

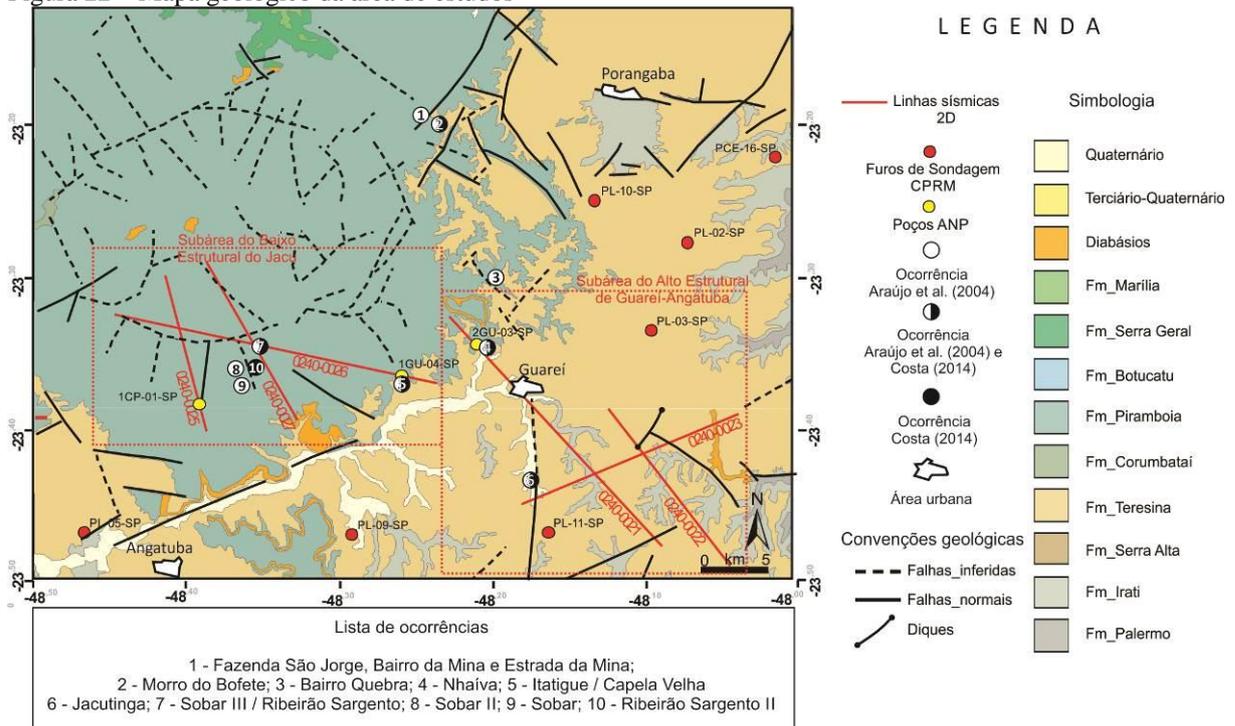
## 4 INTERPRETAÇÃO SÍSMICA

### 4.1 Introdução

O pacote de dados requerido ao BDEP e utilizado na interpretação sísmica incluiu onze linhas 2D pós-stack - sendo seis na área de estudos - pertencentes ao levantamento 0240\_PARANÁ\_51 da PETROBRAS, de 1992, além de três poços da ANP que interceptam três dessas linhas (Figura 22). É notável que o motivador para o levantamento das linhas e dos poços seja a presença dos arenitos asfálticos da Formação Piramboia aflorantes na região do município de Guareí, pois o poço 2-GU-03-SP foi perfurado na ocorrência de Nhaíva; o poço 1-GU-04-SP na ocorrência de Capela Velha; e o poço 1-CP-01-SP próximo às ocorrências de Sobar/Ribeirão Sargento. Além dos poços, a linha 0240-0026 intercepta as ocorrências de Sobar/Ribeirão Sargento e de Capela Velha e a linha 0240-0021 a ocorrência de Nhaíva, além de passar próxima a ocorrência de Jacutinga no seu prolongamento para SE.

Aparentemente, a disposição das outras linhas foi planejada a fechar um quadrante na tentativa de tridimensionar em subsuperfície a geologia que possibilitou a existência dessas acumulações, sendo as linhas 0240-0021, 0022 e 0023 localizadas predominantemente em área de ocorrência da geradora (Formação Irati), e as linhas 0240-0025, 0026 e 0027 em área de ocorrência do reservatório e da borda da Estrutura do Jacu. Para efeito de interpretação, as linhas foram divididas em duas subáreas a condicioná-las à sua localização estrutural: Subárea do Baixo Estrutural do Jacu e Subárea do Alto Estrutural de Guareí-Angatuba (Figura 22).

Figura 22 – Mapa geológico da área de estudos



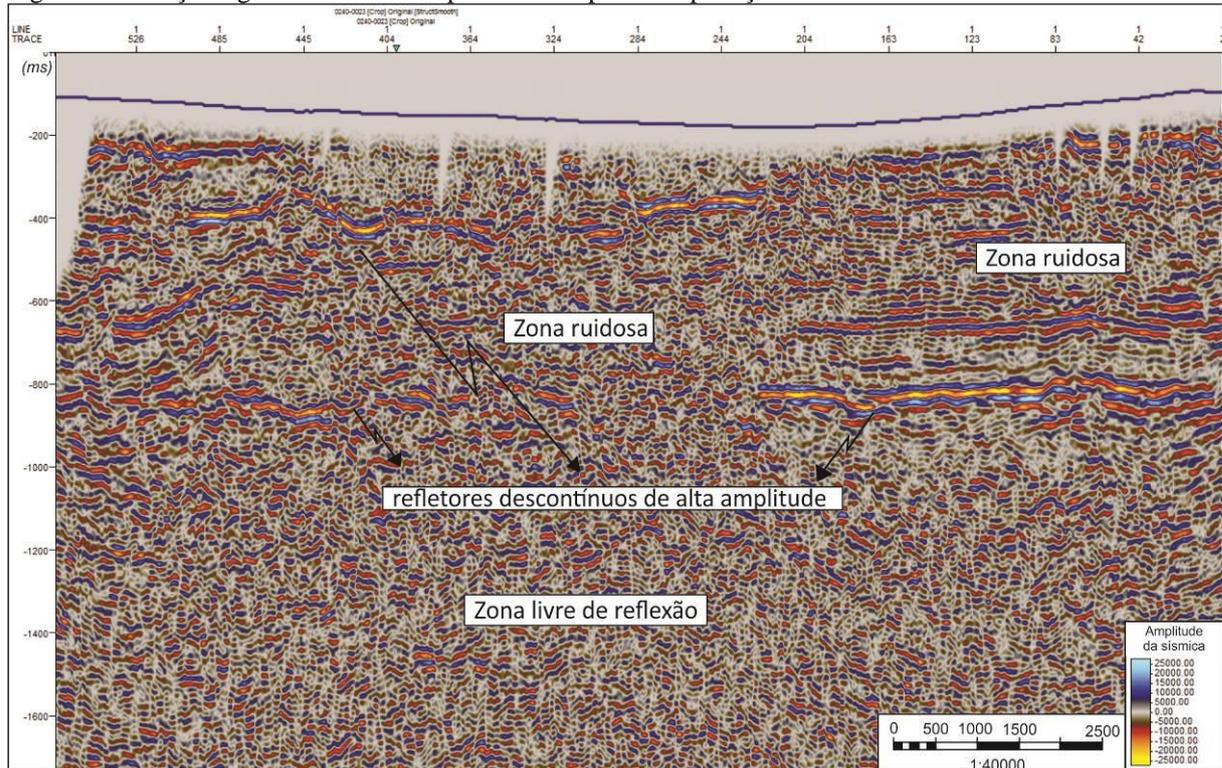
Nota: No mapa estão localizadas as linhas 2D interpretadas e as subáreas de interpretação (Baixo Estrutural do Jacu e Alto Estrutural de Guareí-Angatuba).

