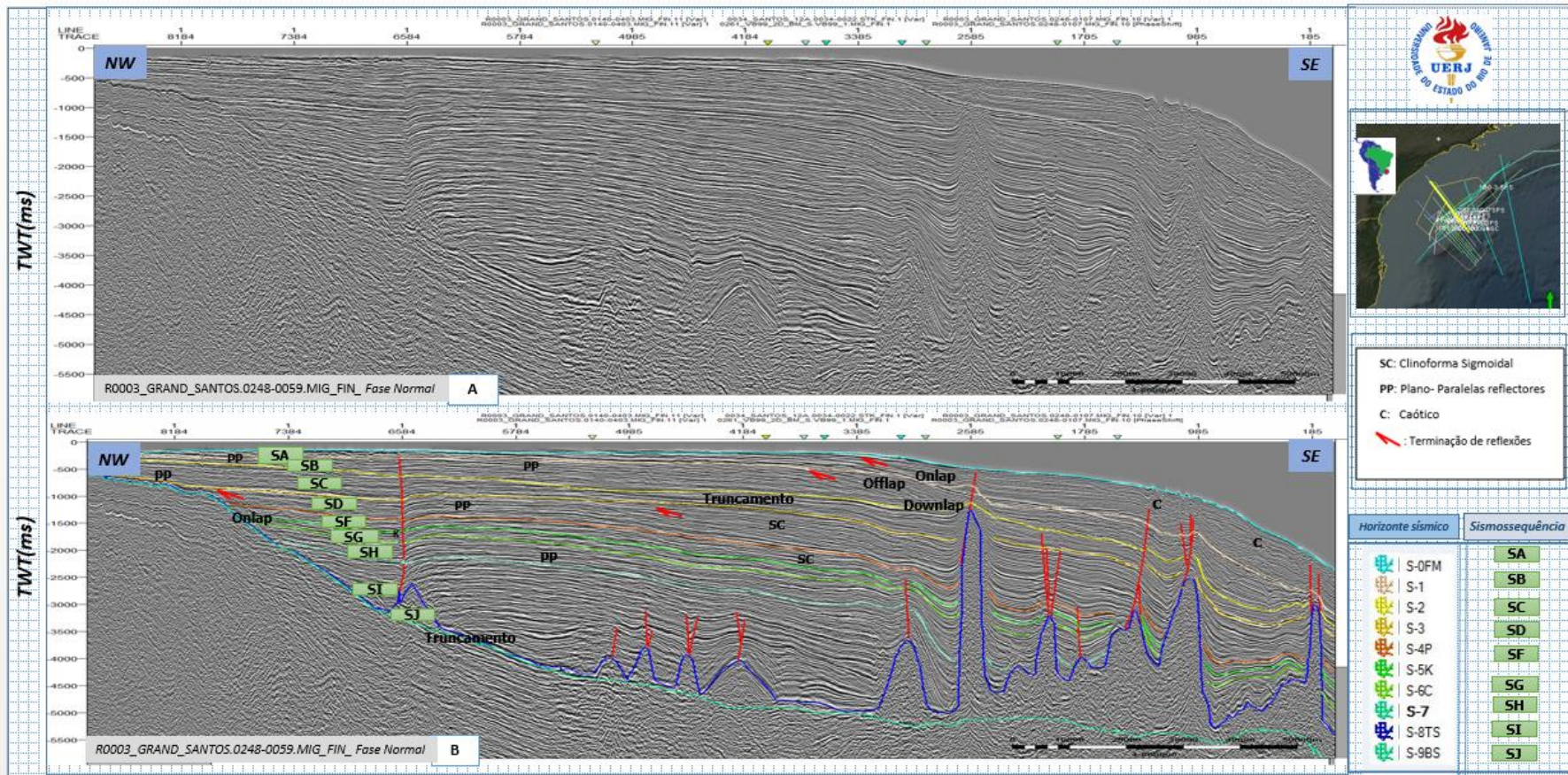
Figura 26 - Linha sísmica dip R0003_GRAND_SANTOS.0248-0064.MIG_FIN com atributos sísmicos



Nota: Detalhe dos horizontes sísmicos mapeados e as Sismofácies identificadas e padrões de terminação. A: VARIÂNCIA, B: TEC-VA.

