

Descrição

A *Análise de AVO* (do inglês, “Amplitude-Variation-with-Offset”, ou seja, Variação da Amplitude com o Afastamento) é a ferramenta mais importante de análise litológica. Uma de suas aplicações é na indústria do petróleo. Através desse método de prospecção, podemos extrair informações da região de estudo a um custo relativamente baixo. Tais informações nos auxiliam a inferir, de maneira satisfatória, sobre a presença de petróleo na região estudada.

A partir de dados coletados sobre a região de estudo, podemos traçar a curva de AVO. Essa curva possui informações implícitas que, depois de analisadas, nos dá a medida da amplitude sísmica num ponto em profundidade.

Para coletar dados sobre a região de estudo, emite-se ondas elásticas, através de fontes artificiais, que incidem sobre a região. A partir de componentes da onda, que são refletidas e refratadas (veja o esquema abaixo), temos os coeficientes de reflexão. A fundamentação da análise de AVO está nas aproximações para o coeficiente de reflexão.

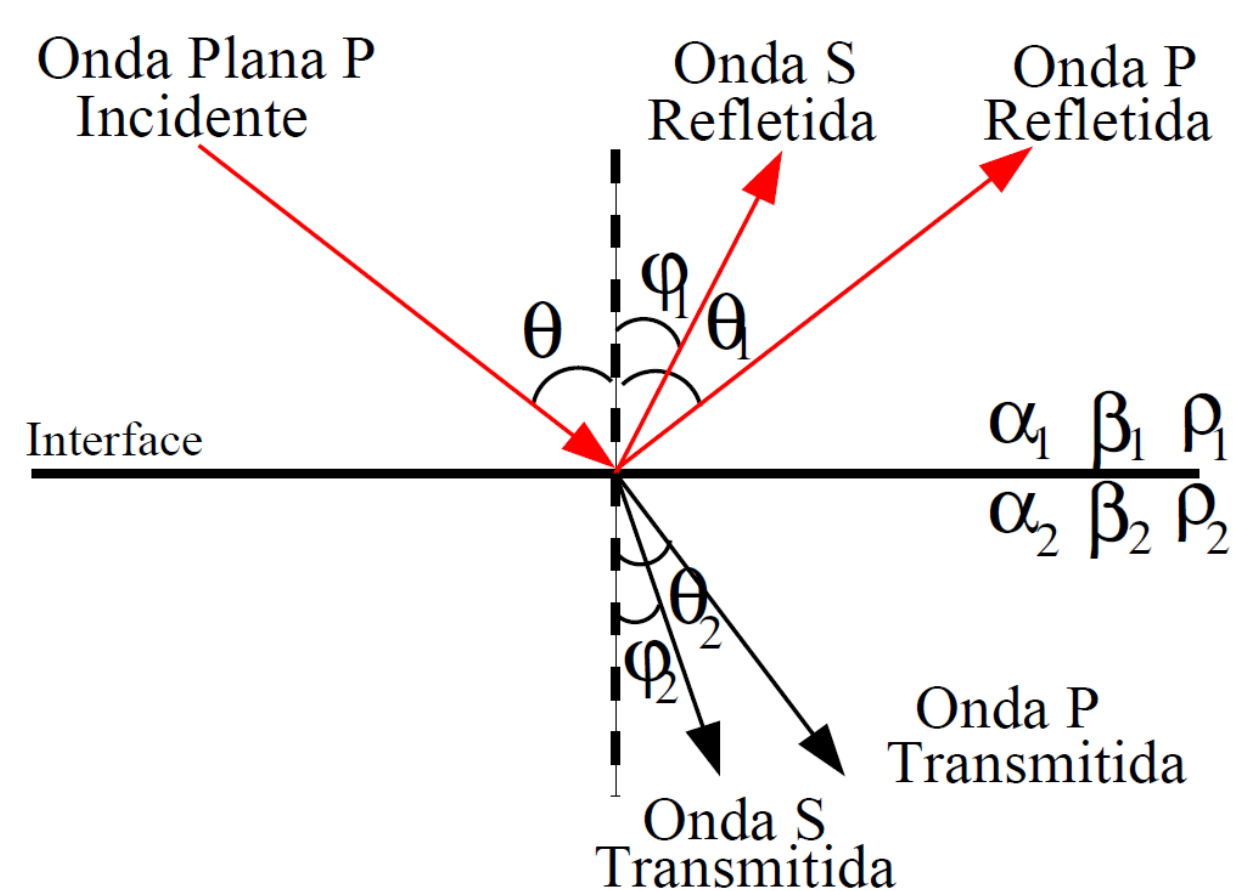
Podemos comparar os coeficientes de reflexão extraído - através de estudos, aproximações e outros métodos - com modelos teóricos. Essa comparação nos permite verificar a presença de amplitudes sísmicas anômalas (muito fortes). Com isso podemos ter informações sobre a região de estudo, como, por exemplo, a presença de gás na região, o que serve como indicador direto de presença de hidrocarbonetos.