Fonte: O autor, 2015.

As motivações ficam no campo da especulação, porque não há um relatório técnico disponível ou que se tenha conhecimento para análise, tampouco foi achado na bibliografia alguma referência acerca da interpretação destas linhas em específico na Bacia do Paraná. Araújo *et al.* (2005) no trabalho voltado para as acumulações do Alto Estrutural de Anhembi, também no centro-leste paulista e a norte da área de pesquisa desta dissertação, fazem menção a dificuldade no estudo de acumulações de hidrocarbonetos na Bacia do Paraná, devido aos espessos pacotes de rochas vulcânicas que dificultam o imageamento sísmico, de modo que tal limitação do método foi condicionador ao uso de outras ferramentas como análises morfoestrutural, gravimétrica, magnetométrica e dados de geologia de campo.

Tal comprometimento na qualidade do imageamento foi percebido no traço original da sísmica disponível, pois apresenta uma razão do sinal/ruído muito baixa provocada pela imensa quantidade de soleiras e diques de diabásio, que absorvem parte da frequência das ondas emitidas pela fonte (Figura 23).

Figura 23 – Traço original da sísmica disponibilizado para interpretação



Nota: Exemplo da Linha 0240-0022: No geral a sísmica é bastante ruidosa com alguns refletos de alto contraste de impedância possivelmente associados a soleiras de diabásio.

Fonte: O autor , 2015.

Não há nenhuma informação sobre a aquisição e o processamento além das datas em que ocorreram: 1992 e 2000, respectivamente. O dado tampouco inclui alguma informação embutida em sua linguagem que pudesse acrescentar algo a melhor conhecê-lo e manipulá-lo, somente o mínimo para visualizá-lo. Por exemplo, um dado importante e ausente foi o nível de referência da sísmica (SRD - *Seismic Reference Datum*), necessário para carregar as linhas com um datum de referência flutuante que leve em consideração a correção estática pela topografia, já que o dado é em terra com cotas de terreno variáveis, diferentemente da sísmica marinha em que o SRD é o nível do mar. Isso teve grandes implicações na calibração com os poços, pois o SRD marca o tempo zero da sísmica.

A metodologia utilizada para interpretação seguiu um fluxo de trabalho no Petrel da Schlumberger versão 2014.1 que incluiu: carregamento dos dados, a aplicação de filtros para minimizar os ruídos; a calibração dos poços através da geração de sismogramas sintéticos; a extração de atributos sísmicos; a interpretação dos principais horizontes; e a interpretação das principais estruturas e soleiras de diabásio.

É importante frisar que com uma resolução sísmica tão deficiente, o maior aliado incontestemente em sua interpretação foi o condicionante de que o sistema petrolífero é aflorante.

Além de fornecer análogos, a geologia de superfície é um indicador direto do que está acontecendo em subsuperfície.

## 4.2 Carregamento dos dados

Antes do carregamento dos dados algumas definições essenciais foram parametrizadas no projeto, para que não houvesse problemas como: posicionamento geográfico, de projeção, datum, sistema de unidades, etc.

### 4.2.1 Definições de projeção, datum e unidades

O projeto global foi configurado a um sistema de coordenadas projetadas UTM (Universal Transverse Mercator), Zona 22S e Datum SAD69. Desse modo, os dados de entrada (linhas 2D, poços, imagens, dados culturais e arquivos shapes) são projetados sob o mesmo sistema.

As linhas sísmicas estão no domínio do tempo, medido em milissegundos (ms), enquanto os dados de profundidade medida dos poços, marcadores estratigráficos e de distância do projeto em metros (m). Outras unidades importantes como as dos registros petrofísicos de poço estarão sempre expostos na interface das figuras para consulta, mas de antemão preservou-se a(s) unidade(s) definida como padrão pelo Petrel, no que por verificação, são unidades há muito utilizadas na indústria e na academia.

Como exposto no subcapítulo 4.1, a definição do Datum de Referência da Sísmica (SRD) foi feito pelo método de tentativa e erro já que não se tinha essa informação. O SRD afeta diretamente a relação tempo-profundidade do poço com a sísmica, de modo a alterar os valores de velocidade média e intervalar das amostras medidas a profundidades conhecidas em tempo de trânsito (registro do sônico), com o tempo da sísmica. Tal erro é verificado pelos valores negativos das velocidades média e intervalar que devem ser positivos.