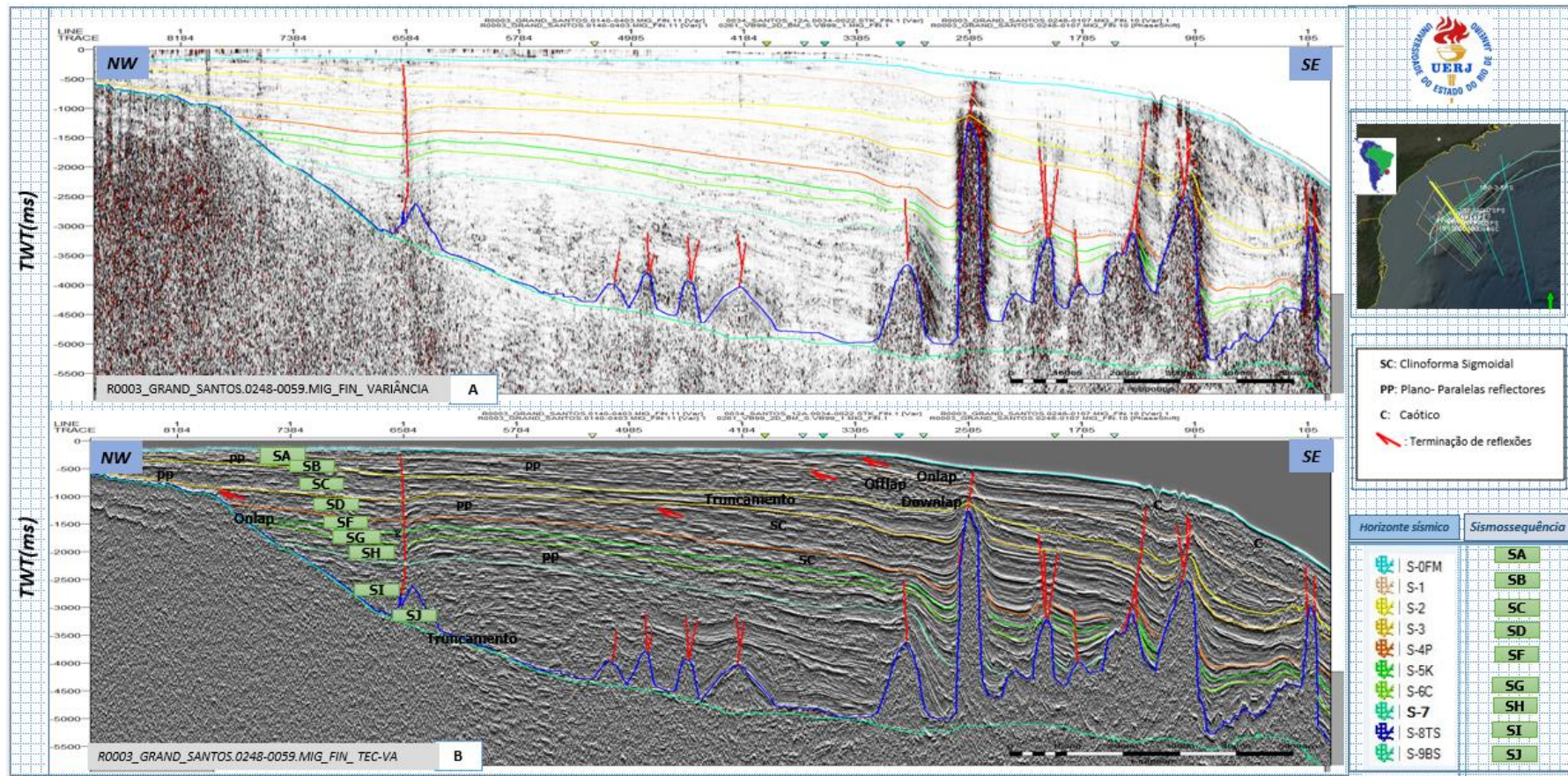
Fonte: A autora, 2016.

Figura 27 - Linha sísmica dip R0003_GRAND_SANTOS.0248-0059.MIG_FIN



Nota: Detalhe dos horizontes sísmicos mapeados e as Sismofácies identificadas e padrões de terminação. A: FASE NORMAL, B: FASE NORMAL com interpretação.
 Fonte: A autora, 2016.

Figura 28 - Linha sísmica dip R0003_GRAND_SANTOS.0248-0059.MIG_FIN com atributos sísmicos



Nota: Detalhe dos horizontes sísmicos mapeados e as Sismofácies identificadas. A: VARIÂNCIA, B: TEC-VA

Fonte: A autora, 2016.