Em nosso estudo, exploramos algumas das aproximações para os coeficientes de reflexão e , com os dados, analisamos a validade dessas aproximações com dados teóricos. Tomamos como ponto de partida as equações de Zoeppritz e a aproximação para o coeficiente de reflexão proposta por Shuey, em 1985.

Desenvolvimento

Iniciamos o projeto estudando a dedução das equações de Zoeppritz que definem o coeficiente de reflexão elástico. Fizemos o estudo em três etapas: estudo da equação da onda, busca de uma solução do tipo onda plana e imposição das condições de contorno necessárias.

Abaixo mostramos uma representação de caráter ilustrativo dos meios e das ondas que incidem e se propagam nos meios estudados.



Representação das ondas que incidem e se propagam.

Depois de estudarmos a parte teórica do coeficiente R_{pp} , realizamos experimentos numéricos utilizando o software Matlab. Geramos gráficos para que pudéssemos visualizar a eficiência da aproximação de Shuey para o coeficiente de reflexão.

Nos experimentos numéricos, usamos como parâmetros para nossos testes computacionais 25 modelos fornecidos pelo orientador do projeto. Eles se dividem em modelos de contraste fraco, médio e forte. Essa nomenclatura se refere a variação entre os dados nos meios. Primeiramente usamos apenas um modelo para testar se o programa estava funcionando corretamente. Feito isso, ajustamos o programa para que recebesse os 25 modelos subsequentemente.

Obtivemos os coeficientes R_{pp} para nosso estudo da seguinte forma: primeiramente calculamos o coeficiente R_{pp} pela expressão exata (sem ruído); em seguida, inserimos um ruído branco variando entre 0 e 50%, nesse coeficiente R_{pp} já calculado; então fizemos uma aproximação pelo método dos quadrados mínimos para um conjunto de coeficientes com ruído.

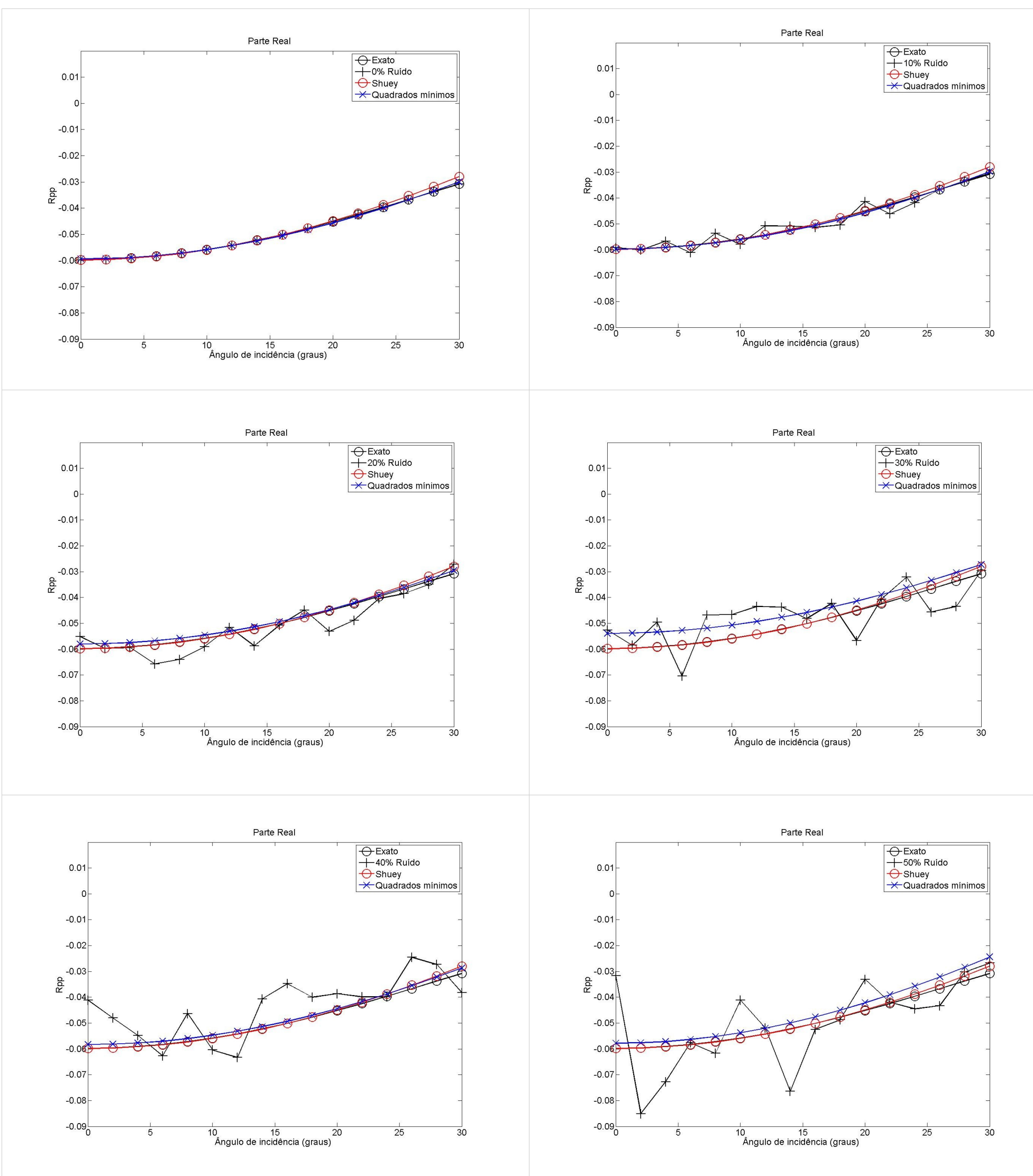
Escolhemos tais valores para o ruído branco, pois para erros acima de 30%, a aproximação de Shuey torna-se pouco eficiente. Pelo mesmo motivo escolhemos trabalhar com a faixa de ângulos de incidência da onda