Em sísmica terrestre, o SRD é definido na aquisição/processamento, podendo ser uma projeção horizontal acima ou abaixo da superfície topográfica (Sheriff, 2002 apud. Gordon, 2014). Partindo dessa premissa, carregou-se os dados com um SRD igual a 0, ou seja, nível do

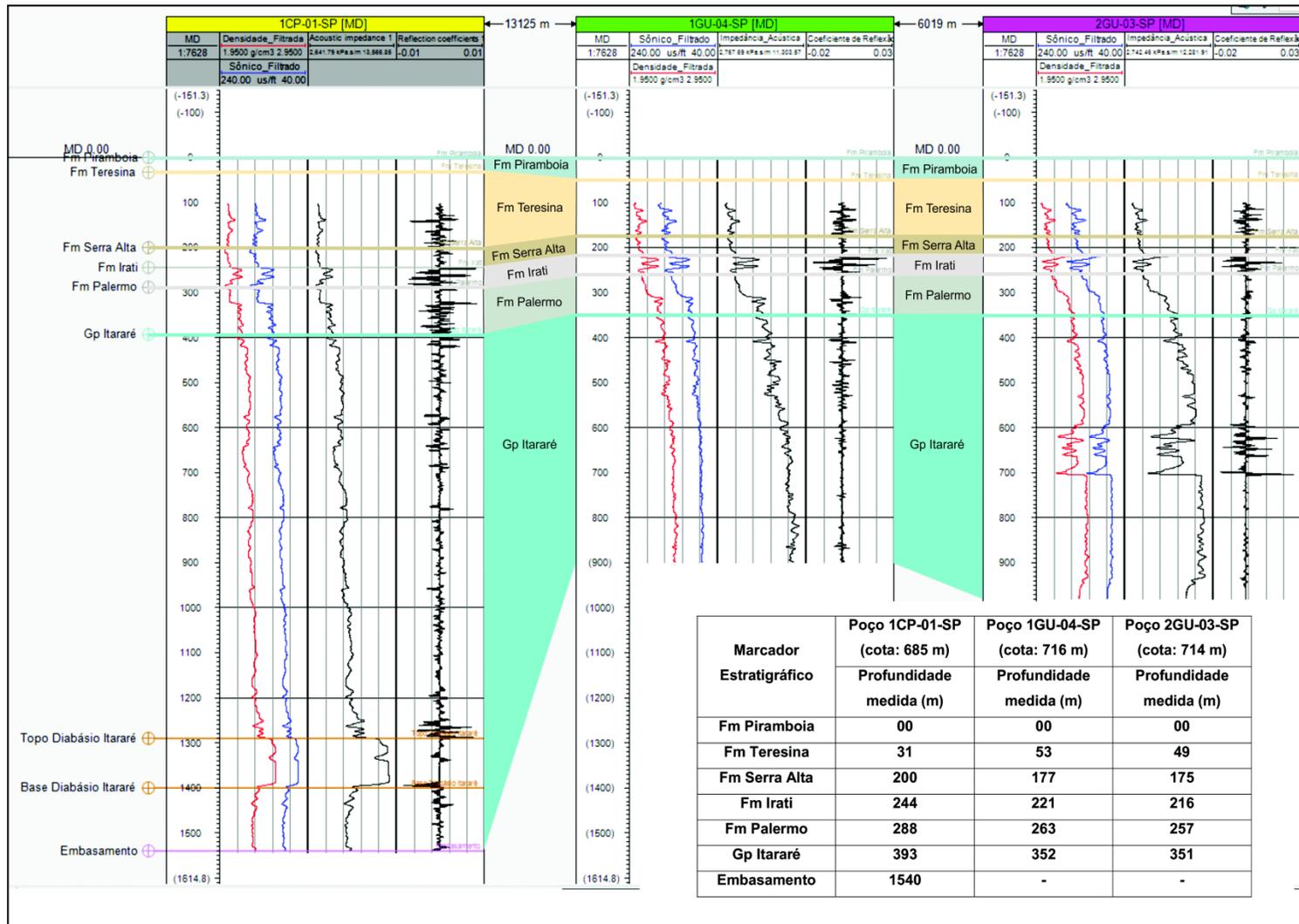
mar. Com o fracasso, tentou-se um valor próximo da cota mínima do terreno de 400 (400 m acima do NM). A partir desse ponto, utilizou-se de um incremento progressivo de 100 em 100 unidades, obtendo para o valor do SRD igual a 900, velocidades médias e intervalares positivas e coesas com a metodologia de calibração de um poço. As cotas mais elevadas da topografia para esta área estão próximas do valor de 900 m, denotando certo padrão de confiabilidade ao novo SRD.

#### 4.2.2 Definição dos marcadores estratigráficos

Os marcadores estratigráficos foram definidos a partir dos relatórios dos poços da ANP e dos furos de sondagem da CPRM, que atribuíram a uma profundidade medida a partir da análise de litologias, testemunhos, amostras de calha, perfilagens geofísicas e paleontologia no poço/furo, a um topo/base de um marcador estratigráfico conhecido. São eles: Embasamento; Topo do Grupo Itararé, Topo da Formação Palermo; Topo da Formação Irati; Topo da Formação Serra Alta; Topo da Formação Teresina e Formação Piramboia (Figura 24).

Outros marcadores foram adicionados ao longo da interpretação como, por exemplo, topos e bases de soleiras de diabásios bem marcadas nos registros e datums cronoestratigráficos para a correlação de poços (vide Figura 24).

Figura 24 – Marcadores estratigráficos definidos para os poços em interface de correlação



Nota: O Quadro interna na figura mostra os topos observados nos poços.

Fonte: O autor, 2015.

### 4.3 Calibração Poço-Sísmica

A calibração de um poço com a sísmica tem por finalidade atribuir uma relação tempo-profundidade (TDR – *time depth relationship*) a partir de valores medidos por ferramentas geofísicas (sônico, sísmica de poço, checkshot, VPS) no poço, com o domínio da sísmica em TWT (*two way time* ou tempo duplo). Desse modo, a interpretação de refletores na sísmica em tempo, pode corresponder de maneira mais confiável a intervalos geológicos verificados e reconhecidos a uma determinada profundidade no poço.

Com uma relação tempo-profundidade atribuída, é possível gerar um **sismograma sintético** necessário para a amarração do poço com a sísmica, além de implicar na construção de um modelo de velocidade que possibilita a conversão tempo-profundidade ou vice e versa.

Segundo o dicionário *Oilfield Glossary* da Schlumberger, um sismograma sintético é um modelo direto, unidimensional e artificial de uma dada energia acústica viajando através das camadas da Terra. É resultado da convolução da refletividade derivada dos perfis **sônico** e **densidade** com uma onda extraída do dado da sísmica a qual se quer amarrar.