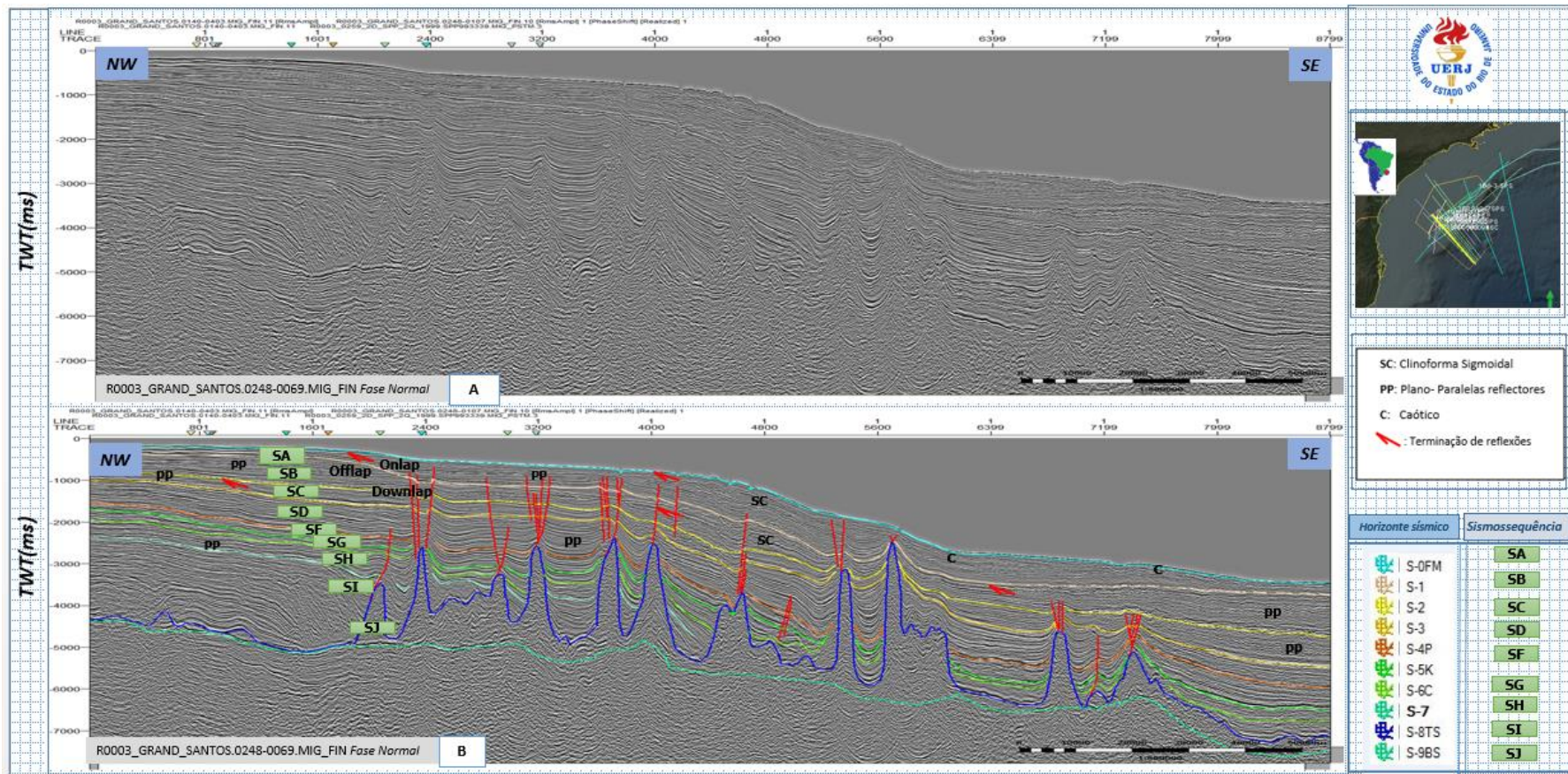
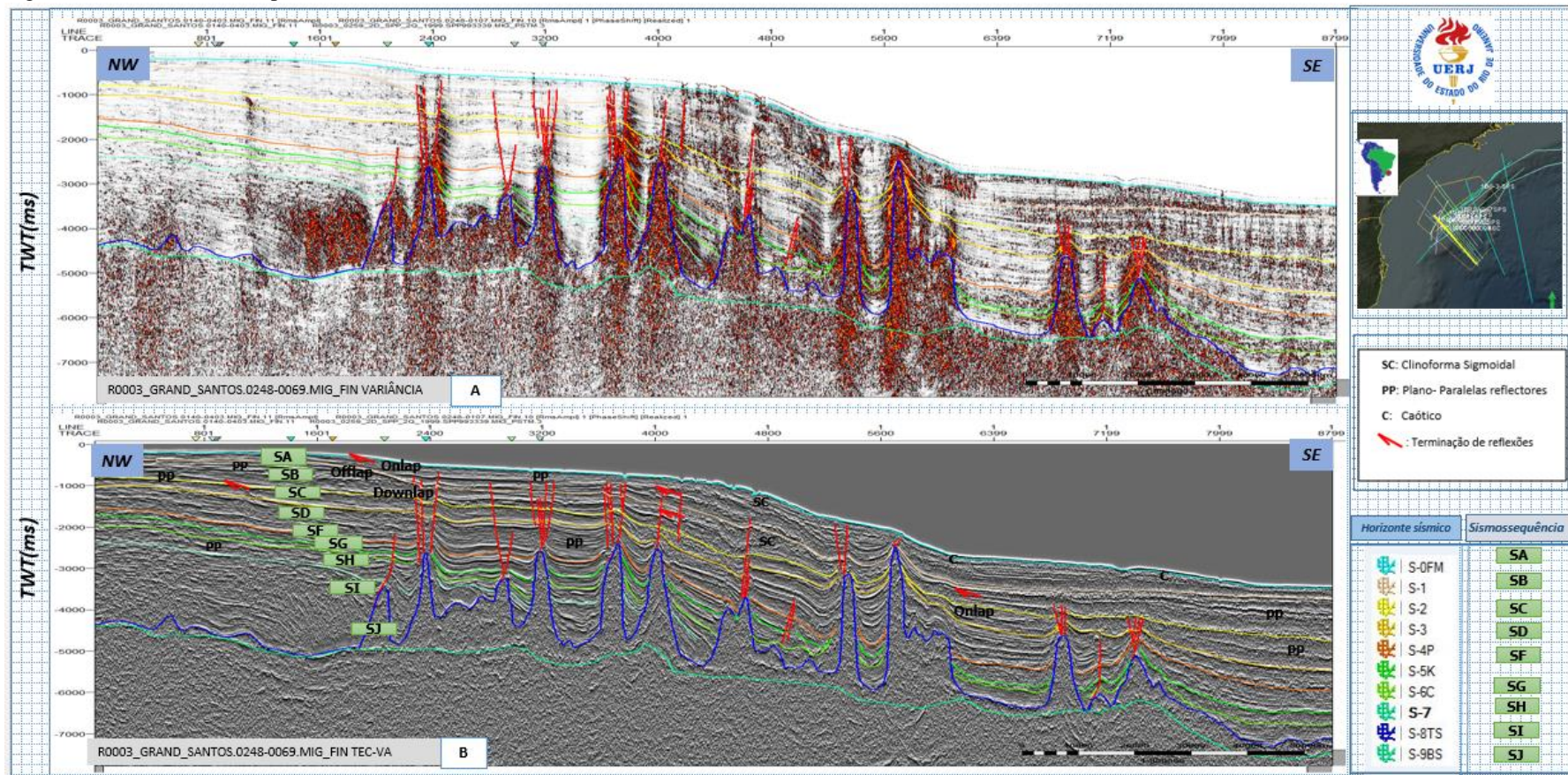