entre 0 a 30 graus (ou seja, de 0 a $\pi/6$ radianos). No caso de ângulos maiores que 30 graus, temos outros métodos para calcularmos o coeficiente R_{pp} de forma mais confiável.

Exemplo numérico

Embora tenhamos usado modelos de contraste fraco, médio e forte, exibiremos apenas dados referentes ao modelo de contraste médio.

Abaixo temos alguns gráficos para um modelo de contraste médio.



Gráficos dos coeficientes R_{pp} para o modelo de contraste médio.

Visualizando os gráficos acima, percebemos que conforme o ângulo de incidência se aproxima de 30 graus, a aproximação de Shuey torna-se menos eficaz. Verificamos tal fato de forma mais clara ao compararmos os gráficos com os erros (veja nas tabelas de erros abaixo). Nota-se o aumento do erro quando observamos, por exemplo, que a partir de um ângulo de incidência de 20 graus, a curva da aproximação de Shuey se afasta da curva obtida pelo método dos quadrados mínimos. Esse afastamento pode ser encarado como um aumento do erro cometido pela aproximação de Shuey.

Os erros cometidos pela aproximação de Shuey para esse modelo foram:

	Exato	0%	10%	20%	30%	40%	50%
A	-0.0598	-0.0594	-0.0597	-0.0580	-0.0539	0.0583	-0.0578
B	0.1273	0.1175	0.1197	0.1137	0.1067	0.1183	0.1337
EA	---	-0.6734	-0.1675	-3.1034	-10.9462	-0.0583	-3.4602
EB	---	-8.3882	-6.3585	-12.0027	-19.3376	-7.6247	4.7396

Valor obtido para os coeficientes A e B usando a fórmula de Shuey para o modelo de contraste médio. Valores dos coeficientes A e B obtidos pelo método dos quadrados mínimos inserindo um ruído de 0 a 50%. Erros cometidos pela aproximação de Shuey para os coeficientes A (EA) e B (EB).

Classificação dos meios

Finalizamos o projeto com estudos sobre a análise de AVO, que nos permite classificar os meios de acordo com os valores dos atributos A e B. Analisamos o gráfico de $B \times A$, supondo uma relação linear entre as velocidades da onda P e S, vemos que os dados providos de *brine* e *shale* (salmoura e folhelho) seguem uma reta no plano $A \times B$ conhecida na literatura como *background trend*. Desvios desta reta podem ser uma indicativa de hidrocarbonetos. O desvio mais interessante do *background* resulta da substituição de *brine* no espaço poroso por hidrocarbonetos, particularmente gás, para o qual o efeito do desvio é maior.