#### 4.3.1 Preparação dos dados

Dentre os dados necessários para sintetizar o sismograma, só foi disponibilizada a curva de sônico na forma de um sônico integrado. Diferentemente de um registro de sônico normal que amostra pontualmente um valor de vagarosidade variando ao longo da curva, o sônico integrado é uma somatória acumulada de uma dada amostra com todos os antecessores, de modo a culminar numa reta com valores crescentes à medida que se aumenta a profundidade. Desse modo, para transformar o sônico integrado em um perfil de sônico, o valor pontual de cada amostra em tempo duplo foi subtraído pelo seu antecessor como expresso no Quadro 8.

Quadro 8 – Valores reais e recalculados para o perfil do sônico integrado e sônico

Sônico Integrado		Sônico	
Profundidade (m)	Tempo duplo acumulado (ms)	Profundidade (m)	Tempo duplo pontual (ms)
103	0	103	162,4
103,2	162,4	103,2	160,8
103,4	323,2	103,4	160,4
103,6	483,6	103,6	160
103,8	643,6	103,8	-

Nota: Exemplo das primeiras cinco amostras do poço 1-CP-01-SP.

Fonte: O autor, 2015.

Os perfis de densidade foram estimados sinteticamente a partir do sônico usando a relação de Gardner dada por

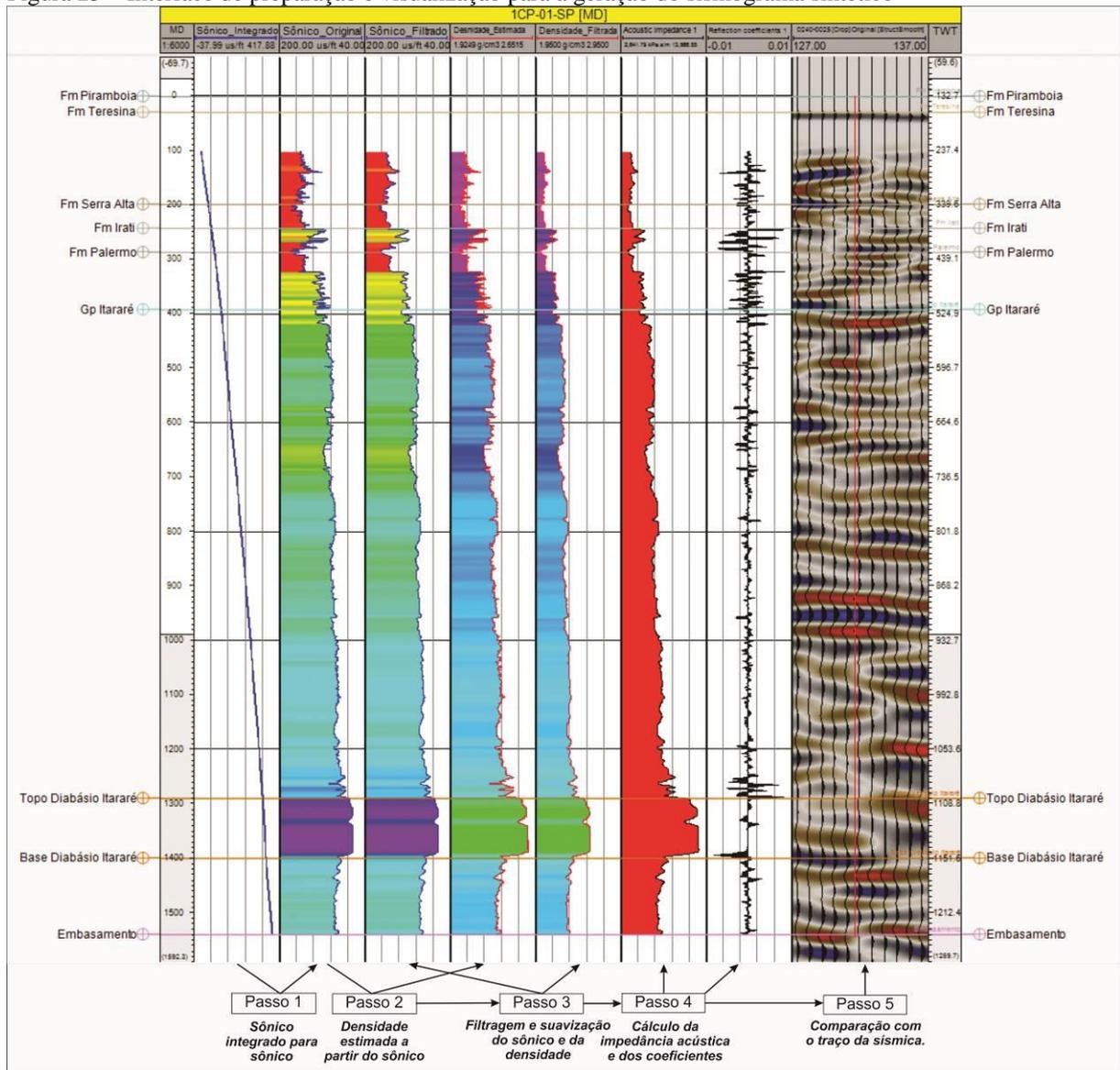
$$\text{Densidade} = \text{Constante} \times \text{Sônico}^{-0,25} \dots \dots \dots (2)$$

Onde, no sistema métrico a constante é igual a 309,421 e no sistema imperial 0,229907.

As curvas resultantes de sônico e densidade foram suavizadas e filtradas a fim de diminuir picos em um curto espaço amostral e pouco representativos na escala da sísmica.

Com os dados de entrada prontos para a parte inicial da calibração, o sônico filtrado e a densidade filtrada foram usados para calcular a **impedância acústica** e o **coeficiente de refletividade**, essenciais para comparação com o traço da sísmica e a geração de um sismograma sintético (Figura 25).

Figura 25 – Interface de preparação e visualização para a geração do sismograma sintético



Nota: Exemplo do poço 1-CP-01-SP.

Fonte: O autor, 2015.