Figura 29 - Linha sísmica dip R0003_GRAND_SANTOS.0248-0069.MIG_FIN

Nota: Detalhe dos horizontes sísmicos mapeados e as Sismofácies identificadas e padrões de terminação. A: FASE NORMAL, B: FASE NORMAL com interpretação.

Fonte: A autora, 2016.

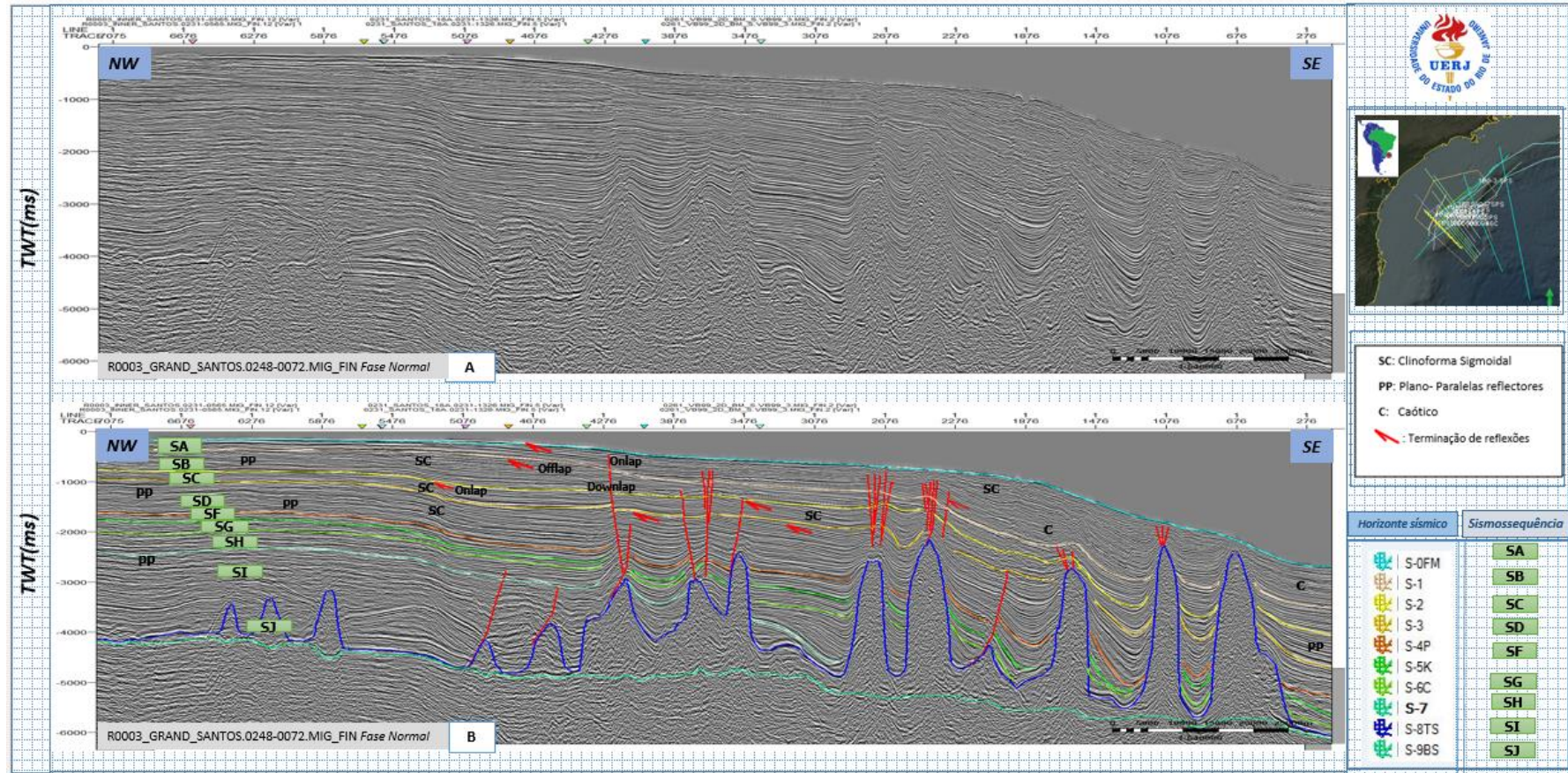
Figura 30 - Linha sísmica dip R0003_GRAND_SANTOS.0248-0069.MIG_FIN com atributos sísmicos



Nota: Detalhe dos horizontes sísmicos mapeados e as Sismofácies identificadas. A: VARIÂNCIA, B: TEC-VA