Utilizando o modelo *shale/brine sand* para os testes computacionais, obtemos o primeiro dos gráficos ao lado:

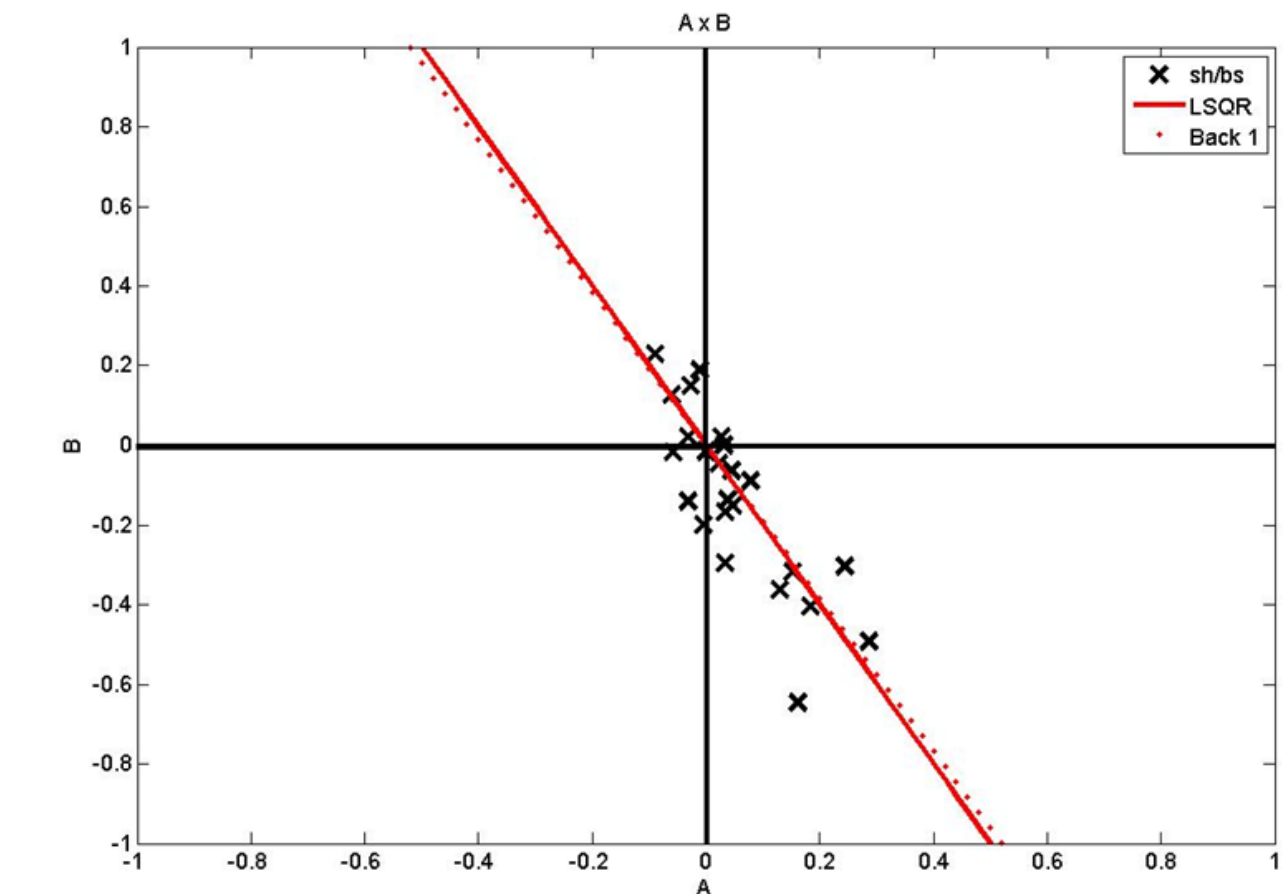


Gráfico da função que define o background, e reta gerada pela regressão linear dos pontos providos do modelo *shale/brine sand* (LSQR).