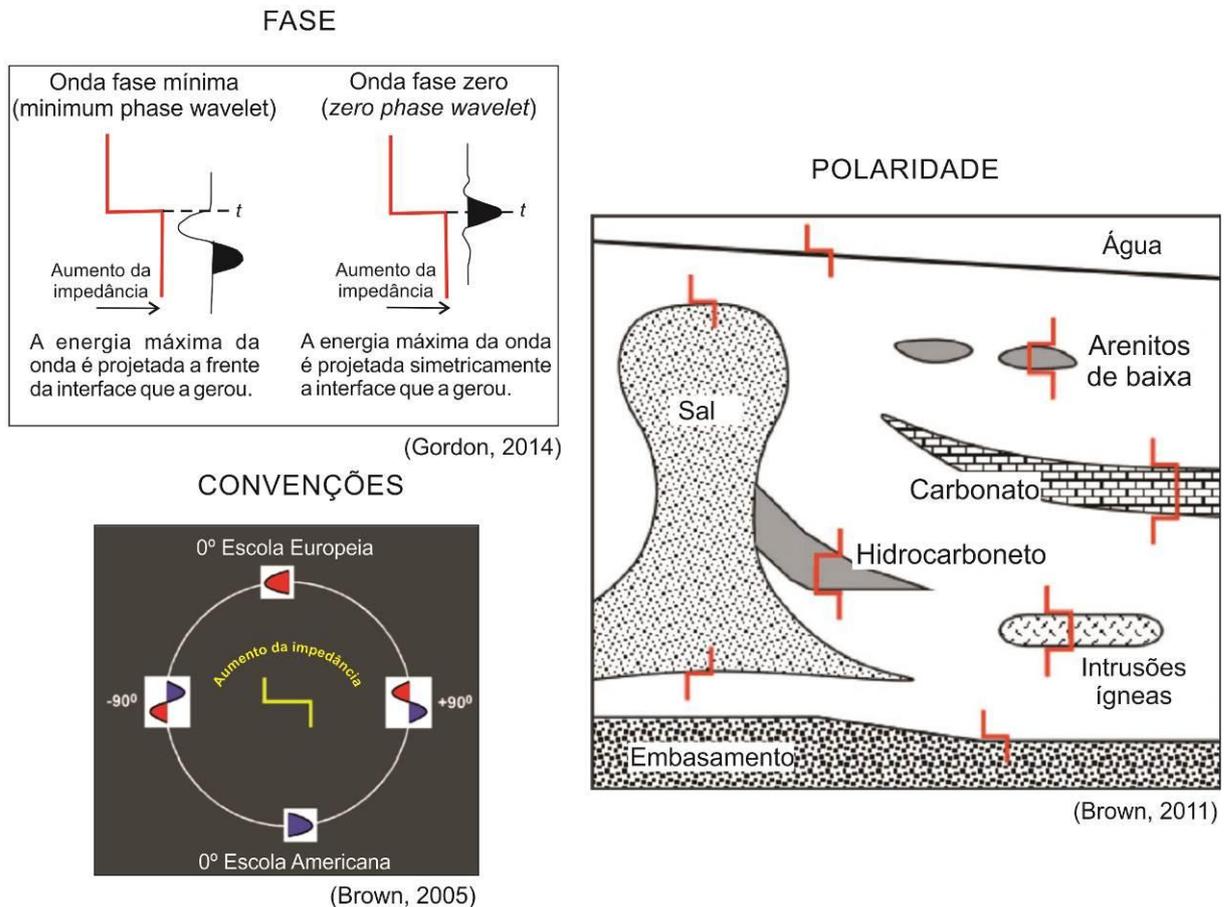
A mesma metodologia foi aplicada para os poços 1--GU-04-SP e 2-GU-03-SP.

#### 4.3.2 Fase e polaridade da sísmica

A fase e polaridade da sísmica devem ser reconhecidas antes de qualquer tentativa de interpretação ou correlação, pois alteram a relação real e visual, respectivamente, dos contrastes de impedância acústica refletidas no traço da sísmica com as superfícies do substrato amostrado.

Segundo Brown (2011), feições em subsuperfície que podem gerar reflexões de alta amplitude, as quais podem ser úteis na definição da fase e polaridade da sísmica (Figura 26).

Figura 26 – Implicações das definições de fase, polaridade e das convenções de visualização



Fonte: Material de aula de Gordon, 2014. Slides 16, 18 e 22 do Tema 2.

Essa relação de alta amplitude da intrusiva ígnea com a encaixante foi observada no poço 1-CP-01-SP, a partir de uma soleira de diabásio de 110 m de espessura com topo e base marcados nas profundidades medidas de 1290 e 1400 m, respectivamente, que intrude os sedimentos do Grupo Itararé próximo ao contato com o embasamento Pré-Cambriano. É notável que a entrada do registro no topo do corpo intrusivo é acompanhada por uma diminuição da vagarosidade do sônico e de aumento da densidade, resultando num alto contraste de impedância acústica (vide Figura 25).

Ao levar essa constatação observada no poço e pela bibliografia para a sísmica, verificou-se que a entrada das soleiras de diabásio é dada por um coeficiente de reflexão positivo e expresso por um pico (*peak*) na amplitude, enquanto que a saída é dada por um coeficiente de reflexão negativo expressa por uma cava (*trough*) na amplitude. A coincidência

dos refletores mais altos e mais baixos com a entrada e saída das soleiras, respectivamente, atestam que o dado encontra-se em fase zero e polaridade normal (Escola Americana).

Vale informar que a depender do atributo sísmico utilizado, as escalas de cores variam a melhor representá-los. Desse modo, todas as figuras relativas às linhas sísmicas serão acompanhadas de suas escalas gráficas e numéricas dos valores de amplitude.

#### 4.3.3 Sismograma Sintético

A ferramenta *Seismic well tie* (amarração poço-sísmica), foi utilizada no Petrel para gerar um estudo de calibração, a fim de obter uma onda extraída da sísmica para convolver com os dados de refletividade oriundas do sônico e da densidade, resultando em um sismograma sintético.