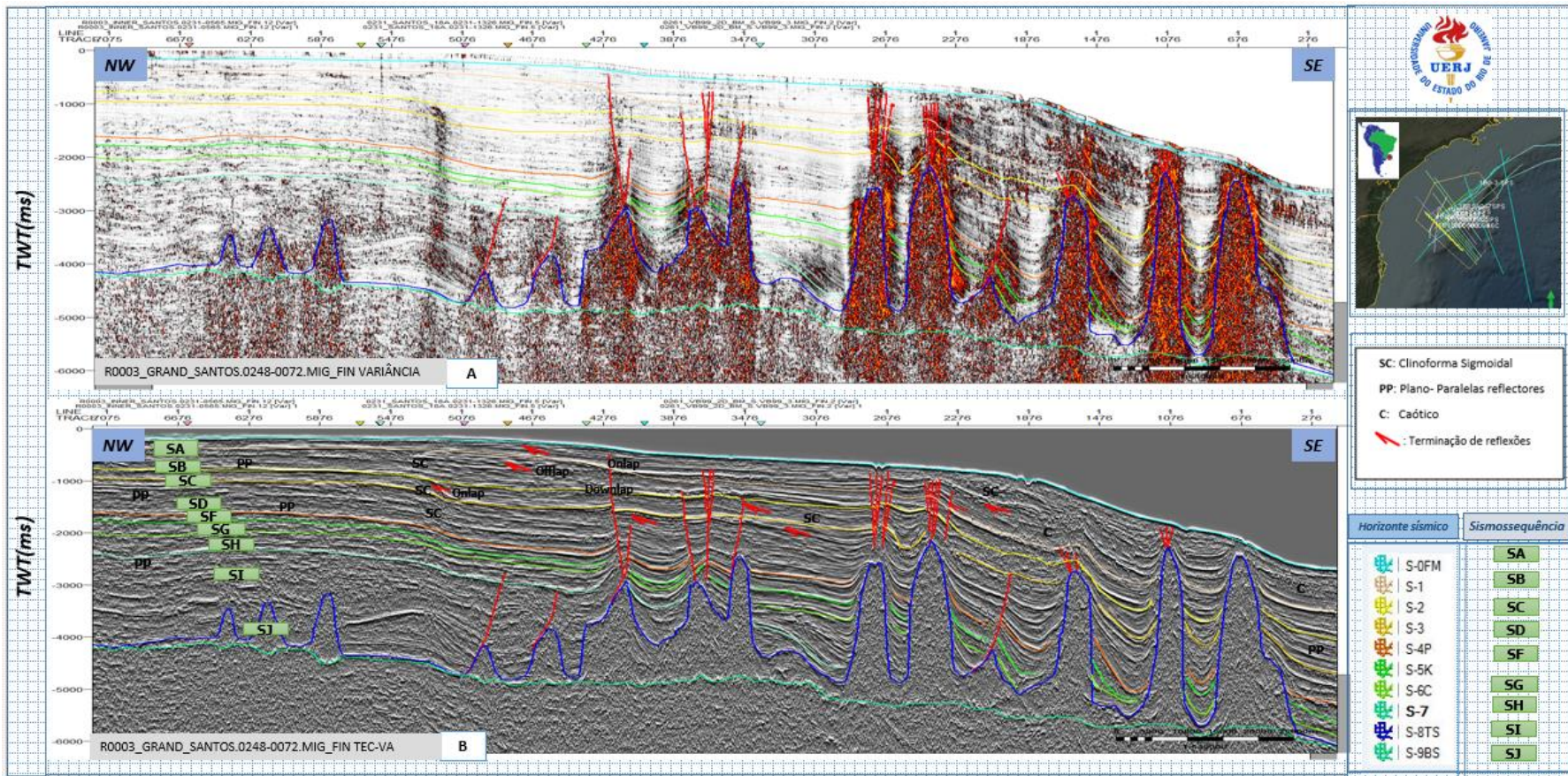
Fonte: A autora, 2016.

Figura 31 - Linha sísmica dip R0003_GRAND_SANTOS.0248-0072.MIG_FIN



Nota: Detalhe dos horizontes sísmicos mapeados e as Sismofácies identificadas e padrões de terminação. A: FASE NORMAL, B: FASE NORMAL com interpretação
 Fonte: A autora, 2016.