Utilizando o modelo *shale/gas sand* (o gás indica a presença de hidrocarbonetos), obtemos o seguinte gráfico:

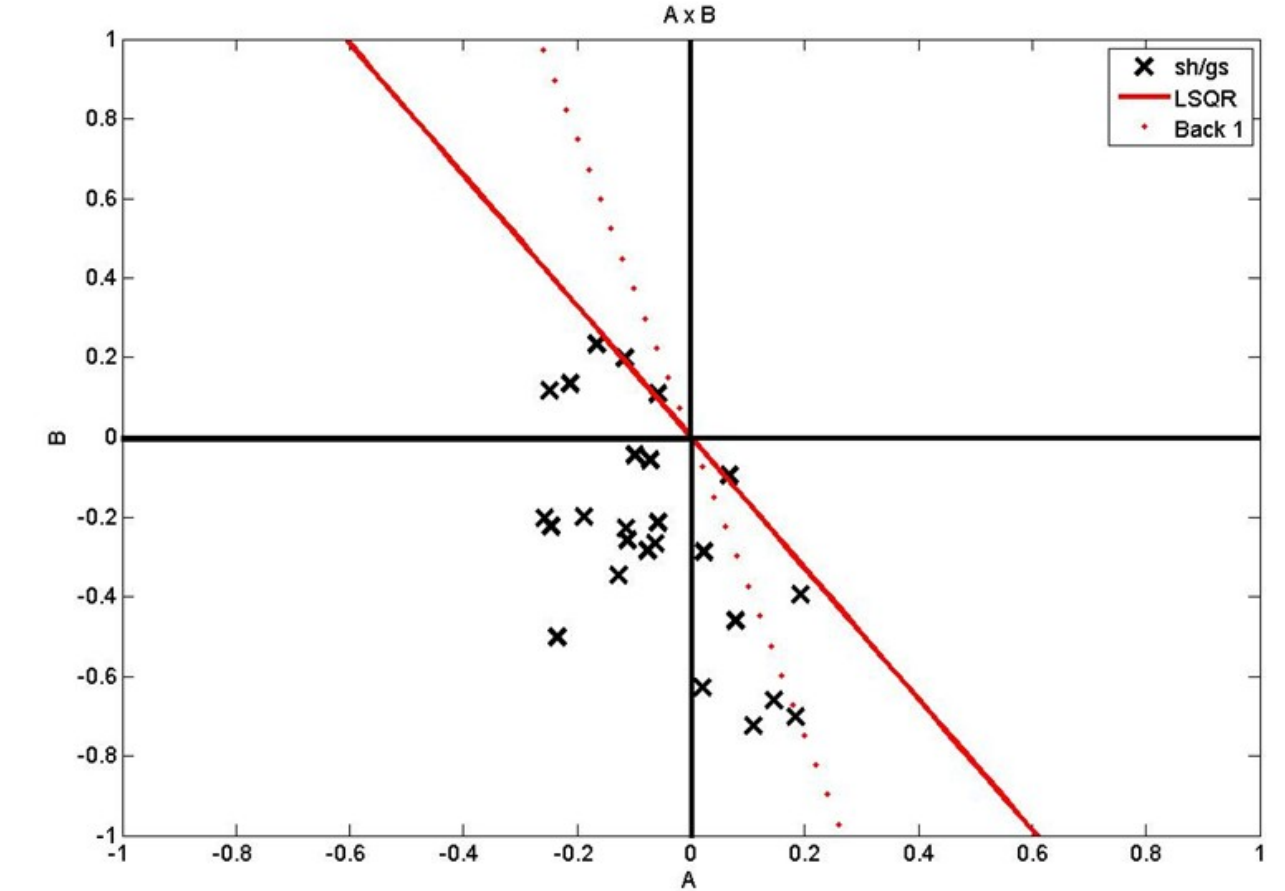
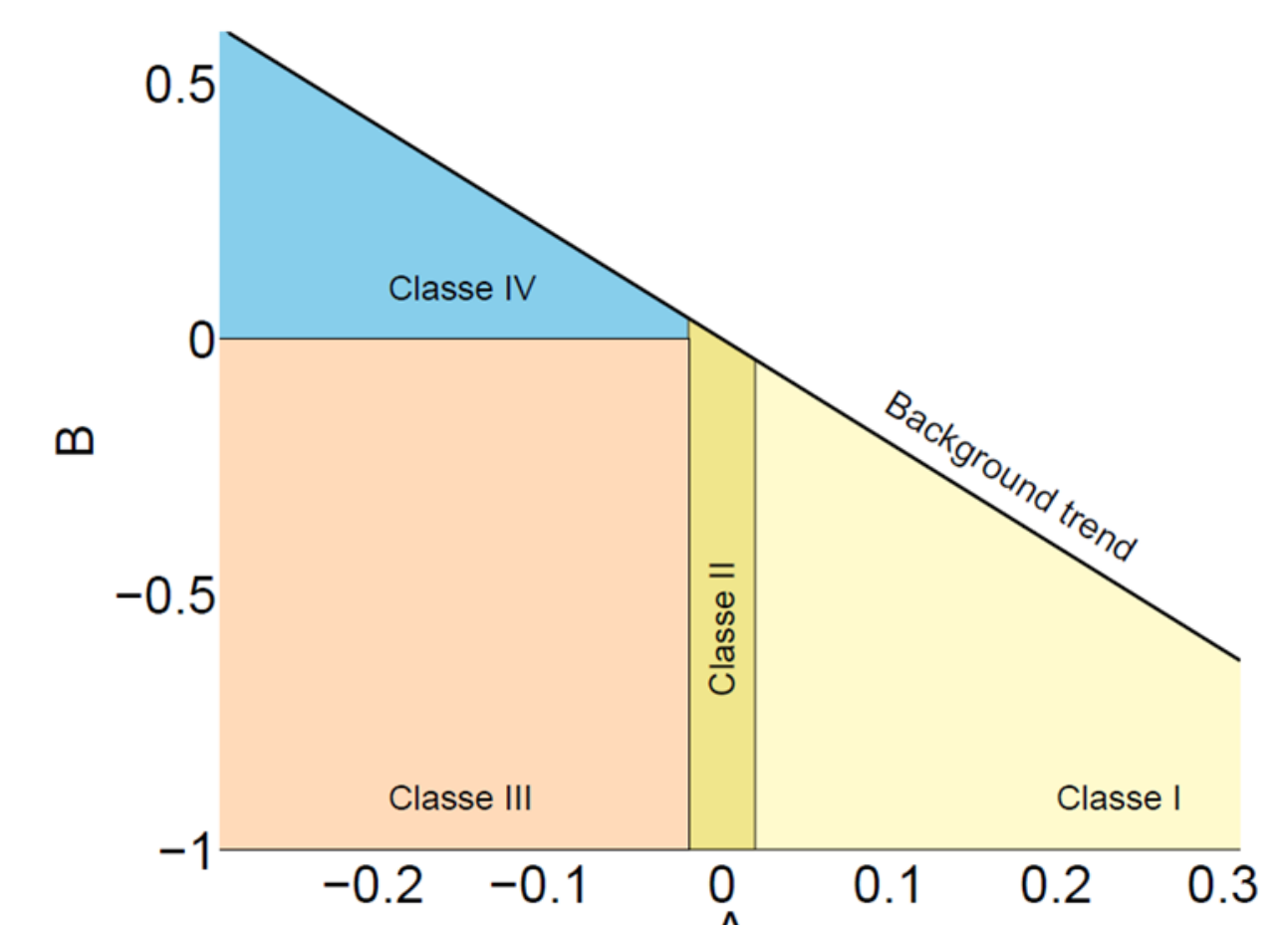