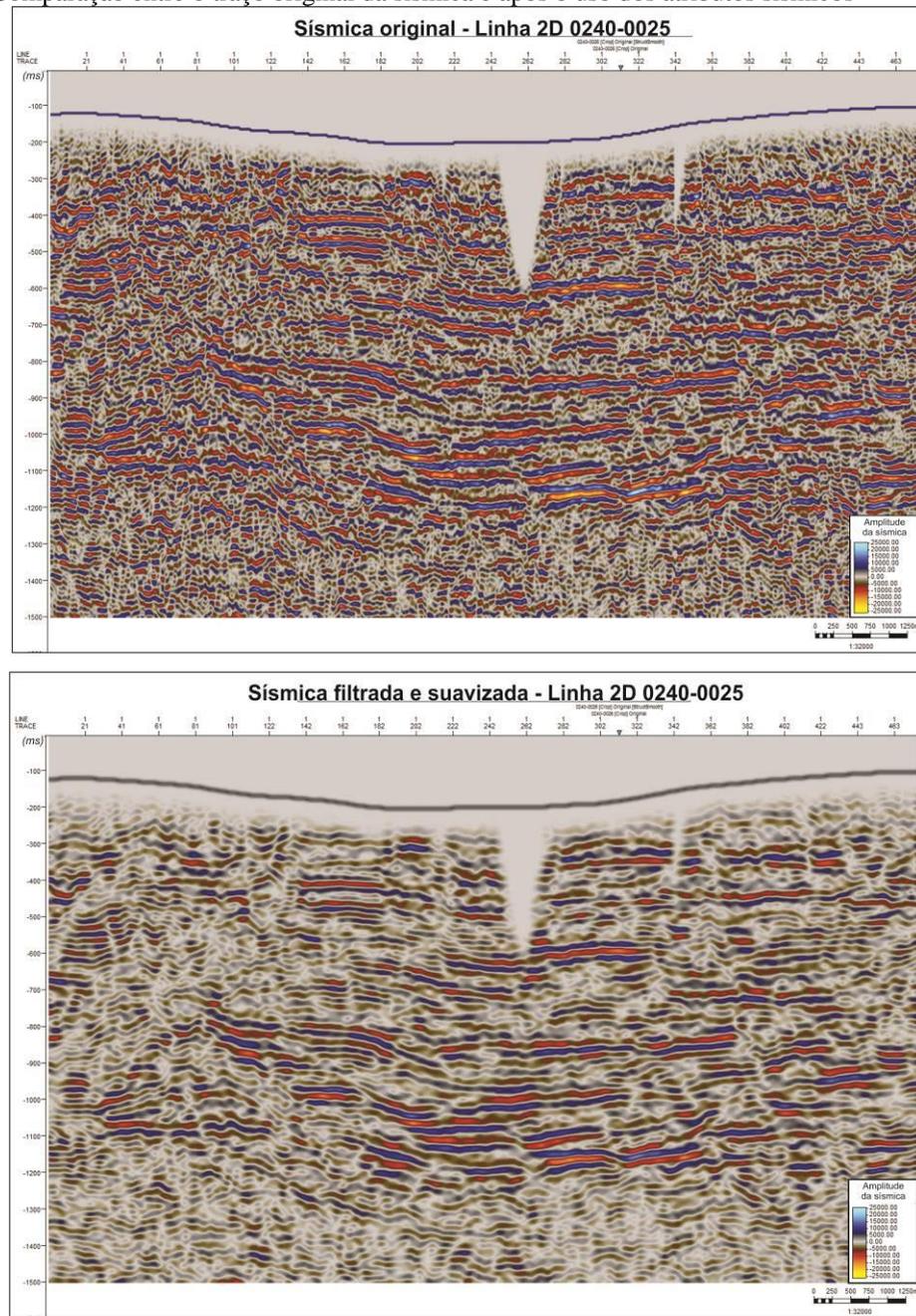
Dentre as especificações para o método de extração da onda - se analítico, estatístico ou determinístico – que melhor se adequem a geração do sintético, a principal é a frequência. Desse modo, a onda extraída deve convolver a função refletividade com o intuito de colocar o sintético e a sísmica em frequências similares aumentando a confiabilidade de correlação.

Os métodos e seus tipos de ondas foram simulados usando a ferramenta *Wavelet toolbox*.

#### 4.3.4 Amarração

A perda de continuidade lateral dos refletores por toda a sísmica foi um agravante na amarração, prejudicando a correlação entre os traços inseridos em uma janela de extração em que o poço é o centro. Para atenuar esta interferência, optou-se por criar um novo estudo para cada poço, em que a sísmica de entrada não fosse o dado original, mas um dado filtrado a partir dos atributos sísmicos de *median filter* e *structural smooth*, com o intuito de diminuir a interferência vertical de ruídos promotores de descontinuidades não geológicas (Figura 27).

Figura 27 – Comparação entre o traço original da sísmica e após o uso dos atributos sísmicos



Nota: Após a aplicação dos atributos *median filter* e *structural smooth* a razão sinal/ruído aumentou, bem como a continuidade lateral dos refletores.

Fonte: O autor, 2015.

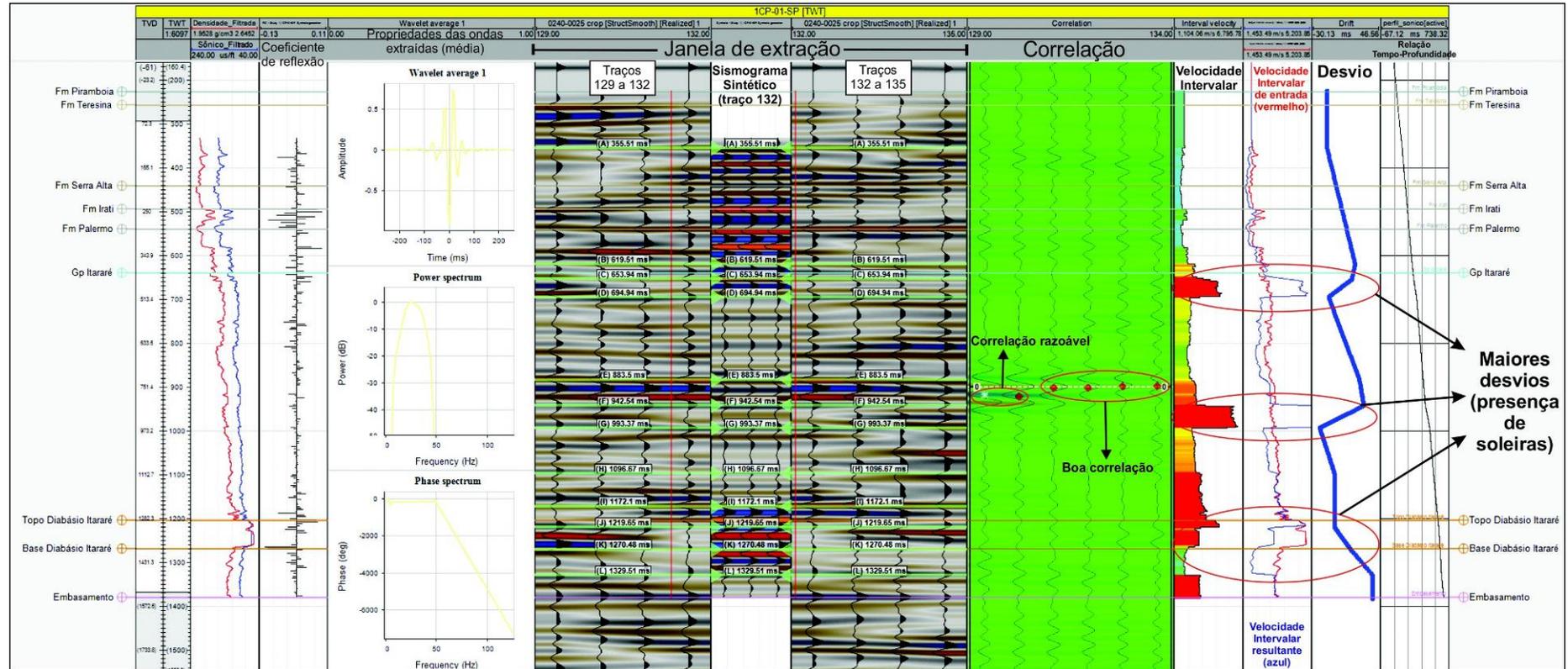
#### 4.3.5 Estudo 1: Poço 1-CP-01-SP x Linha 0040-0025