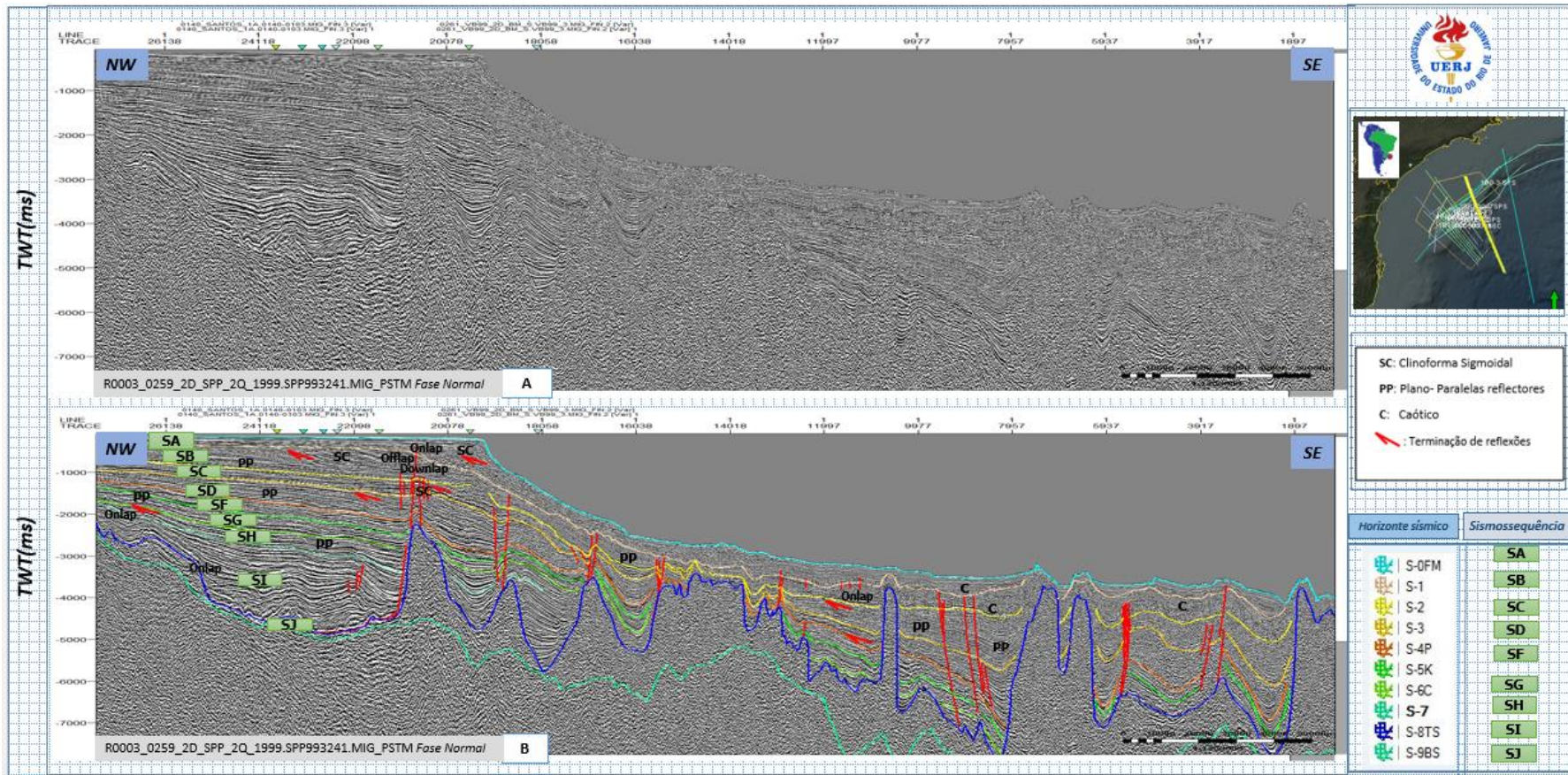
Figura 32 - Linha sísmica dip R0003_GRAND_SANTOS.0248-0072.MIG_FIN com atributos sísmicos



Nota: Detalhe dos horizontes sísmicos mapeados e as Sismofácies identificadas. A: VARIÂNCIA, B: TEC-VA

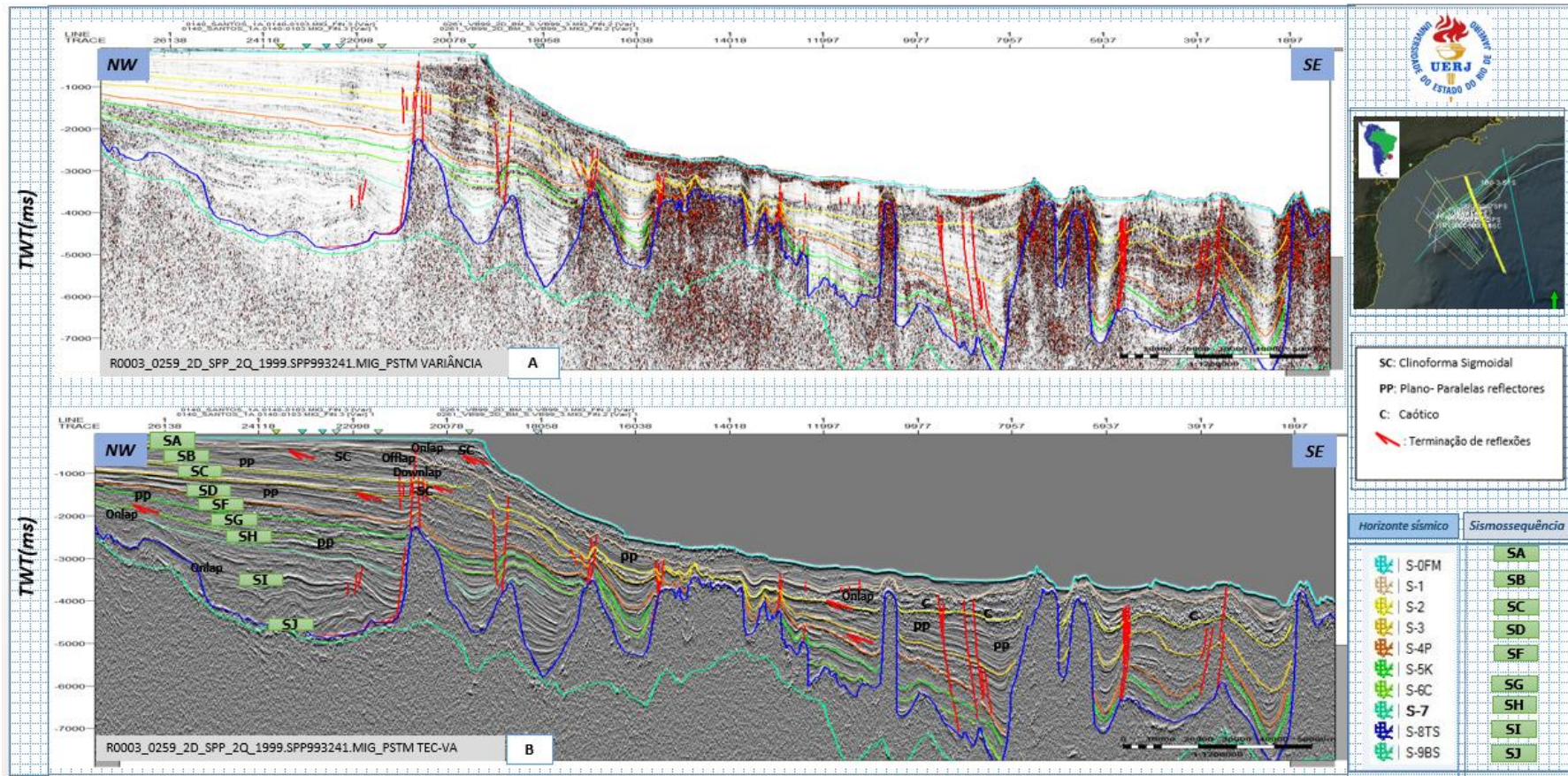
Fonte: A autora, 2016.