Gráfico da função que define o background, e reta gerada pela regressão linear dos pontos providos do modelo *shale/gas sand* (LSQR).

Observando os gráficos acima, podemos notar que a presença de *gas sand*, torna os valores de A e B mais negativos do que para o caso de *brine sand*.

Para classificarmos as reflexões, usamos o seguinte esquema:



Identificação das classes I, II, III e IV, no plano $A \times B$.

onde as classes são identificadas da seguinte forma:

- . Classe I: alta impedância relativa ao meio acima da interface (*shale*);
- . Classe II: impedância próxima ao meio acima da interface (*shale*);
- . Classe III: baixa impedância relativa ao meio acima da interface (*shale*);
- . Classe IV: comportamento anômalo.

Conclusões

O enfoque de nosso estudo na parte da classificação foi analisar a tendência em que as nuvens de dados se concentraram.

Comparando o esquema acima, das classificações, com os gráficos dos *backgrounds* correspondentes aos modelos de *gas sand* e *brine sand*, percebemos que o fato de os dados, dos modelos com *gas sand*, tenderem a ficar mais abaixo e à esquerda do que no caso com *brine shale*, justifica a classificação proposta através das Classes I, II, III e IV.

Por fim, concluímos que para ângulos de incidência pequenos, a identificação das classes de gás pode ser feita com sucesso para as classes I, II, e III. Para ângulos de incidência maiores podemos usar a classe IV.