O poço 1-CP-01-SP é o mais profundo entre os três que interceptam as linhas 2D, sendo o único que atinge o embasamento Pré-cambriano a 1545 m, descrito no relatório de poço como quartzitos. Devido à perda lateral dos refletores e o forte ruído da sísmica, optou-se para este poço uma calibração poço-sísmica com extração de três *wavelets*, ou seja, uma amarração *multi-wavelet*. As ondas foram extraídas nos intervalos de 240 a 600 ms, que contempla as primeiras reflexões do registro até o topo do Carbonífero; o intervalo intermediário de 600 a 940 ms, que contempla os refletores mais jovens do Grupo Itararé ausentes de fortes contrastes de impedância; e por fim o intervalo 940 a 1340 ms para os refletores mais basais do Grupo Itararé correspondentes a folhelhos e tilitos argilosos, que incluem o registro de 110 m de diabásio e o contato com o embasamento.

Optou-se após exaustivas tentativas, pelo método determinístico na extração das *wavelets*, pois este método é comumente aplicado com a finalidade de reduzir desencontros de fase da sísmica processada e com o sintético criado utilizando as curvas de sônico e densidade. O algoritmo que a ferramenta do Petrel utiliza para a extração nesse método é o *Extended White*, que consiste basicamente em determinar a fase dominante e aperfeiçoar a relação da refletividade dos perfis de entrada com a amplitude sísmica em função do tempo.

O resultado final da amarração foi satisfatório, obtendo um coeficiente de correlação que preencheu as expectativas para um dado em que qualquer janela de extração dos traços tem pouquíssima continuidade lateral. Os locais onde aconteceram maiores desvios (*drifts*) entre a velocidade intervalar de entrada e a velocidade intervalar de saída, estão relacionadas à proximidade de possíveis soleiras de diabásio na janela de extração da onda de 5 traços (129 a 134), em que o traço do poço na sísmica é o centro (132) de onde foi extraído o sismograma sintético (Figura 28).

Figura 28 – Calibração do sismograma sintético do poço 1CP-01-SP



Nota: Além do sismograma, a figura mostra o stack da sísmica na janela de extração de 129-135 da linha 0040-0025. Os maiores desvios na curva de correlação são patrocinados pela presença de soleiras contrastadas por altas velocidades intervalares. A amarração dos marcadores em profundidade na sísmica em tempo mostrou-se satisfatória.

Fonte: O autor, 2015.

#### 4.3.6 Estudo 2: Poço 1-GU-04-SP x Linha 0040-0026

O sônico integrado fornecido para o poço 1-GU-01-SP foi amostrado até a profundidade de 900 m, equivalente aos pacotes médios do Grupo Itararé.

O método de extração da onda foi o mesmo que o do exemplo anterior, determinístico usando o algoritmo *Extended White*. A janela de extração para correlação foi de 795 a 801, onde o sismograma sintético foi gerado no traço 798 (projeção do poço e traço central). O resultado da amarração foi satisfatório, havendo pouquíssimo desvio entre as velocidades intervalares de entrada e de saída (Figura 29).

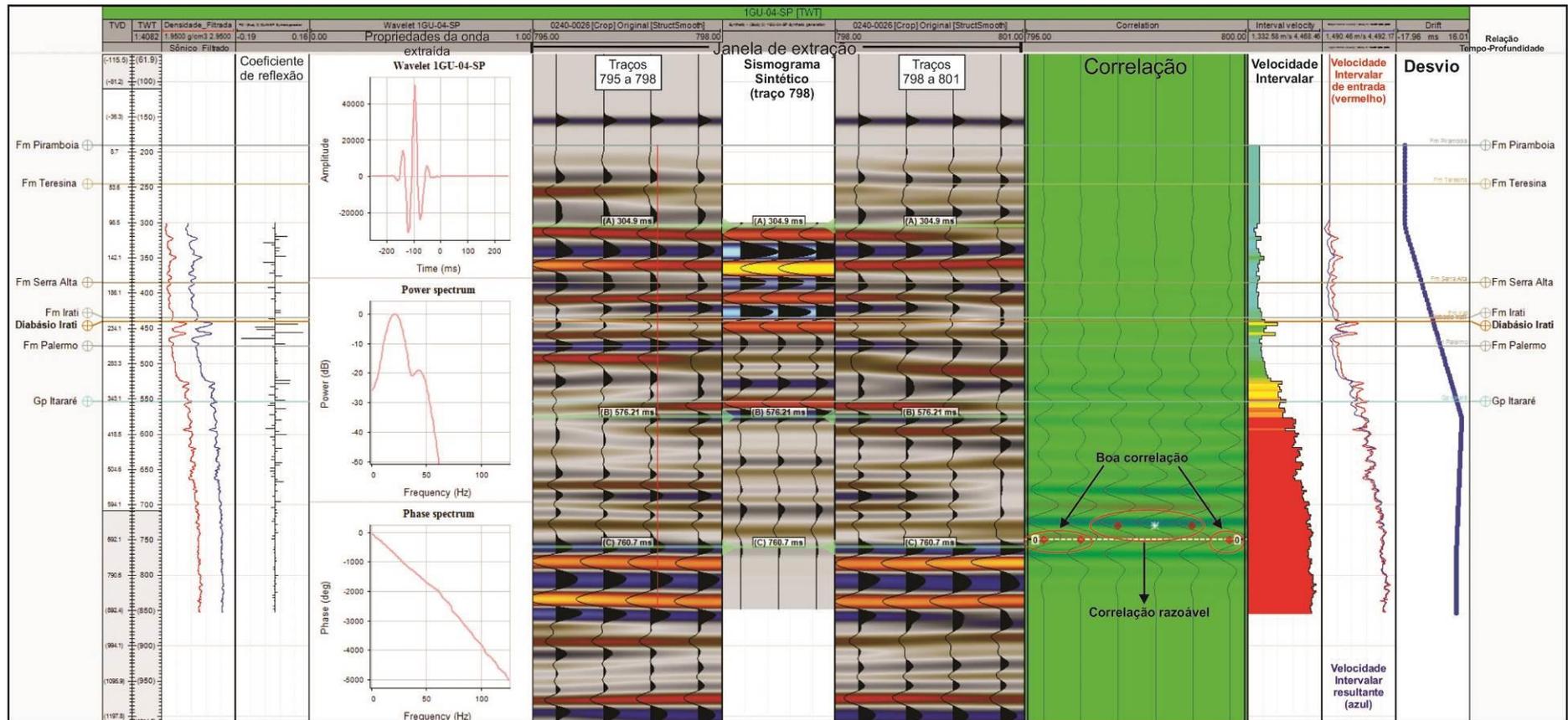
#### 4.3.6 Estudo 3: Poço 2-GU-03-SP x Linha 0040-0021