Figura 33 - Linha sísmica dip R0003_0259_2D_SPP_2Q_1999.SPP993241.MIG_PSTM



Nota: Detalhe dos horizontes sísmicos mapeados e as Sismofácies identificadas e padrões de terminação. A: FASE NORMAL, B: FASE NORMAL com interpretação
 Fonte: A autora, 2016.

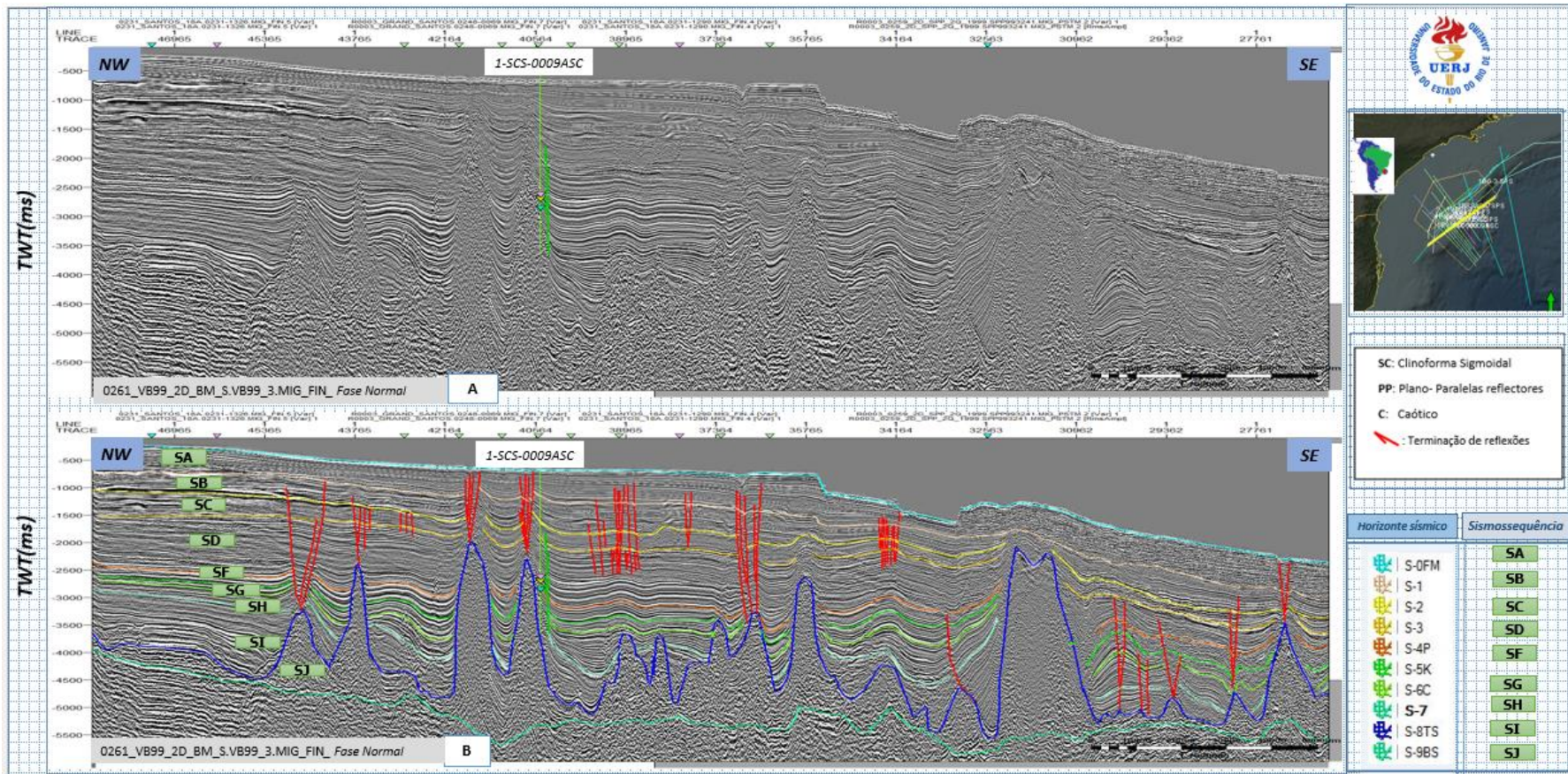
Figura 34 - Linha sísmica dip R0003_0259_2D_SPP_2Q_1999.SPP993241.MIG_PSTM com atributos sísmicos



Nota: Detalhe dos horizontes sísmicos mapeados e as Sismofácies identificadas. A: VARIÂNCIA, B: TEC-VA

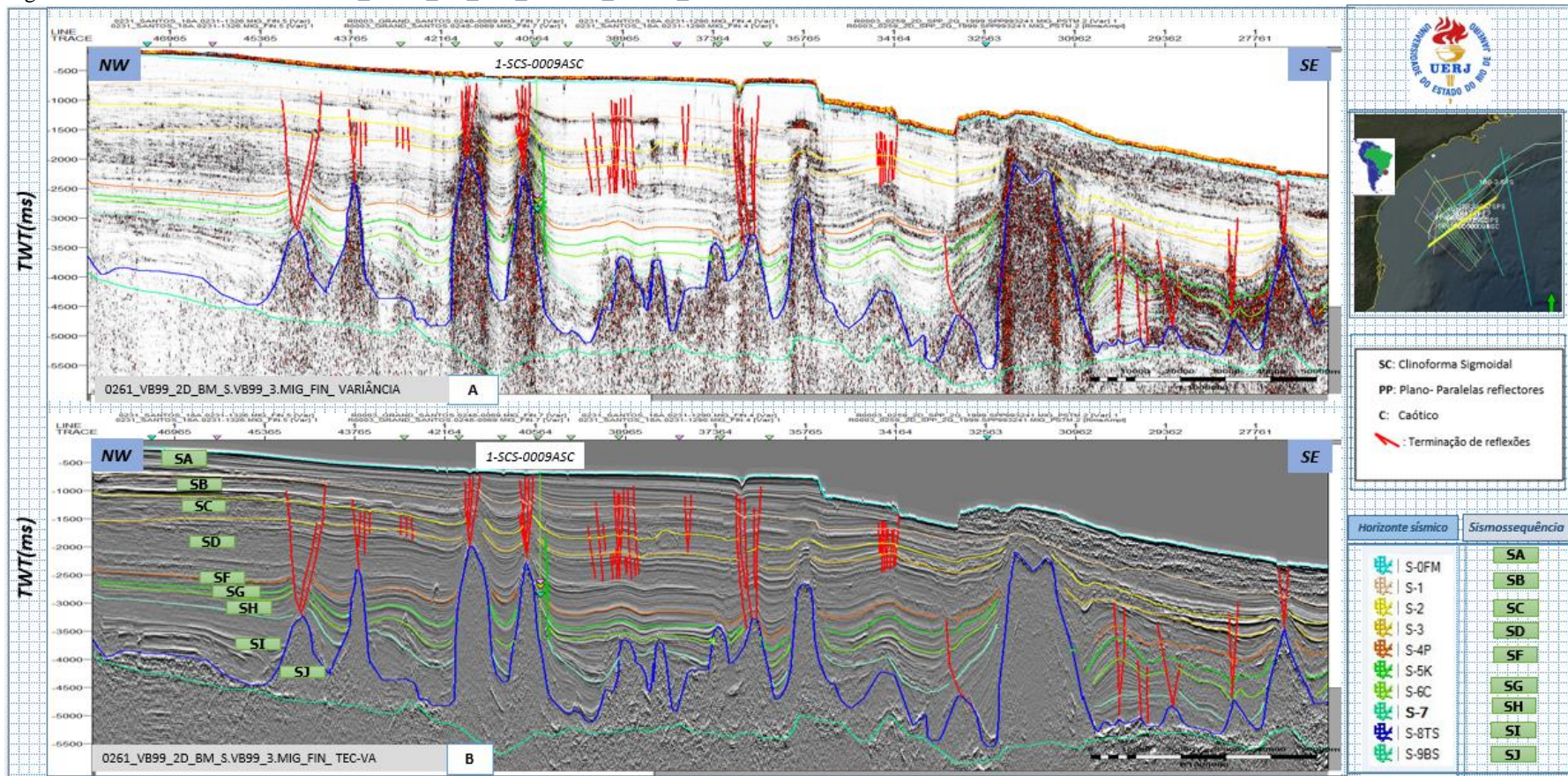
Fonte: A autora, 2016.

Figura 35 - Linha sísmica strike 0261_VB99_2D_BM_S.VB99_3.MIG_FIN



Nota: Detalhe dos horizontes sísmicos mapeados e as Sismofácies identificadas e padrões de terminação. A: FASE NORMAL, B: FASE NORMAL com interpretação
 Fonte: A autora, 2016.

Figura 36 - Linha sísmica strike 0261_VB99_2D_BM_S.VB99_3.MIG_FIN com atributos sísmicos



Nota: Detalhe dos horizontes sísmicos mapeados e as Sismofácies identificadas. A: VARIÂNCIA, B: TEC-VA

Fonte: A autora, 2016.