O sônico integrado fornecido para o poço 2-GU-01-SP foi amostrado até a profundidade de 980 m, equivalente aos pacotes médios do Grupo Itararé.

O método de extração da onda foi o mesmo que para os outros dois poços, que se revelou coeso ao tipo de dado problemático. A janela de extração para correlação foi de 118 a 124, onde o sismograma sintético foi gerado no traço 121 (projeção do poço e traço central).

O resultado da amarração também foi satisfatório, havendo pouquíssimo desvio entre as velocidades intervalares de entrada e saída, com uma má correlação apenas para um dos traços, possivelmente produzida pela qualidade deficiente da sísmica (Figura 30).

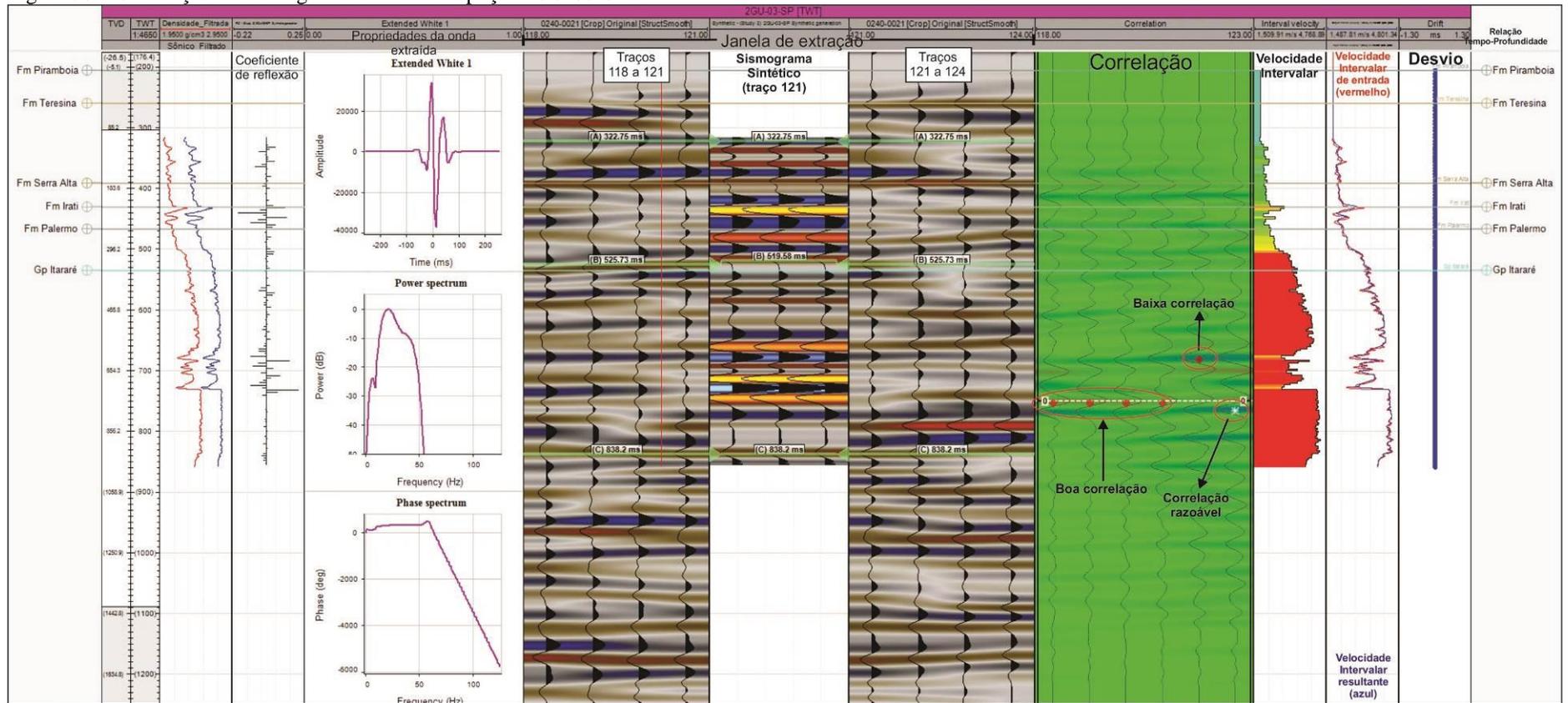
Figura 29 – Calibração do sismograma sintético do poço 1-GU-04-SP



Nota: Além do sismograma, a figura mostra o *stack* da sísmica na janela de extração de 795-801 da linha 0040-0026. As velocidades intervalares de entrada e de saída não promoveram maiores desvios, culminando numa correlação satisfatória.

Fonte: O autor, 2015.

Figura 30 – Calibração do sismograma sintético do poço 2-GU-03-SP



Nota: Além do sismograma sintético, a figura mostra o *stack* da sísmica na janela de extração de 118-124 da linha 0040-0021. As velocidades intervalares de entrada e de saída não patrocinam maiores desvios, culminando numa correlação satisfatória.

Fonte: O autor, 2015.